

EDUARDO DE SOUZA LAMBERT

**ESTRATÉGIAS PARA O MELHORAMENTO DA BATATA PARA
CONDIÇÕES TROPICAIS**

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

Orientador
Prof. César Augusto Brasil Pereira Pinto

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2004

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

Lambert, Eduardo de Souza

Estratégias para o melhoramento da batata para condições tropicais / Eduardo de Souza Lambert. -- Lavras : UFLA, 2004.

142 p. : il.

Orientador: César Augusto Brasil Pereira Pinto.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Batata. 2. Melhoramento genético vegetal. 3. Seleção. 4. Estabilidade. 5. Adaptabilidade. 6. Tubérculo. 7. Estresse. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.213

EDUARDO DE SOUZA LAMBERT

**ESTRATÉGIAS PARA O MELHORAMENTO DA BATATA PARA
CONDIÇÕES TROPICAIS**

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

APROVADA em 15 de julho de 2004

Prof. Magno Antônio Patto Ramalho	UFLA
Prof. Wilson Roberto Maluf	UFLA
Pesquisador Ossami Furumoto	Embrapa
Pof. Cláudio Lopes de Souza Júnior	ESALQ

Prof. César Augusto Brasil Pereira Pinto

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

Este trabalho é dedicado a meu avô,
Nemézio Bueno Lambert
“in memoriam”

O rio

Ser como o rio que deflui
Silencioso dentro da noite.
Não temer as trevas da noite.
Se há estrelas nos céus, refletí-las.
E se os céus se pejam de nuvens,
Como o rio as nuvens são água,
Refletí-las também sem mágoa
Nas profundidades tranquilas.

(Manuel Bandeira)

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por sempre iluminar meu caminho.

À Universidade Federal de Lavras, pelas oportunidades me conferidas em todos os anos de estudo e trabalho. Nesta casa, tive a oportunidade de receber, além dos ensinamentos científicos, a compreensão para a vida, o humanismo e o respeito, não só por meio dos verdadeiros mestres, mas com os amigos e funcionários desta instituição. Agradeço também à cidade de Lavras pela calorosa acolhida.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos e à CAPES pelo apoio.

Ao professor César Brasil, pela orientação, confiança, incentivo e pela grande amizade nestes 10 anos de convivência (iniciação científica, mestrado e doutorado!).

Aos professores Magno, João Bosco, Lisete, João Cândido e Ângela, pela importância em minha formação profissional e amizade demonstrada.

Aos funcionários do Departamento de Biologia, pelo grande auxílio nos experimentos, em especial ao companheiro Raimundo Ferreira de Resende.

Ao Cícero (Ceará) por ter iniciado este trabalho de pesquisa e fornecido grande parte dos dados.

Aos colegas do grupo de pesquisa da batata: Alexandre, André, Cristiana, Cassiano, Diogo, Flávio, Gustavo, Luís Antônio, Leonardo, Mario e Ricardo, pela ajuda nos experimentos e pela grande amizade.

Aos colegas e amigos do GEN, pela convivência, auxílio e troca de experiências.

Aos funcionários e todos os alunos do Departamento pela amizade e pelos bons momentos de convivência.

À Elaine, Rafaela e Zélia, pela amizade, paciência e auxílio em todas as horas.

Abaixo faço ainda meus agradecimentos a algumas pessoas que foram bastante importantes no período de meu curso de Doutorado, mas antecipo minhas desculpas caso venha me esquecer de citar algum nome, pois muitas outras pessoas tiveram importância nessa tarefa, algumas mesmo distante.

Aos amigos Reinaldo (Bidu), Flávio, Pedrão, Cícero (Ceará), Itamar, Vanderlei, Luciene e família, Wilacildo e Fátima, Ildon e Elisângela, Gustavo e Ana Cláudia, Gislaine e família, Mario, Mariela e Mariano, pelo companhia, carinho e estímulo.

Aos ex-colegas e amigos de República: Airton, Alex, João Luís e Kaesel, pela convivência no dia-a-dia e pelo apoio.

À República das “Lenes”: Rosanna, Patrícia, Jaqueline, Deisy e Sara, pela amizade, carinho e pela convivência.

À Renata e familiares, pelo carinho, auxílio, pela convivência, compreensão e tudo o que fizeram por mim.

À Da. Maria e Da. Cida, pela atenção dada e a comida sagrada do dia-a-dia, e à Dona Roseli, pelos serviços prestados.

A todos meus familiares, que sempre me apoiaram em todos os sentidos, incentivando-me e pela certeza de que sempre estiveram comigo no pensamento.

À Lilian, pelo carinho e apoio, fundamental no período em que estava escrevendo este trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para o êxito deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

Página	
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
CAPÍTULO 1.....	1
1 INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Melhoramento para condições de estresse.....	4
2.1.1 Aspectos gerais.....	4
2.1.2 Ambientes para seleção.....	4
2.1.3 Índices de seleção.....	8
2.1.4 Análise de adaptabilidade e estabilidade.....	11
2.1.5 Caracteres fisiológicos.....	12
2.2 Melhoramento para resistência ao calor.....	13
2.2.1 Aspectos gerais.....	13
2.2.2 Melhoramento para tolerância ao calor em batata.....	16
2.2.2.1 Importância.....	16
2.2.2.2 Influência da temperatura na cultura da batata.....	17
2.2.2.3 Estratégias visando a seleção para resistência ao calor em batata.....	19
2.3 Métodos de melhoramento de batata.....	22
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	26
CAPÍTULO 2: SELEÇÃO SEQUENCIAL EM CLONES DE BATATA.....	38
RESUMO.....	39
ABSTRACT.....	40
1 INTRODUÇÃO.....	41
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	47
2.1 Material experimental.....	47
2.2 Análises estatísticas.....	48
2.2.1 Modelos estatísticos.....	49
2.3 Índice para seleção sequencial.....	50
2.3.1 Construção dos índices.....	50
2.3.2 Variância fenotípica do índice.....	50
2.3.3 Eficiência do índice.....	50
2.3.4 Herdabilidade do índice.....	51

2.3.5 Estimativas de correlações.....	51
2.3.6 Herdabilidade realizada.....	53
2.3.7 Seleção antecipada.....	54
2.3.8 Índice de soma de postos.....	56
2.3.9 Índice a partir da ponderação pela herdabilidade.....	56
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	58
3.1 Análises de variância conjunta e componentes de variância.....	58
3.2 Índices de seleção.....	59
3.3 Coeficientes de correlação.....	62
3.4 Herdabilidade do índice.....	71
3.5 Eficiência do índice.....	72
3.6 Herdabilidade realizada.....	76
3.7 Índice de soma de postos.....	81
3.8 Considerações finais.....	83
4 CONCLUSÕES.....	84
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85
CAPÍTULO 3: ÍNDICES DE SELEÇÃO, ANÁLISE DE ESTABILIDADE E SELEÇÃO INDIRETA PARA CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO EM BATATA.....	86
RESUMO.....	87
ABSTRACT.....	88
1 INTRODUÇÃO.....	89
2 MATERIAL E MÉTODOS.....	91
2.1 Índices de seleção para diferentes condições ambientais.....	91
2.1.1 Índice de seleção 1 (I_1)	91
2.1.2 Índice de seleção 2 (I_2)	92
2.1.3 Índice de seleção 3 (I_3)	92
2.1.4 Índice de seleção 4 (I_4)	92
2.1.5 Índice de seleção 5 (I_5).....	93
2.1.6 Índice de seleção 6 (I_6)– índice de susceptibilidade.....	93
2.1.7 Índice de seleção 7 – média geométrica (MG).....	93
2.1.8 Índice de seleção 8- porcentagem de redução da característica (PR).....	93
2.2 Progressos genéticos com a seleção.....	94
2.2.1 Progressos diretos – seleção baseada no desempenho em um ambiente (i) e progresso no mesmo ambiente (i).....	94
2.2.2 Progressos indiretos (resposta correlacionada) – seleção em um ambiente (i) e progresso em outro ambiente (j).....	94
2.2.3 Seleção em um ambiente (i) e progresso na média dos ambientes (m)..	95

2.2.4 Seleção baseada na média dos ambientes (m) e progressos em ambientes individuais (j).....	96
2.2.5 Seleção baseada na média dos ambientes e progresso na média dos ambientes.....	96
2.2.6 Eficiência da seleção indireta (ESI).....	97
2.3 Análise de estabilidade.....	97
3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	100
3.1 Seleção para condições de estresse e favoráveis.....	100
3.2 Progressos genéticos esperados com a seleção.....	114
3.3 Análises de estabilidade e adaptabilidade.....	119
4 CONCLUSÕES.....	127
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	128
ANEXOS.....	131

RESUMO

LAMBERT, Eduardo de Souza. **Estratégias para o melhoramento da batata para condições tropicais**. 2004. 142 p. Tese Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

O melhoramento da batata (*Solanum tuberosum* L.) para condições tropicais é extremamente importante, considerando que a maioria das cultivares plantadas no país é de origem européia, com baixa adaptação ao clima quente. No programa de melhoramento de batata da UFLA existe uma linha de pesquisa com este objetivo específico, e constantemente buscam-se estratégias que visem à melhoria da eficiência da seleção. Considerando o exposto, foram realizados alguns estudos visando: a) promover o uso de índice para seleção sequencial na cultura da batata e verificar a sua eficiência; b) estudar a estabilidade e adaptabilidade de 51 clones; c) avaliar a viabilidade do emprego de índices de seleção e da seleção indireta para condições de estresse e favoráveis de cultivo. Os dados usados para o estudo da seleção sequencial, para análise de estabilidade e aplicação dos índices de seleção, são provenientes de nove ensaios conduzidos em diferentes localidades, anos e épocas de plantio do Sul de Minas Gerais. O índice de seleção usado para ponderação das médias fenotípicas dos diferentes ensaios sequenciais mostrou-se eficiente e pode ser facilmente aplicado nos programas de melhoramento. Observou-se baixa correlação entre médias de clones nas gerações, mesmo para os caracteres de média a alta herdabilidade, indicando que os dados de uma única geração somente devem ser usados para descartar os piores clones. Para os caracteres de herdabilidade mais baixa, o índice apresentou maior eficiência. Quanto às estratégias para a seleção para tolerância ao calor, a seleção indireta não se mostrou eficiente, em virtude principalmente das baixas correlações entre médias de clones nos ambientes. A seleção na média dos ambientes é mais indicada quando se deseja selecionar genótipos com ampla adaptação. No geral, os clones com os melhores desempenhos sob estresse ambiental e considerados tolerantes ao calor são especificamente adaptados, com média baixa em ambientes favoráveis, entretanto, genótipos com bom desempenho em ambas condições puderam ser selecionados.

* Orientador: César Augusto Brasil Pereira Pinto – UFLA.

ABSTRACT

LAMBERT, Eduardo de Souza. **Strategies for potato breeding for tropical climates**. 2004. 142p. (Thesis – Doctorate in Genetics and Plant Breeding). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

Potato (*Solanum tuberosum* L.) breeding for tropical climate is important because most cultivars used in Brazil come from temperate countries, presenting low adaptability under warm climates. In the potato breeding program at Universidade Federal de Lavras (UFLA) there is a project established to search for better ways to improve selection efficiency for these conditions. The studies presented here aims to: a) use sequential selection index for potato and check its usefulness, b) evaluate the stability and adaptability of 51 clones, c) evaluate the use of selection indices and indirect selection for stress and favorable crop conditions. Data used for these studies came from nine trials conducted under different localities, years and cropping seasons. The selection index used for weight the phenotypic mean of the sequential trials was efficient and can be easily applied in breeding programs. Low correlation coefficients were observed among clone means across generations, even for traits with moderate to high heritabilities, showing that single generation data should be used only to discard lower performance clones. For traits with lower heritabilities, the sequential index showed higher efficiency. Regarding selection for tolerance to high temperatures, indirect selection was not efficient, especially due to the low correlations among clone means in all environments. Selection based on mean performance across all environments is much more recommended if the purpose is to select clones with wider adaptation. In general, clones with higher performance in stress environments and considered heat tolerant are specifically adapted to this environment, presenting low means under favorable conditions. However, genotypes with high performance in stress and non-stress environments could be selected.

* Adviser Professor: César Augusto Brasil Pereira Pinto – UFLA.

1 INTRODUÇÃO GERAL

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é originária de países de clima ameno, e quando submetida às condições ambientais tropicais, é afetada principalmente pelas altas temperaturas, além do fotoperíodo mais curto.

As altas temperaturas causam redução da produção da batata por várias razões, seja pela redução na capacidade fotossintética ou pelo aumento das perdas com a respiração e diminuição da partição de fotoassimilados para os tubérculos. Ocorre ainda perda da qualidade dos tubérculos, pela diminuição do teor de matéria seca e o aumento do número de tubérculos com defeitos fisiológicos. Além destes fatores diretos, as altas temperaturas possuem efeito indireto, favorecendo a maior incidência de pragas e doenças.

A maioria das cultivares atualmente plantadas no país foi desenvolvida especificamente para condições temperadas e, embora apresentem boas qualidades para o comércio ou indústria, quando submetidas às condições climáticas tropicais, apresentam produtividade e qualidade de tubérculos abaixo do seu potencial. Apesar das áreas produtoras de batata no Brasil se concentrarem no Sul e Sudeste, frequentemente observam-se nessas regiões temperaturas acima das ideais, principalmente na safra das águas, cujo plantio estende-se de agosto a dezembro. Nos locais de altitude mais baixa, isso pode ocorrer também em outras épocas de plantio, como nas safras da seca (janeiro a março) e de inverno (abril a julho). Ressalta-se que o plantio da águas corresponde a aproximadamente 54% da área cultivada com batata no país. Deste modo, a obtenção de cultivares adaptadas a condições climáticas que ocorrem nessas áreas, com fotoperíodo em torno de 12 a 13 horas e temperaturas acima de 25°C, torna-se bastante importante para o país. Para tal finalidade, é necessário que os programas de melhoramento procurem selecionar genótipos

com maior estabilidade e adaptabilidade. Além disso, as estratégias de seleção para condições de altas temperaturas devem ser estabelecidas, considerando que normalmente a interação genótipos por ambientes é bastante expressiva, quando consideram-se várias épocas de plantio.

Por causa do modo de propagação da batata, realizada vegetativamente por meio de tubérculos, existem algumas particularidades nos métodos de melhoramento empregados. A seleção nos programas de melhoramento geralmente é realizada por etapas nas progênies híbridas, de acordo com o avanço das gerações clonais, sem que novas recombinações sejam efetuadas. Os primeiros ensaios podem ser conduzidos já na primeira ou segunda geração, utilizando parcelas com poucas plantas, de 1 a 5, visto o baixo número de tubérculos obtidos por clone nessas duas gerações. O delineamento de blocos aumentados pode ser utilizado, ou um outro delineamento com reduzido número de repetições, o que ocasiona, na maioria das vezes, uma baixa precisão experimental. Geralmente, a seleção realizada nas gerações iniciais, principalmente para caracteres de baixa herdabilidade, é pouco eficiente, adiando-se, então, a seleção para gerações posteriores, em que são realizados experimentos com maior número de repetições. Contudo, torna-se importante que apenas os melhores genótipos sejam multiplicados e avançados, devido ao custo relacionado com a manutenção de enorme quantidade de tubérculos de vários clones, além do requerimento de área e mão de obra para instalação dos ensaios.

Para contornar este problema e visando a concentração de esforços nos genótipos superiores, um índice para seleção sequencial pode ser usado. Como a seleção para espécies de propagação assexuada é realizada em diversas etapas, dispõe-se de informações fenotípicas dos genótipos selecionados em estádios anteriores. Estas informações podem ser agrupadas na forma de um índice de seleção, visando maximizar a eficiência da seleção (Wricke e Weber, 1986).

Considerando o exposto, procurou-se, com este trabalho, desenvolver alguns estudos visando a melhoria da eficiência da seleção no programa de melhoramento para tolerância ao calor.

Um primeiro objetivo foi promover o uso de um índice para seleção sequencial na cultura e verificar a sua eficiência. Realizou-se também a análise de estabilidade e adaptabilidade de clones para produção de tubérculos, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos em diferentes localidades, anos e épocas de plantio no Sul de Minas Gerais. Foram estudados, ainda, índices que possam contribuir para a seleção para condições de estresse e favoráveis de cultivo, procurando avaliar as melhores estratégias para a seleção. Considerou-se como estresse por temperaturas elevadas, as temperaturas que ocorrem normalmente no período do verão de Lavras. Os clones usados foram obtidos a partir do cruzamento de genitores tolerantes ao calor com cultivares nacionais, selecionados por Menezes et al. (2001).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Melhoramento para condições de estresse

2.1.1 Aspectos gerais

Na maior parte das áreas agrícolas cultivadas ocorrem estresses ambientais diversos, entre eles o provocado pelo déficit hídrico, baixa fertilidade do solo, toxidez por elementos químicos do solo (metais pesados, Al, acidez, salinidade do solo etc.), excesso de umidade, temperaturas muito baixas ou altas, entre outros. O melhoramento para condições de estresses abióticos tem sido bastante estimulado em todo o mundo, visando a viabilidade da agricultura em áreas consideradas impróprias para o cultivo ou a diminuição das perdas em áreas já exploradas. Detalhes sobre as estratégias de melhoramento desenvolvidas para as diferentes situações podem ser encontrados em Lewis & Christiansen (1981); Blum (1988); Baker (1989); Clark & Duncan (1991); Boyer (1996); Shannon (1997); Hall & Ziska (2000); Baligar et al. (2001) e Parentoni et al. (2001).

2.1.2 Ambientes para seleção

Nos programas de melhoramento, geralmente as estratégias usadas visam selecionar materiais amplamente adaptados. Entre elas, é comum a prática da seleção em condições favoráveis, que permite a maximização da variação genética (Byrne et al., 1995). Além disso, os ambientes considerados ótimos para seleção são aqueles representativos da população dos ambientes alvo de abrangência do programa de melhoramento (Blum, 1988).

No caso da seleção para condições favoráveis, a estratégia de avaliação em ambientes similares ao de cultivo tem apresentado sucesso, e a maioria dos programas de melhoramento realizam a seleção deste modo (Cecarelli et al., 1998). Entretanto, quando se trata da seleção para condições de estresse, existem vários questionamentos sobre as estratégias a serem usadas. Segundo Cecarelli et al. (1998), ainda que o alvo sejam ambientes sob estresse, os programas de melhoramento realizam a seleção sob condições favoráveis. Isto porque nas condições de mais alta produtividade, o controle da variação ambiental é mais eficiente, com melhor expressão das diferenças genéticas, levando a maiores herdabilidades que nas condições de estresse. Além do mais, os materiais com alto potencial produtivo selecionados em condições ótimas, geralmente apresentam desempenho melhor do que os genótipos selecionados em condições adversas, não somente em condições favoráveis, mas também sob estresse moderado (Duvick, 1992).

Entretanto, Cecarelli (1994) afirma que poucos trabalhos têm sido conduzidos em áreas marginais, sob estresses mais drásticos. A principal causa da falta de progresso da seleção para estas condições seria a condução da seleção em condições ambientais favoráveis das estações experimentais ou em ambientes em que o estresse não é tão pronunciado. A hipótese para os baixos ganhos genéticos frequentemente encontrados sob condições de estresse diversas (altas temperaturas, estresse hídrico, solos ácidos) é a de que as cultivares geralmente definidas como “amplamente adaptadas” são, na verdade, especificamente adaptadas a condições ótimas ou próximas do ótimo para o desenvolvimento da cultura (Cecarelli, 1994). Em poucas situações tem-se obtido sucesso para condições de estresse extremo, a partir da seleção em condições ideais, como encontrado por Whitehead & Allen (1990) e Singh et al. (1995).

A afirmativa de Cecarelli (1994) não despreza a comprovação, há bastante tempo conhecida pelos melhoristas, de que as cultivares modernas apresentam desempenho superior ao das cultivares antigas sob várias condições de cultivo. Entre os exemplos, cita-se o caso do milho, cujos híbridos mais recentes apresentam melhor desempenho que os mais antigos, em várias condições de estresse moderado, principalmente sob altas densidades de plantio, com menor suprimento de fertilizantes e baixa umidade do solo (Tollenaar & Wu, 1999). A observação a ser feita é que, sob extremo déficit hídrico, como observado em alguns locais de cultivo de milheto na África e Ásia, as raças locais ou cultivares antigas apresentam desempenho superior aos híbridos modernos (Bidingger et al., 1994).

Rosielle & Hamblin (1981) mostraram teoricamente que a seleção para tolerância a estresse resulta na redução da produtividade no ambiente favorável e também reduz a produção média envolvendo os ambientes com e sem estresse. Com a seleção a partir da produtividade média dos ambientes, ocorre um aumento na produtividade tanto no ambiente com estresse como no ambiente favorável.

Outro aspecto teórico para entendimento do relacionamento entre ‘ambiente de seleção’ e ‘resposta à seleção’ foi desenvolvido por Falconer (1981) como um caso da seleção indireta e apresentado com alguns comentários por Cecarelli (1994), que enfocou a seleção para ambientes com estresse.

A justificativa para a seleção indireta é a alta herdabilidade de um caráter secundário comparada à do caráter de interesse. Segundo Falconer (1981), quando um mesmo caráter é medido em dois ambientes diferentes, eles podem ser considerados dois caracteres distintos. Considerando X um ambiente de estresse e a seleção para um caráter qualquer (A), por exemplo produção, pode-se ter duas situações: a seleção no mesmo ambiente em direção à resposta direta (R_x) ou a seleção para o mesmo caráter num ambiente mais favorável (Y),

em direção à resposta correlacionada em X (RC_x). A eficiência da seleção indireta em Y, em relação à seleção direta em X, é dada por:

$$RC_x/R_x = r_G h_y/h_x$$

em que r_G é o coeficiente de correlação genética entre A_x e A_y , h_y e h_x são as raízes quadradas da herdabilidade do caráter nos dois ambientes, respectivamente (Falconer, 1981).

Quando $h_y=h_x$, o valor máximo de RC_x/R_x é 1, se $r_G=1$. Contudo, quando as herdabilidades são as mesmas nos ambientes, a seleção direta sempre será mais efetiva, pois a correlação genética é sempre menor do que 1. A resposta correlacionada somente será maior que a resposta direta quando $r_G h_y > h_x$.

O argumento usado em favor da seleção em ambientes favoráveis é que as herdabilidades são maiores nestes do que nos ambientes desfavoráveis (Blum, 1988). Porém, isso não é sempre verdadeiro, como encontrado em extensa revisão feita por Cecarelli (1994), e ainda, parece haver independência entre níveis de produtividade e magnitude da herdabilidade (Pederson & Rathjen, 1981). Além disso, com baixos valores de coeficiente de correlação genética (0,1 a 0,2), a h_y deve ser pelo menos 5 a 10 vezes maior do que h_x , para RC_x ser maior que R_x (Cecarelli, 1994). Assim, somente a herdabilidade não é suficiente para determinar o ambiente ótimo para seleção, e quando r_G é negativo, a magnitude das herdabilidades nos ambientes é irrelevante.

Segundo Allen et al. (1978), um ambiente ótimo para seleção é aquele que maximiza a relação $r_{xm} h_x$, em que r_{xm} é a correlação entre a média do caráter dos genótipos no ambiente considerado (x) com a média dos respectivos genótipos em todos os ambientes de seleção e h é a raiz quadrada da herdabilidade do caráter no ambiente x . Os autores encontraram estimativas de h que não apresentaram grande variação, a partir de dados de experimentos em

várias culturas sob diferentes níveis de produtividade. Os resultados do trabalho mostraram que em algumas situações os ambientes com alta produção não foram superiores para seleção. Afirmaram, ainda, que se uma classe de ambientes é estabelecida como superior para avaliação, é porque a r_{xm} é mais alta para estes ambientes do que para outros.

Vários trabalhos mostram que a seleção direta é frequentemente mais eficiente do que a indireta, como sugerido pelos trabalhos teóricos de Rosielle & Hamblin (1981) e Simmonds (1991). Isto é confirmado por numerosos experimentos revisados por Cecarelli (1994) e também pelo encontrado por Resende et al. (1997) e Atlin & Frey (1990) para as condições de estresse.

Deste modo, quando a interação genótipos por ambientes é extremamente importante, o melhorista enfrenta grande problema para selecionar genótipos para cada tipo de ambiente. Uma medida seria tomar a média dos ambientes favoráveis e desfavoráveis, para alcançar desempenho desejável em ambas condições (Cecarelli et al., 1998). Para a condição de estresse, a seleção direta é mais efetiva no mesmo ambiente do que a seleção sobre a média dos ambientes favoráveis e desfavoráveis. Outros trabalhos, conduzindo populações segregantes, recomendam alternar a seleção em condições favoráveis e de estresse, o que é efetivo para selecionar genótipos que apresentem bom desempenho em ambas condições (Calhoun et al., 1994; Kirigwi et al., 2004).

2.1.3 Índices de seleção

Vários índices de seleção são encontrados na literatura para auxiliar a seleção de genótipos avaliados em condições favoráveis de cultivo e de estresse (Abebe et al., 1998; Parentoni et al., 2001; Yadav & Bhatnagar, 2001; Kirigwi et al., 2004). Isto se torna necessário, pois quando é avaliado um grande número de

genótipos, a visualização dos resultados fica comprometida, face ao volume de dados a serem analisados e interpretados. Assim, procura-se reunir as informações num único índice de seleção.

Parentoni et al (2001) comentam sobre o uso de índices para seleção para adaptação a solos ácidos em milho. O índice mais simples usado para separar cultivares tolerantes e sensíveis tem sido dividir a produção no nível sem estresse pela produção no nível com estresse (IS 1, Tabela 1). O índice é bastante utilizado e visa separar os efeitos variáveis de potencial produtivo entre as diversas cultivares, da resposta ao estresse de cada cultivar individualmente. Porém, este índice apresenta o problema de favorecer cultivares não responsivas à melhoria ambiental (Parentoni et al., 2001).

O índice 2 (Tabela 1) consiste em plotar em um gráfico, no eixo x, a produção sob estresse, e no eixo y a relação produção no nível com estresse dividida pela produção no nível sem estresse (Parentoni et al., 2001). Duas retas traçadas na média de cada um dos eixos permitem dividir os genótipos em 4 quadrantes, incluindo os tolerantes ou sensíveis (acima ou abaixo da média do eixo x) e aqueles responsivos ou não responsivos (acima ou abaixo da média do eixo y). O índice 3 multiplica o índice 1 pela relação entre a produção da cultivar sob estresse dividida pela produção da cultivar mais produtiva sob estresse; ou seja, este índice dá peso especial a cultivares com alta produção sob estresse.

O índice 4 seleciona cultivares com alta produção tanto no ambiente com estresse como no ambiente sem estresse. Entretanto, genótipos com média tolerância, mas de alta capacidade de responder à melhoria do ambiente, podem ser selecionadas usando este índice (Parentoni et al, 2001). Com o intuito de corrigir este problema, os autores propuseram um outro índice (IS 5, Tabela 1), com um componente a mais que IS 4. Este novo índice seleciona os indivíduos mais produtivos na presença e ausência de estresse, dando peso especial aos genótipos mais tolerantes ao estresse.

TABELA 1. Índices de seleção (IS) usados em experimentos em que são avaliados genótipos sob estresse e em condições favoráveis de cultivo.

Índices	Descrição
$IS\ 1 = A_i/B_i$;	em que A_i : produção do genótipo i sob estresse e B_i : produção do genótipo i em condição favorável.
$IS\ 2 =$ gráfico $X\ Y$	em que $X = A_i$ e $Y = A_i/B_i$; utilizam-se retas cortando a média dos eixos X e Y para determinar quadrantes
$IS\ 3 = A_i/B_i \times A_i/T$	em que T é a produção do genótipo mais produtivo sob estresse
$IS\ 4 = (A_i \times B_i)/(A \times B)$	em que A é a média de todos os genótipos sob estresse e B é a média de todos os genótipos em condição favorável
$IS\ 5 = [(A_i \times B_i)/(A \times B)]/[A_i/A]$	termos definidos anteriormente
$IS\ 6^1 = (1-A_i/B_i)/(1-A/B)$	“ “
$IS\ 7^2 = 100 [1-(A_i/B_i)]$	“ “

Fonte: Adaptado de Parentoni et al. (2001); ¹Fischer & Maurer (1978); ² Abebe, Brick & Kirkby (1998).

Fischer & Maurer (1978) desenvolveram um índice de susceptibilidade à seca (IS 6, Tabela 1), baseado na razão da produção de genótipos sob condições de estresse e não estresse. Este índice tem sido usado na identificação de genótipos para condições de estresse em várias culturas (Bruckner & Froberg, 1987; Tai et al., 1994; Abebe et al., 1998; Hall, 2003b). Bidinger et al. (1987) desenvolveram um índice de resposta para fornecer um indicativo da tolerância à seca por meio de regressão sobre dias de florescimento e do potencial de produção em condições favoráveis.

Abebe et al. (1998) avaliaram vários índices para seleção de genótipos de feijão submetidos ou não a estresse hídrico, incluindo a média aritmética e a média geométrica dos ambientes, índice de resposta à seca, índice de susceptibilidade e porcentagem de redução de produção (IS 6 e IS 7 da Tabela 1, respectivamente). Apenas a média geométrica e aritmética dos genótipos foram correlacionadas positivamente com as produções nos ambientes com e sem estresse. Yadav & Bhatnagar (2001), estudando alguns destes índices, recomendaram também o uso da média geométrica e aritmética como critério de seleção para diversas condições ambientais em milheto.

2.1.4 Análise de adaptabilidade e estabilidade

Geralmente, quando é realizada a seleção sob várias condições ambientais, incluindo ambientes com estresse, a interação genótipos por ambiente assume grande importância, como comentado.

Segundo Cecarelli et al. (1991), os ambientes caracterizados por baixas produtividades são altamente imprevisíveis, por causa da variação em frequência, duração e intensidade dos fatores responsáveis pelo estresse. Deste modo, o melhoramento para estabilidade, considerando os ambientes favoráveis e desfavoráveis, é muito mais complexo.

A análise de estabilidade e adaptabilidade pode complementar e auxiliar os métodos para seleção sob condições de estresse. Por meio desta análise, torna-se possível a identificação de cultivares de comportamento previsível e que sejam responsivas às variações ambientais, em condições específicas ou amplas (Cruz & Regazzi, 1997).

Segundo Mariotti et al. (1976), a adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos de responderem vantajosamente à melhoria do ambiente, enquanto

a estabilidade refere-se à capacidade dos genótipos de apresentarem comportamento altamente previsível em função das variações ambientais. O genótipo ideal, tomado como padrão de adaptabilidade, é aquele que apresenta produtividade alta e constante em ambientes desfavoráveis, mas com capacidade de responder à melhoria das condições ambientais.

Vários métodos estão disponíveis na literatura para análise da estabilidade e adaptabilidade e diversos livros e textos abordam amplamente este assunto (Lin et al., 1986; Crossa, 1990; Kang, 1996; Carneiro, 1998; Kang, 1998; Yan & Hunt, 1998; Yan, 2002).

2.1.5 Caracteres fisiológicos

O aumento da produção de grãos da maioria das culturas tem sido realizado através da seleção direta para este caráter, processo chamado de seleção empírica ou de método sintético, a partir de avaliações dos genótipos em várias localidades (Hamblin, 1993). A oportunidade de complementar ou substituir esta abordagem pode se dar através de índices para a seleção indireta, incluindo conjuntos de caracteres morfofisiológicos, processo conhecido como método analítico. Isso se torna importante principalmente para ambientes em que a herdabilidade para a produção de grãos seja baixa (Moll et al., 1987).

O uso de caracteres fisiológicos como critérios de seleção raramente tem apresentado sucesso em programas de melhoramento (Slafer et al., 1994; Jackson et al., 1996). Isto porque muitos dos estudos sobre estes caracteres são conduzidos independentemente fora da rotina de programas de melhoramento ou por cientistas não envolvidos com o melhoramento (Cecarelli et al., 1991). Como consequência, os melhoristas têm uma atitude cética em relação a estes estudos, com a justificativa de que as conclusões não são aplicadas pelo baixo

número de genótipos usados, ou pelo tipo de germoplasma usado e ainda, em número insuficiente de ambientes (Cecarelli et al., 1991). Por outro lado, os melhoristas não possuem treinamento suficiente em fisiologia vegetal (Jackson et al., 1996), daí a razão por não estarem conscientizados do valor dos caracteres fisiológicos como auxílio na seleção.

Em muitos casos, realmente não há uma boa associação entre os caracteres fisiológicos e a produção em condições de campo, sendo seu uso para desenvolvimento de cultivares bastante limitado. Existe ainda o efeito da interação genótipos x ambientes, envolvida na produção de grãos e na expressão dos caracteres fisiológicos, dificultando ainda mais a inclusão de alguns caracteres no programa, devido à complexidade destas relações. Além das diferenças entre as condições ambientais, existem também as diferenças de expressão, de acordo com os estádios de desenvolvimento das plantas e ou da constituição genética dos materiais (Rasmusson, 1987).

Os procedimentos para medição dos caracteres devem ser rápidos, com simplicidade e precisão das avaliações (Rasmusson, 1987), pois nos programas de melhoramento, frequentemente um grande número de materiais é produzido anualmente. Além disso, devem apresentar alta correlação com a produção na região para a qual o programa deseja desenvolver as cultivares.

2.2 Melhoramento para resistência ao calor

2.2.1 Aspectos Gerais

O estresse provocado pelo calor normalmente é aquele que ocorre quando as temperaturas são altas o suficiente para causarem danos irreversíveis

às funções fisiológicas da planta ou no seu desenvolvimento como um todo (Hall, 2003a).

Entre os efeitos adversos das altas temperaturas observados em campo, têm-se como principais, o aumento da respiração; o aumento da taxa de desenvolvimento e de senescência de folhas, reduzindo o período de produção de fotoassimilados para sementes e frutos; o aborto de flores; a redução da fotossíntese; a inibição da síntese de amido em grãos; a redução do número e peso de grãos e o aumento da transpiração e da possibilidade de estresse hídrico (Hall, 2003). Além disso, as interações com outros fatores ambientais, como radiação, fotoperíodo e umidade, são complexas, necessitando de estudos direcionados à área em que se pretende explorar as culturas.

Os aspectos gerais do melhoramento para tolerância ao calor são discutidos por Hall (1990, 1992), que comenta sobre as estratégias usadas em várias culturas. Informações e estudos genéticos sobre a tolerância podem ser encontradas em publicações mais recentes, para culturas como o amendoim (Craufurd et al., 2003), feijão-caupi (Ehlers & Hall, 1998; Hall, 2003b), trigo (Tahir & Singh, 1993; Hede et al., 1999; Khanna-Chopra & Viswanathan, 1999; Budak, 2001; Souza & Ramalho, 2001), milho (Soldati et al., 1999; Karim et al., 2000) e gramíneas forrageiras (Xu & Huang, 2001).

Os conceitos de tolerância e resistência podem causar alguns equívocos e são usados com diferentes significados na literatura. Segundo Hall (2003b), a resistência genética ao calor ocorre quando um genótipo é mais produtivo que um outro sob estresse térmico. Esta seria distinta da tolerância ao calor, a qual está relacionada ao desempenho do genótipo sob altas temperaturas, comparada ao desempenho do mesmo genótipo sob condições ótimas.

Segundo Hall (1990), para que se possam incorporar alelos para tolerância ao calor nos programas de melhoramento, algumas questões devem ser consideradas anteriormente. A primeira delas é qual o tipo de clima ocorre na

área produtora alvo do programa, dando-se importância à magnitude das temperaturas diurnas e noturnas ao longo do ciclo da cultura. A segunda é se existe algum estágio de desenvolvimento em que a planta é mais sensível ao calor e há maior redução da produtividade. Uma outra questão é sobre como a tolerância é herdada e se existem outros caracteres correlacionados com a produção. Estas duas últimas podem ajudar na decisão do melhorista em estabelecer métodos de *screening* e as estratégias de seleção.

O método tradicional para o melhoramento para resistência ao calor tem sido avaliar linhagens avançadas no ambiente de produção com estresse e selecionar aquelas com produção maior que as cultivares disponíveis (medição direta da resistência) (Hall, 2003b). Outros métodos usados são o estudo de caracteres fisiológicos para a seleção indireta; a avaliação de genótipos sob condições controladas de casa de vegetação e o auxílio da Biologia Molecular.

Em algumas situações, progressos lentos foram alcançados a partir da seleção direta em campo, como observado em caupi (Ehlers & Hall, 1998), para as quais métodos adequados de *screening* necessitam ser desenvolvidos. Por exemplo, em caupi (Ehlers & Hall, 1998) e amendoim (Craufurd et al., 2003), a seleção de genótipos com resistência a calor a partir de caracteres específicos durante a fase reprodutiva tem apresentado eficiência.

Em trigo são bastante usadas a avaliação da termoestabilidade de membranas, a partir de folhas de plantas desenvolvidas em campo (Blum et al., 2001; Tahir & Singh, 1993), e a avaliação do conteúdo de clorofila nas folhas, esta última para *screening* em casa de vegetação (Hede et al., 1999). A temperatura do dossel de folhas, que depende da taxa de transpiração, também tem sido usada para diferenciar genótipos de trigo tolerantes ao calor, apresentando alta correlação com a condutância de estômatos e produção de grãos (Ayeneh et al., 2002).

Quanto ao uso da Biologia Molecular e da transformação de plantas para tolerância a altas temperaturas, envolvendo também outros tipos de estresses, informações podem ser obtidas nas amplas revisões de Antonella et al. (1999); Grover et al. (1999), Cushman & Bohnert (2000), Iba (2002) e Watanabe (2002). Alguns estudos envolvem as proteínas denominadas *heat shock*. Estas proteínas são sintetizadas em plântulas submetidas a altas temperaturas e possuem papel na tolerância ao calor, principalmente em termos de proteção à célula e sobrevivência (Vierling, 1991). Contudo, elas não fazem parte de mecanismos principais pelos quais algumas plantas diferem na resistência ou tolerância a calor (Hall, 2003b). Genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.), que diferem em graus variados de resistência a calor, principalmente na fase reprodutiva, apresentaram mesmo padrão de produção de proteínas *heat shock* em folhas quando submetidos a temperaturas altas (Hall, 2003b).

2.2.2 Melhoramento para tolerância ao calor em batata

2.2.2.1 Importância

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é originária da América do Sul, de locais de climas amenos nos Andes, de onde foi levada para a Europa pelos colonizadores espanhóis. Nos ambientes europeus sofreu seleção para adaptação a dias longos, encontrados no período de cultivo neste continente (Brown, 1993). Da Europa, a batata disseminou-se para outros países, inclusive da América, sendo que a maioria das cultivares atuais é descendente dos materiais europeus.

A cultura passou a ter mais importância nos países de clima tropical e outras regiões de latitudes mais baixas que o norte da Europa, a partir da década de 1950, com aumento considerável da área cultivada nestes locais (Hijmans,

2001). Nestes ambientes, a batata não encontra condições ideais para o bom desenvolvimento, pois frequentemente ocorrem temperaturas altas e déficit hídrico. Deste modo, o melhoramento para adaptação e tolerância ao calor tornou-se extremamente importante para que a produção seja viável nessas áreas (Simmonds, 1971), sendo que programas com este objetivo específico são bastante recentes e em pequeno número em todo o mundo (Levy, 1984).

No Brasil, embora o plantio se concentre nos estados do Sul e em regiões com altas altitudes nos estados do Sudeste, onde as temperaturas são mais amenas, temperaturas acima das ideais frequentemente ocorrem, principalmente nas safras das águas (plantio de agosto a dezembro).

Além disso, a maioria das cultivares atualmente plantadas no país foi desenvolvida especificamente para condições temperadas e, embora apresentem boas qualidades para o comércio e indústria, quando submetidas às condições climáticas do Brasil, apresentam produtividade e qualidade de tubérculos abaixo do seu potencial. Deste modo, a obtenção de cultivares adaptadas a essas condições torna-se bastante importante para o país.

2.2.2.2 Influência da Temperatura na cultura da batata

A cultura da batata é afetada por uma série de fatores ambientais, tais como debilitação por doenças e insetos, temperaturas elevadas, disponibilidade de água, fotoperíodo e fertilidade do solo. Dentre estes fatores, o mais extensivamente caracterizado em regiões tropicais, são os efeitos adversos causados por elevadas temperaturas, as quais são responsáveis por acentuada queda de produção e da qualidade de tubérculos.

A faixa de temperatura ideal para formação de tubérculos e produção de matéria seca pela batata está entre 15° C e 20° C (Van Der Zaag & Burton, 1978). Ambientes com temperaturas noturnas mais frias e temperaturas diurnas

que não ultrapassem os 25° C são recomendados para o bom desenvolvimento da cultura (Fontes & Finger, 1999).

As altas temperaturas podem afetar a planta de batata de várias maneiras, dependendo da fase de desenvolvimento em que ocorrem, sendo críticas principalmente no período de formação de tubérculos (Van Der Zaag & Burton, 1978). Com as altas temperaturas ocorre maior partição de fotoassimilados para as partes aéreas em detrimento de raízes, tubérculos e estolões (Sarquis et al., 1996; Van Dam et al., 1996), diminuição da fotossíntese e aumento das perdas com a respiração (Prange et al., 1990; Reynolds et al., 1990; Wolf et al., 1990).

Outro efeito é o atraso do início da tuberização (Manrique, 1989; Van Dam et al., 1996; Menezes et al., 1999) e a senescência mais rápida de folhas (Marinus & Boadlaender, 1975), que promovem a redução do enchimento de tubérculos pelo encurtamento do período de acúmulo de reservas.

Além disso, as altas temperaturas afetam a qualidade interna de tubérculos, pela diminuição do teor de matéria seca (Haynes & Haynes, 1983; Prange et al., 1990). Isto é extremamente importante, pois quanto maior o teor de matéria seca, melhor é a qualidade de tubérculos para a fritura. Ainda, as altas temperaturas promovem o aumento do número de tubérculos com defeitos fisiológicos, como rachaduras, crescimento secundário (embonecamento) e manchas internas (Hughes, 1974; Marinus & Bodlaender, 1975; Hooker, 1990; Menezes et al., 1999), afetando a aparência e diminuindo a aceitação comercial do produto.

Outro aspecto é com relação ao aumento da incidência de pragas e doenças. Nos trópicos a batata apresenta sérios problemas com o aparecimento de viroses, uma vez que a população de pulgões, principais vetores de vírus importantes para a cultura, é alta durante todo o ano em função das temperaturas elevadas. Doenças como a pinta-preta (*Alternaria solani*), murcha-bacteriana

(*Ralstonia solanacearum*) e podridões causadas por *Erwinia* apresentam maior incidência sob temperaturas elevadas (Lopes, 1996; Vale et al., 1996).

2..2.2.3 Estratégias visando a seleção para resistência ao calor em batata

Embora a maioria das cultivares de batata seja adaptada às condições que prevalecem nos países de clima temperado, com moderadas temperaturas diurnas, noites frias e dias longos, tem sido relatada a capacidade de certos genótipos em tuberizar sob altas temperaturas e apresentarem menores perdas de produção em climas quentes (Levy et al., 1991).

Apesar de vários estudos realizados na área de fisiologia vegetal, os mecanismos de resistência e tolerância ao calor não são totalmente esclarecidos (Frusciante et al., 1999). Segundo Levy et al. (1991), a tolerância ao estresse parece envolver mecanismos bastante complexos e, em um genótipo adaptado, espera-se combinar alelos para tolerância ao calor e para bom desempenho em campo. Segundo Hall (1992), as cultivares classificadas como resistentes devem apresentar alta produção, boa qualidade do produto econômico ou ainda, grande sobrevivência em campo, em relação às cultivares padrão sob altas temperaturas.

Entre os mecanismos fisiológicos e bioquímicos relacionados com a tolerância ao calor em batata, cita-se a maior eficiência fotossintética a altas temperaturas (Wolf et al, 1990); a menor atividade da amilase e invertase e o menor acúmulo de amido em folhas (Basu & Minhas, 1991) e síntese de proteínas *heat shock* por longos períodos (Ahan et al., 2004).

A variabilidade para outros caracteres fisiológicos considerados importantes para resistência tem sido relatada em várias espécies diplóides de *Solanum* (Reynolds & Ewing, 1989; Midmore & Prange, 1991). Reynolds & Ewing (1989) classificaram os materiais como tolerantes com base no vigor e na razão do peso fresco de hastes produzidas em casa de vegetação sob

temperaturas altas e ventilada, respectivamente. Midmore & Prange (1991) concluíram que a tolerância é governada por dois mecanismos fisiológicos principais: a capacidade de tuberizar sob altas temperaturas e a de manter um balanço positivo de produção de matéria seca.

Segundo Ewing (1981), na seleção para tolerância ao calor, a atenção não deve ser dada somente à sobrevivência e ao crescimento de plantas sob altas temperaturas, mas também à partição de fotoassimilados para tubérculos. Tai et al. (1994) utilizaram como critério de seleção para tolerância, apenas o teor de matéria seca dos tubérculos.

Estudos de caracteres morfológicos têm sido desenvolvidos na tentativa de encontrar aqueles mais correlacionados com a tolerância ao calor. Entretanto, alguns como o tamanho e número de internódios, folhas e hastes foram considerados inadequados à avaliação da tolerância (Morpurgo & Ortiz, 1998).

Ewing (1978) desenvolveu uma técnica de *screening*, baseada na indução da tuberização em seções de hastes das plantas, sob condições controladas de temperatura e fotoperíodo. Entretanto, Harvey et al. (1988) não encontraram alta correlação com a produção em campo usando a técnica mencionada.

Veilleux et al. (1997) avaliaram a tolerância a calor em *seedlings* de híbridos de *S. tuberosum* com espécies diplóides. Foi possível identificar híbridos que exibiram boa tuberização (número, peso de tubérculos e porcentagem de plantas que tuberizaram) sob altas temperaturas em casa de vegetação. Os *seedlings* selecionados sob altas temperaturas apresentaram maior tolerância ao calor na geração seguinte em relação aos *seedlings* selecionados para tuberização sob temperaturas mais baixas. Levy (1984) também avaliou *seedlings* para capacidade de tuberização sob altas temperaturas em casa de vegetação, sendo que alguns clones selecionados apresentaram também bom desempenho em campo. Várias cultivares, recomendadas para clima quente de

Israel, têm sido lançadas a partir desse esquema de avaliações iniciais em casa de vegetação (Susnochi et al., 1987; Levy et al, 2001).

Outros estudos têm associado a tolerância com a precocidade de tuberização, como relatado por Levy et al., (1991), porém, respostas diferenciadas são encontradas entre cultivares mais tardias. Segundo os autores, a tolerância, avaliada pela capacidade de tuberização sob altas temperaturas, é geneticamente controlada, mas o início da tuberização pode ser independente da taxa de tuberização nas progênies. Também concluíram que a tolerância das progênies foi correlacionada com a tolerância relativa dos genitores. Manrique et al. (1989) também encontraram associação da tolerância com a precocidade de tuberização, mas a precocidade não proporcionou altas produções sob altas temperaturas em campo. Levy (1986) encontrou relação da precocidade de maturação de plantas com menores perdas de produção sob temperaturas elevadas, podendo ser a precocidade um mecanismo de escape ao estresse.

Sattelmacher (1983), por outro lado, realizando testes em *seedlings* em casa de vegetação, encontrou melhor desempenho em campo para os clones tardios para tuberização. O autor afirmou, com base também em outros estudos, que os clones muito precoces para tuberização apresentaram a desvantagem de não possuírem área foliar suficiente para suportar o enchimento de tubérculos. Sattelmacher (1983) propôs ainda uma simplificação para *screening* de *seedlings* em casa de vegetação sob altas temperaturas, selecionando apenas no final do ciclo para maior tamanho de tubérculos.

Em trabalho desenvolvido na região sul de Minas Gerais, Menezes et al. (1999) estudaram os efeitos adversos de altas temperaturas sobre o desenvolvimento da batata, incluindo os genótipos DTO-28, LT-7, LT-8, e LT-9, liberados pelo CIP (Centro Internacional de la Papa), como materiais tolerantes ao calor. Os autores observaram que em condições de temperaturas altas no campo a produção foi reduzida em 25,5%, principalmente devido ao

atraso no início da tuberização e à redução na partição de fotoassimilados para os tubérculos. Além disso, observaram uma redução no teor de matéria seca dos tubérculos e aumento na ocorrência de tubérculos com crescimento secundário e rachaduras.

Considerando estes resultados, torna-se difícil pensar somente em uma característica para a seleção de clones, além do que a produção final é o resultado da interação entre a temperatura e vários outros fatores no decorrer do ciclo. Menezes et al. (2001) identificaram clones que tiveram bom desempenho em condições de temperaturas mais altas na safra das águas no Sul de Minas Gerais. As características utilizadas para a seleção dos clones foram a produção total de tubérculos por planta, a porcentagem de tubérculos graúdos, o peso específico de tubérculos e a porcentagem de tubérculos com defeitos fisiológicos.

2.3 Métodos de Melhoramento de Batata

A batata é uma cultura que apresenta propagação vegetativa por tubérculos. A seleção nos programas de melhoramento geralmente é realizada por etapas nas progênies híbridas, de acordo com o avanço das gerações clonais, sem que novas recombinações sejam efetuadas.

Num primeiro estágio são obtidas as sementes verdadeiras, provenientes dos cruzamentos e que são semeadas em bandejas em casa de vegetação, originando os *seedlings*. Estes *seedlings* podem ser transplantados para pequenos vasos em casa de vegetação ou diretamente para o campo. Como a espécie é um autotetraplóide ($2n=4x=48$), com herança tetrassômica, e os genitores geralmente são altamente heterozigóticos, observa-se grande segregação na descendência. Desta maneira, é desejável que seja obtida uma enorme

quantidade de *seedlings*, para aumentar a probabilidade de se obterem os genótipos superiores, considerando que não haverá outras recombinações genéticas.

Na geração *seedling* geralmente são descartados os piores clones, realizando-se uma seleção negativa, principalmente para caracteres de alta herdabilidade, como a aparência, formato de tubérculos e profundidade de gemas, entre outros. A seleção para caracteres relativos à produção de tubérculos é pouco eficiente nesta fase e na literatura são encontrados vários trabalhos que abordam este método, denominado de seleção precoce (Tai, 1975; Rowell, et al. 1986; Pinto et al., 1994; Gopal, 1997; Amaro, 2002)

A partir da geração *seedling* são obtidos os tubérculos que constituirão a primeira geração clonal e, com as sucessivas multiplicações, as gerações clonais 2, 3, e assim por diante. Os primeiros ensaios podem ser conduzidos já na primeira ou segunda geração, utilizando parcelas com poucas plantas, de 1 a 5, visto o baixo número de tubérculos obtidos por genótipo nessas duas gerações. O delineamento de blocos aumentados pode ser utilizado, ou um outro delineamento com reduzido número de repetições, o que ocasiona, na maioria das vezes, uma baixa precisão experimental.

Como observado, a seleção realizada nas gerações iniciais, principalmente para caracteres de baixa herdabilidade, geralmente é pouco eficiente, adiando-se, então, a seleção para as gerações posteriores, em que serão realizados experimentos com maior número de repetições. Contudo, torna-se importante que apenas os melhores genótipos sejam multiplicados e avançados, devido ao custo relacionado com a manutenção de enorme quantidade de tubérculos de vários clones, além do requerimento de área e mão de obra para instalação dos ensaios.

Para contornar este problema, e visando a concentração de esforços nos genótipos superiores, algumas estratégias podem ser utilizadas, como a seleção

de famílias e a utilização de índices de seleção (Pinto, 2000). A seleção de famílias tem sido utilizada em batata (Bradshaw et al., 2000; Gopal, 2001) e cana-de-açúcar (Jackson et al., 1995). Em plantas propagadas vegetativamente, o termo família refere-se a um grupo de indivíduos pertencentes a um mesmo cruzamento, que pode ser um cruzamento biparental (irmãos germanos) ou cruzamento por polinização livre ou da mistura de pólen (meio-irmãos). Assim, as parcelas das famílias em um experimento serão constituídas por clones diferentes, com a vantagem de se poder instalar os ensaios inclusive na geração *seedling*, a partir do transplântio destes para o campo, ou na primeira geração clonal. Isto é viável, pois neste processo necessita-se de apenas uma planta (um *seedling* ou um tubérculo) por clone, uma vez que os indivíduos não precisam ser necessariamente os mesmos nas repetições e a família é que estará sendo repetida. Além da vantagem citada anteriormente, uma outra é a de que o melhorista pode identificar as melhores combinações híbridas (famílias) e concentrar seus esforços na seleção de clones dentro destas. Os ensaios podem ser instalados também em mais de um local, melhorando as estimativas da herdabilidade e, permitindo ainda, o estudo da interação genótipos por ambientes (Jackson et al., 1995; Gopal, 2001). O princípio para utilização da seleção de famílias em plantas propagadas assexuadamente é discutido por Simmonds (1996).

No caso dos índices de seleção, um dos que pode ser aplicado para plantas propagadas assexuadamente é descrito por Wricke e Weber (1986), correspondendo a um tipo de seleção sequencial. Como a seleção para estas espécies é realizada em diversas etapas, dispõe-se de informações fenotípicas dos genótipos selecionados em estádios anteriores. Estas informações podem ser agrupadas na forma de um índice de seleção, visando maximizar a eficiência da seleção. Desta maneira, na segunda geração de avaliação, por exemplo, tem-se um índice com informações dos clones nas duas primeiras gerações; na terceira

geração tem-se um índice com informações dos clones nas três avaliações iniciais, e, assim, sucessivamente (Souza Júnior, 1995).

Este índice para seleção sequencial, com aproveitamento das informações ao longo dos anos de experimentação, foi comparado à seleção baseada nas informações obtidas apenas do ano de avaliação para a cultura da soja (Prado, 1999). O método de seleção sequencial foi mais eficiente que o método de seleção independente. Segundo o autor, isto ocorre porque os efeitos prejudiciais da interação linhagens com anos e do componente de variância ambiental são reduzidos, aumentando, assim, os ganhos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEBE, A.; BRICK, M. A.; KIRKBY, R. A. Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 58, n. 1, p. 15-23, July 1998.

AHN, Y. J.; CLAUSSEN, K.; ZIMMERMAN, J. L. Genotypic differences in the heat-shock response and thermotolerance in four potato cultivars. **Plant Science**, Shannon, v. 166, n. 4, p. 901-911, April. 2004.

ALLEN, F. L.; COMSTOCK, R. E.; RASSMUSSEN, D. C. Optimal environments for yield testing. **Crop Science**, Madison, v. 18, n. 5, p. 747-751, Sept./Oct. 1978.

AMARO, G. B. **Seleção precoce de clones de batata para caracteres do tubérculo**. 2002. 73 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ANTONELLA, L.; COSTA, A.; CONSIGLIO, F.; MASSARELLI, I.; DRAGONETTI, E.; DE PALMA, M.; GRILLO, S. Tolerance to abiotic stresses in potato plants: a molecular approach. **Potato Research**, Wageningen, v. 42, p. 333-351, 1999. Supplement.

ATLIN, G. N.; FREY, K. J. Selecting oat lines for yield in low-productivity environments. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 3, p. 556-561, May/June 1990.

AYENEH, A.; van GINKEL, M.; REYNOLDS, M. P.; AMMAR, K. Comparisons of leaf, spike, peduncle and canopy temperature depression in wheat under heat stress. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 79, n. 2/3, p. 173-184, Dec. 2002.

BAKER, F. W. G. (Ed.) **Drought resistance in cereals**. CAB International, UK. 1989. 221p.

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K.; HE, Z. L Nutrient use efficiency in plants. **Communication Soil Plant Analysis**, New York, v. 37, n.7/8, p. 921-950, 2001.

BASU, P. S.; MINHAS, J. S. Heat tolerance and assimilate transport in different potato genotypes. **Journal of Experimental Botany**, Cambridge, v. 42, n. 240, p. 861-866, July 1991.

BIDINGER, F. R.; MAHALAKSHMI, V.; RAO, G. D. P. Assessment of drought resistance in pearl millet [*Pennisetum americanum* (L.) Leeke]. II. Estimation of genotype response to stress. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 38, n. 1, p. 49-59, 1987.

BIDINGER, F. R.; WELTZIEN, R. E.; MAHALAKSHMI, V.; SINGH, S. D.; RAO, K. P. Evaluation of landrace topcross hybrids of pearl millet for arid zone environments. **Euphytica**, Wageningen, v. 76, n. 3, p. 215-226, 1994.

BLUM, A. **Plant Breeding for stress environments**. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1988. 223 p.

BLUM, A.; KLUEVA, N.; NGUYEN, H. T. Wheat cellular thermotolerance is related to yield under heat stress. **Euphytica**, Wageningen, v. 117, n. 2, p. 117-123, 2001.

BOYER, J. S. Advances in drought tolerance in plants. **Advances in Agronomy**, New York, v. 56, p. 187-218, 1996.

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. 772-781, May 2000.

BROWN, C. R. Origin and history of the potato. **American Potato Journal**, Orono, v. 70, n. 5, p. 363-373, May 1993.

BRUCKNER, P. L.; FROHBERG, R. C. Stress tolerance and adaptation in spring wheat. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 1, p. 31-36, Jan./Feb. 1987.

BUDAK, N. Breeding durum and bread wheat lines resistant to high temperatures during grain filling period. **Cereal Research Communications**, Szeged, v. 29, n. 3/4, p. 351-358, 2001.

BYRNE, P. F.; BOLANOS, J.; EDMEADES, G. O.; EATON, D. L. Gains from selection under drought versus multilocation testing in related tropical maize populations. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 1, p. 63-69, Jan./Feb. 1995.

CALHOUN, D. S.; GEBEYEHU, G.; MIRANDA, A.; RAJARAM, S.; van GINKEL, M. Choosing evaluation environments to increase wheat grain under drought conditions. **Crop Science**, Madison, v. 34, n. 3, p. 673-678, May/June 1994.

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade de comportamento.** 1998. 168 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CECARELLI, S. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. **Euphytica**, Wageningen, v. 77, n. 3, p. 205-219, 1994.

CECARELLI, S.; ACEVEDO, E.; GRANDO, S. Breeding for yield stability in unpredictable environments: single traits, interaction between traits, and architecture of genotypes. **Euphytica**, Wageningen, v. 56, n. 2, p. 169-185, July 1991.

CECARELLI, S.; GRANDO, S.; IMPIGLIA, A. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. **Euphytica**, Wageningen, v. 103, n. 3, p. 307-318, 1998.

CLARK, R. B.; DUNCAN, R. R. Improvement of plant mineral nutrition through breeding. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 27, n. 3, p. 219-240, Oct. 1991.

CRAUFURD, P. Q.; PRASAD, P. V. V.; KAKANI, V. G.; WHEELER, T. R.; NIGAM, S. N. Heat tolerance in groundnut. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 80, p. 63-77, 2003.

CROSSA, J. Statistical analyses of multilocation trials. **Advances in Agronomy**, New York, v. 44, p. 55-85, 1990.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** Viçosa: UFV, 1997. 390 p.

CUSHMAN, J. C.; BOHNERT, H. J. Genomics approaches to plant stress tolerance. **Current Opinion in Plant Biology**, London, v. 3, n. 2, p. 117-124, Apr. 2000.

DUVICK, D. N. Genetic contributions to advances in yield of US maize. **Maydica**, Bergamo, v. 37, n. 1, p. 69-79, 1992

EHLERS, J. D.; HALL, A. E. Heat tolerance of contrasting cowpea lines in short and long days. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 55, n. 2/3, p. 11-21, Mar. 1998.

- EWING, E. E. Critical photoperiods for tuberization: a screening technique with potato cuttings. **American Potato Journal**, Orono, v. 55, n. 1, p. 43-53, Jan. 1978.
- EWING, E. E. Heat stress and the tuberization stimulus. **American Potato Journal**, Orono, v. 58, n. 1, p. 31-49, Jan. 1981.
- FALCONER, D. S. **Introduction to quantitative genetics**. 2. ed. London: Longman Group, 1981. 279 p.
- FISHER, R. A.; MAURER, R. Drought resistance in spring wheat cultivars 1. Grain yield responses. **Australian Journal of Agricultural Research**, Melbourne, v. 29, n. 5, p. 897-912, 1978.
- FONTES, P. C. R.; FINGER, F. L. Dormência dos tubérculos, crescimento da parte aérea e tuberação da batateira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 197, p. 24-29, mar./abr. 1999.
- FRUSCIANTE, L.; BARONE, A.; CARPUTO, D.; RANALLI, P. Breeding and physiological aspects of potato cultivation in the Mediterranean region. **Potato Research**, Wageningen, v. 42, p. 265-277, 1999. Supplement.
- GOPAL, J. Genetic parameters and character associations for family selection in potato breeding programmes. **Journal of Genetics & Breeding**, Rome, v. 55, n. 3, p. 201-208, Sept. 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, Aug. 1997.
- GROVER, A.; SAHI, C.; SANAN, N.; GROVER, A. Taming abiotic stresses in plants through genetic engineering: current strategies and perspective. **Plant Science**, Shannon, v. 143, n. 1, p. 101-111, May 1999.
- HALL, A. E. Breeding for heat tolerance. **Plant Breeding Reviews**, New York v. 10, p. 129-168, 1992.
- HALL, A. E. Breeding for heat tolerance – An approach based on whole-plant physiology. **HortScience**, Alexandria, v. 25, n. 1, p. 17-19, Jan. 1990.
- HALL, A. E. **Heat stress and its impact**. 2003. Disponível em: www.plantstress.com/articles/heat_i/heat_i.htm>. Acesso em: 2004.

HALL, A. E. **The mitigation of heat stress**. 2003. Disponível em: <www.plantstress.com/articles./index.aps>. Acesso em: 2004.

HALL, A. E.; ZISKA, L. H. Crop breeding strategies for the 21st century. In: REDDY, K. R.; HODGES, H. F. (Ed.). **Climate change and global crop productivity**. New York: >CABI Publishing, 2000. P. 407-423.

HAMBLIN, J. The ideotype concept: useful or outdated? In: INTERNATIONAL CROP SCIENCE 1., 1993. Ames, EUA. **Anais...** Ames: Crop Society of America, 1993. p. 589-598.

HARVEY, B. M. R.; LEE, H. C.; SUSNOSCHI, M. Assesment of heat tolerance in potato (*Solanum tuberosum* ssp. *tuberosum*) under controlled environmental conditions: The "cutting technique". **Potato Research**, Wageningen, v. 31, n. 4, p. 659-666, Dec. 1988.

HAYNES, K. G.; HAYNES, F. L. Stability of high specific gravity genotypes of potatoes under high temperatures. **American Potato Journal**, Orono, v. 60, n. 1, p. 17-26, jan. 1983.

HEDE, A. R.; SKOVMAND, B.; REYNOLDS, M. P.; CROSSA, J.; VILHELMSSEN, A. L.; STOLEN, O. Evaluating genetic diversity for heat tolerance traits in Mexican wheat landraces. **Genetic Resources and Crop Evolution**, Dordrecht, v. 46, n. 1, p. 37-45, Feb. 1999.

HIJMANS, R. J. Global distribution of the potato crop. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 78, n. 6, p. 403-412, Nov./Dec. 2001.

HOOKE, W. J. **Compendium of potato diseases**. St. Paul: APS Press, 1990. 125 p.

HUGHES, J. C. Factors influencing the quality of ware potatoes. 2. Environmental factors. **Potato Research**, Wageningen, v. 17, p. 512-547, 1974.

IBA, K. Acclimative response to temperature stress in higher plants: Approachs of gene engineering for temperature tolerance. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 53, p. 225-245, 2002.

JACKSON, P.; MCRAE, T.; HOGATH, M. Selections of sugarcane families across variable environments I. Sources of variation and na optimal selection index. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 43, n. 2/3, p. 109-118, Oct. 1995.

JACKSON, P.; ROBERSTSON, M.; COOPER, M.; HAMMER, G. The role of physiological understanding in plant breeding; from a breeding perspective. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 49, n. 1, p. 11-37, Nov. 1996.

KANG, . M. S. **Genotype-by-environment interaction**. New York: CRC Press, 1996. 416 p.

KANG, M. S. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. **Advances in Agronomy**, New York, v. 62, p. 199-250, 1998.

KARIM, M. A.; FRACHEBOUD, Y.; STAMP, P. Effect of high temperature on seedling growth and photosynthesis of tropical maize genotypes. **Journal of Agronomy & Crop Science**, Berlin, v. 184, n. 4, p. 217-223, June 2000.

KHANNA-CHOPRA, R.; VISWANATHAN, C. Evaluation of heat stress tolerance in irrigated environment of *T. aestivum* and related species. I. Stability in yield and yield components. **Euphytica**, Wageningen, v. 106, n. 2, p. 169-180, 1999.

KIRIGWI, F. M.; van GINKEL, M.; TRETOWAN, R.; SEARS, R. G.; RAJARAM, S.; PAULSEN, G. M. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. **Euphytica**, Wageningen, v. 135, n. 3, p. 361-371, 2004.

LEVY, D. Cultivated *Solanum tuberosum* L. as a source for the selection of cultivars adapted to hot climates. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 61, n. 3, p. 167-179. July 1984.

LEVY, D. Genotypic variation in the response of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) to high ambient temperatures and water deficit. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 15, n. 1, p. 85-96, Oct. 1986.

LEVY, D.; ITZHAK, Y.; FOGELMAN, E.; MARGALIT, E.; VEILLEUX, R. E. Ori, Idit, Zohar and Zahov: Tablestock and chpstock cultivars bred for adaptation to Israel. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 78, n. 3, p. 167-173, May/June 2001.

LEVY, D.; KASTENBAUM, E.; ITZHAK, Y. Evaluation of parents for heat tolerance in the early generations of a potato (*Solanum tuberosum* L.) breeding program. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 82, n. 2, p. 130-136, July 1991.

LEWIS, C. F.; CHRISTIANSEN, M. N. Breeding plants for stress environments. In: FREY, K. J. (Ed.). **Plant breeding. II. Plant breeding symposium**. 2. ed. Iowa: Iowa State University, 1981. p. 151-177. 1981.

LIN, C. S.; BINNS, M. R.; LEFKOVITH, L. P. Stability analysis: where do we stand? **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 5, p. 894-899, Sept./Oct. 1986.

LOPES, . C. A. Doenças causadas por bactérias em batata. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 184, p. 36-40, 1996.

MANRIQUE, L. A. Analysis of growth of Kennebec potatoes grown under differing environments in the tropics. **American Potato Journal**, Orono, v. 66, n. 5, p. 277-291, May 1989.

MANRIQUE, L. A.; BARTHOLOMEW, D. P.; EWING, E. E. Growth and yield performance of several potato clones grown at three elevations in Hawaii. I. Plant morphology. **Crop Science**, Madison, v. 29, n. 2, p. 363-370, Mar./Apr. 1989.

MARINUS, J.; BODLAENDER, K. B. A. Response of some potato varieties to temperature. **Potato Research**, Wageningen, v. 18, n. 2, p. 189-201, 1975.

MARIOTTI, J. A.; OYARZABAL, E. S.; OSA, J. M.; BULACIO, A. N. R.; ALMADA, G. H. Analisis de estabilidad y adaptabilidad de genotipos de caña de azucar. I. Interacciones dentro de una localidad experimental. **Revista Agronomia do Nordeste Argentino**, Tucuman v. 13, n. 1/4, p. 405-412, 1976.

MENEZES, C. B.; PINTO, C. A. B. P.; NURMBERG, P. L.; LAMBERT, E. S. 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, n. 4, p. 777-784, out./dez. 1999.

MENEZES, C. B.; PINTO, C. A. B. P.; NURMBERG, P. L.; LAMBERT, E. S. Combining ability of potato genotypes for cool and warm season in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 145-157, 2001.

MIDMORE, D. J.; PRANGE, R. K. Sources of heat tolerance amongst potato cultivars, breeding lines, and *Solanum* species. **Euphytica**, Wageningen, v. 55, n. 3, p. 235-245, June 1991.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Development of nitrogen efficient prolific hybrids of maize. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 2, p. 181-186, Mar./Apr. 1987.

MOPURGO, R.; ORTIZ, R. Morphological variation in potato (*Solanum* spp.) under contrasting environments. **Environmental and Experimental Botany**, Elmsford, v. 28, n.1, p. 165-169, 1998.

PARENTONI, S. N.; ALVES, V. M. C.; MILACH, S. K.; CANÇADO, G. M. A.; BAHIA FILHO, A. F. C. Melhoramento para tolerância ao alumínio como fator de adaptação a solos ácidos. In: NASS, L. L.; VALDIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS. **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis, 2001. p. 783-852.

PEDERSON, D. G.; RATHJEN, A. J. Choosing trial sites to maximize selection response for grain yield in spring wheat. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 32, n. 3, p. 411-424, 1981.

PINTO, C. A. B. P. Métodos de melhoramento aplicados às plantas propagadas vegetativamente e por sementes. In: SIMPÓSIO DE ATUALIZAÇÃO EM GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS, 4., 2000, Lavras. **Anais...** Lavras, 2000. p. 76-97.

PINTO, C. A. B. P.; VALVERDE, V. I. R.; ROSSI, M. S. Eficiência da seleção nas primeiras gerações clonais em batata (*Solanum tuberosum* L.). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 5, p. 771-778, maio 1994.

PRADO, L. C. **Estratégias de seleção em soja com base na avaliação em vários anos**. 1999. 92 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

PRANGE, R. K.; McRAE, K. B.; MIDMORE, D. J.; DENG, R. Reduction in potato growth at high temperature: role of photosynthesis and dark respiration. **American Potato Journal**, Orono, v. 67, n. 6, p. 357-369, June 1990.

RASMUSSEN, D. C. An evaluation of ideotype breeding. **Crop Science**, Madison, v. 27, n. 6, p. 1140-1146, Nov./Dec. 1987.

RESENDE, M. D. V.; SOUZA Jr., C. L.; GAMA, E. E. G.; MAGNAVACA, R. Análise quantitativa da seleção envolvendo progênies de milho (*Zea mays* L.) em solos sob cerrado e fértil. I. Progressos Genéticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 495-507, maio 1997.

REYNOLDS, M. P.; EWING, E. E. Heat tolerance in tuber bearing *Solanum* species: a protocol for screening. **American Potato Journal**, Orono, v. 66, n. 1, p. 63-75, Jan. 1989.

REYNOLDS, M. P.; EWING, E. E.; OWENS, T. G. Photosynthesis at high temperature in tuber bearing *Solanum* species. **Plant Physiology**, Rockville, v. 93, n. 2, p. 791-797, June 1990.

ROSIELLE, A. A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**, Madison, v. 21, n. 6, p. 943-946, Nov./Dec. 1981.

ROWELL, A. B.; EWING, E. E.; PLAISTED, R. L. Comparative field performance of potatoes from seedling and tubers. **American Potato Journal**, Orono, v. 63, n. 4, p. 219-227, Apr. 1986.

SARQUÍIS, J. I.; GONZÁLES, H. , BERNAL-LUG, I. Response of two potato clones (*Solanum tuberosum* L.) to contrasting temperature regimes in the field. **American Potato Journal**, Orono, v. 73, n. 7, p. 285-300, July 1996.

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

SHANNON, M. C. Adaptation of plants to salinity. **Advances in Agronomy**, New York v. 75, p. 75-120, 1997.

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

SIMMONDS, N. W. The potential of potatoes in the tropics. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 48, n. 4, p. 291-295, July 1971.

SIMMONDS, N. W. Selection for local adaptation in a plant breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 82, n. 3, p. 363-367, 1991.

SINGH, K. B.; BEJIGA, G.; SAKENA, M. C.; SINGH, M. Transferability of chickpea selection indexes from normal to drought-prone growing conditions in a mediterranean environment. **Journal of Agronomy & Crop Science**, Berlin, v. 175, n. 1, p. 57-63, Aug. 1995.

SLAFER, G. A.; CALDERINI, D. F.; MIRALLES, D. J.; DRECCER, F. Preanthesis shading effects on the number of grains. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 36, n. 1, p. 31-39, Jan. 1994.

SOLDATI, A.; STHELI, A.; STAMP, P. Temperature adaptation of tropical highland maize (*Zea mays* L.) during early growth and in controlled conditions. **European Journal of Agronomy**, Amsterdam, v. 10, n. 2, p. 111-117, Mar. 1999.

SOUZA Jr., C. L. **Melhoramento de espécies de reprodução vegetativa**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Genética, 1995. 41 p. (Publicação didática)

SOUZA, M. A.; RAMALHO, M. A. P. Genetic control and tolerance to te heat stress in wheat hybrid population and cultivars. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 10, p. 1245-1253, out. 2001.

SUSNOSCHI, M.; COSTELLOE, B.; LIFSHITZ, Y.; LEE, H. C.; ROSEMAN, Y. Arma: A potato cultivar resistant to heat stress. **American Potato Journal**, Orono, v. 64, n. 4, p. 191-197, Apr. 1987.

TAHIR, M.; SINGH, M. Assessment of screening techniques for heat tolerance in wheat. **Crop Science**, Madison, v. 33, p. 740-744, May/June 1993.

TAI, G. C. C. Effectiveness of visual selection for early clonal generation seedlings of potato. **Crop Science**, Madison, v. 15, n. 1, p. 15-18, Jan./Feb. 1975

TAI, G. C. C.; LEVY, D.; COLEMAN, W. K. Path Analysis of genotype-environment interactions of potatoes exposed to increasing warm-climate constraints. **Euphytica**, Wageningen, v. 75, n. 1/2, p. 49-61, 1994.

TOLLENAAR, M.; WU, J. Yield Improvement in Temperate maize is attributable to greater stress tolerance. **Crop Science**, Madison, v. 39, n. 6, p. 1597-1604, Nov./Dec. 1999.

VALE, F. X. R.; ZAMBOLIN, L.; COSTA, H. Doenças causadas por fungos em batata. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 184, p. 28-54, 1996.

- VAN DAM, J.; KOOMAN, P. L.; STRUIK, P. C. Effects of temperature and photoperiod on early growth and final number of tuber in potato (*Solanum tuberosum* L.). **Potato Research**, Wageningen, v. 39, n. 1, p. 51-62, Jan./Feb. 1996.
- VAN DER ZAAG, D. E.; BURTON, W. G. Potential yield of the potato crop and its limitations. EAPR. 7th, Conference Survey Papers, p. 7-22, Warsaw, Poland, 1978.
- VEILLEUX, R. E.; PAZ, M. M.; LEVY, D. Potato germplasm development for warm climates: genetic enhancement of tolerance to heat stress. Heat tolerance 4x-2x hybrids. **Euphytica**, Wageningen, v. 98, n. 1/2, p. 83-92, 1997.
- VIERLING, E. The roles of heat shock proteins in plants. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 42, p. 579-620, 1991.
- WATANABE, K. N. Challenges in biotechnology for abiotic stress tolerance on roots and tubers. **JIRCAS Working Report**, p. 75-83, 2002.
- WHITEHEAD, W. F.; ALLEN, F. L. High- vs. low-stress yield test environments for selecting superior soybean lines. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 4, p. 912-918, July/Aug. 1990.
- WOLF, S.; OLESINSKI, A. A.; RUDICH, J.; MARANI, A. Effect of high temperature on photosynthesis in potatoes. **Annals of Botany**, London, v. 65, n. 2, p. 179-185, Feb. 1990.
- WRICKE, G.; WEBER, W. E. **Quantitative Genetics and Selection in Plant Breeding**. Walter de Gruyter, 406p. 1986.
- XU, Q. Z.; HUANG, B. R. Morphological and physiological characteristics associated with heat tolerance in creeping bentgrass. **Crop Science**, Madison, v. 41, n. 1, p. 127-133, Jan./Feb. 2001.
- YADAV, O. P.; BHATNAGAR, S. K. Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non-stress conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 70, n. 3, p. 201-208, May 2001.
- YAN, W. Singular-value partitioning in biplot analysis of multi-environment trial data. **Agronomy Journal**, Madison, v. 94, p. 990-996, 2002.

YAN, W.; HUNT, L. A. Genotype by environment interaction and crop yield.
Plant Breeding Reviews, New York, v. 16, p. 135-178, 1998.

CAPÍTULO 2

SELEÇÃO SEQUENCIAL EM CLONES DE BATATA

RESUMO

LAMBERT, Eduardo de Souza. **Seleção sequencial em clones de batata**. 2004. 142 p. Tese Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas – Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG*.

A seleção em espécies de propagação vegetativa é realizada por etapas, de acordo com o avanço das gerações clonais. Geralmente nas primeiras gerações não se dispõe de material suficiente para realização de ensaios com número adequado de repetições. À medida que os genótipos são multiplicados com os anos, torna-se possível a instalação de experimentos com maior número de repetições. Deste modo, vão sendo acumuladas informações fenotípicas dos genótipos selecionados em estádios anteriores. Estas informações de gerações anteriores podem ser agrupadas na forma de um índice de seleção, visando maximizar a eficiência da seleção. O objetivo do presente estudo foi o de promover o uso de um índice para seleção sequencial na cultura da batata e verificar a sua eficiência. Os dados usados foram provenientes de nove gerações, cujos ensaios foram conduzidos em diferentes localidades, anos e épocas de plantio do Sul de Minas Gerais. Os delineamentos experimentais empregados variaram entre os ensaios e as épocas de plantio escolhidas visaram proporcionar estresse térmico (safra das águas) e condições ideais de temperatura (safra de inverno). O índice de seleção usado para ponderação das médias fenotípicas dos diferentes ensaios sequenciais, considerando o número de repetições de cada ensaio, mostrou-se eficiente e pode ser facilmente aplicado nos programas de melhoramento. Observou-se baixa correlação entre médias de clones nas gerações, mesmo para os caracteres de média a alta herdabilidade, indicando que os dados de uma única geração somente devem ser usados para descartar os piores clones. Com o auxílio do índice, para os caracteres de alta herdabilidade pode-se recomendar a diminuição do número de gerações para seleção. Para os caracteres de herdabilidade mais baixa, o índice apresentou eficiência ainda maior, mas devido à grande interação genótipos por ambientes, há necessidade de avaliações por um número maior de gerações.

* Orientador: César Augusto Brasil Pereira Pinto – UFLA.

ABSTRACT

LAMBERT, Eduardo de Souza. **Sequential selection of potato clones**. 2004. 142p. (Thesis – Doctorate in Genetics and Plant Breeding). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

Selection in a vegetatively propagated species, such as potato, is carried out in steps, according to the advancement of clonal generations. Generally, in the first generations there is not enough tubers to plant trials with replications. As the genotypes are propagated through the years, experiments with a larger number of replications become possible. In this way, phenotypic information about the selected genotypes is accumulated from the previous stages. All data from previous generations can then be grouped into a selection index in order to maximize selection efficiency. The purpose of this study was to apply a sequential selection index to the potato crop and evaluate its efficiency. The data came from nine generations which trials were carried out in different localities, years and cropping seasons in southern Minas Gerais State, Brazil. Experimental designs varied among trials and the cropping seasons were chosen to represent heat stress (summer) and favorable temperature conditions (winter) for the crop. The selection index used to weight the phenotypic means in the sequential trials, taking into account the number of replications of each trial, was very efficient and can be easily used in breeding programs. Low correlation coefficients among clone means across generations were observed, even for the traits with high heritability, showing that data from just one generation should be used only to discard the lower performance clones. Using the selection index for traits with high heritabilities allows the selection to be carried out with a lower number of generations. For traits with lower heritabilities the selection index was even more efficient, but due to the high genotype x environment interaction the evaluations should be carried out for more generations.

* Adviser Professor: César Augusto Brasil Pereira Pinto – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A seleção em espécies de propagação vegetativa é realizada por etapas, de acordo com o avanço das gerações clonais. Geralmente, nas primeiras gerações não se dispõe de material suficiente para realização de ensaios com número adequado de repetições.

À medida que os genótipos são multiplicados com os anos, torna-se possível a instalação de experimentos com maior número de repetições. Deste modo, vão sendo acumuladas informações fenotípicas dos genótipos selecionados em estádios anteriores. Estas informações de gerações anteriores podem ser agrupadas na forma de um índice de seleção, visando maximizar a eficiência da seleção (Wricke & Weber, 1986). Por exemplo, na segunda geração de avaliação, pode-se obter um índice com informações dos clones nas duas primeiras gerações; na terceira geração, um índice com informações dos clones nas três avaliações iniciais e, assim, sucessivamente. A seguir descreve-se o modo de construção deste índice, apresentado por Wricke & Weber (1986), de acordo com a notação e comentários de Souza Júnior (1995). Maiores detalhes sobre o índice podem ser encontrados nesta última citação.

A partir da avaliação dos genótipos em duas gerações n e n' , com $n' = n + 1$, em que os genótipos foram selecionados na geração n , o índice de seleção de um dado genótipo, para um caráter j com as informações das duas gerações é dado por:

$$I_{ij} = b_n \bar{F}_{ijn} + b_{n'} \bar{F}_{ijn'} \quad , \quad (\text{Eq. 1})$$

em que I_{ij} é o índice de seleção do genótipo i para o caráter j com informações das gerações n e n' ; \bar{F}_{ij} é a média do caráter j do genótipo i nas gerações n e n' e b_n e $b_{n'}$ são os pesos associados à média das gerações n e n' , respectivamente.

O uso do índice somente será vantajoso se a seleção baseada nele for mais eficiente do que aquela baseada nas informações da geração n'. Assim, torna-se necessário que as informações geradas para o caráter j baseadas no índice sejam superiores às da geração n' (Souza Júnior, 1995). Como o índice é uma equação de regressão múltipla, os pesos b_n e $b_{n'}$ são coeficientes de regressão parciais dos valores fenotípicos \bar{F}_{ijn} e $\bar{F}_{ijn'}$, sobre I_j . Estes valores são gerados de forma a maximizar a correlação do índice e o valor genotípico do caráter j. Realizando algumas operações algébricas e considerando a restrição de que $b_n + b_{n'} = 1$, pode-se concluir que a obtenção dos pesos para o índice depende apenas do número de repetições r, em que:

$$b_n = \frac{r_n}{(r_n + r_{n'})} \quad \text{e} \quad b_{n'} = \frac{r_{n'}}{(r_n + r_{n'})},$$

Isto assumindo que a $\sigma_{Gn}^2 = \sigma_{Gn'}^2$, se a intensidade de seleção não for muito elevada, e que $\sigma_{En}^2 = \sigma_{En'}^2$. Assim, o índice para seleção na geração n', considerando as informações da geração anterior é dado por:

$$I_{ij} = \left(\frac{r_n}{r_n + r_{n'}} \right) \bar{F}_{ijn} + \left(\frac{r_{n'}}{r_n + r_{n'}} \right) \bar{F}_{ijn'},$$

Para várias etapas de seleção o índice é dado por:

$$I_{ij} = b_1 \bar{F}_{ij1} + b_2 \bar{F}_{ij2} + \dots + b_n \bar{F}_{ijn},$$

em que

$$b_1 = \frac{r_1}{(r_1 + r_2 + \dots + r_n)}; \quad b_2 = \frac{r_2}{(r_1 + r_2 + \dots + r_n)} \quad \text{e} \quad b_n = \frac{r_n}{(r_1 + r_2 + \dots + r_n)}, \quad \text{ou}$$

$$b_n = \frac{r_n}{\sum_{k=1}^n r_k}, \quad (\text{Eq. 2})$$

O índice é facilmente obtido, uma vez que não são necessárias as estimativas de variância e covariância, dependendo apenas do número de repetições r e dos valores médios fenotípicos em cada geração.

Para duas gerações n e n' , a variância fenotípica do índice pode ser dada por $\sigma_{FI}^2 = b_n^2 \sigma_{\bar{F}_n}^2 + b_{n'}^2 \sigma_{\bar{F}_{n'}}^2 + 2b_n b_{n'} \text{Cov}_{\bar{F}_n, \bar{F}_{n'}}$, e após algumas operações, por:

$$\sigma_{FI}^2 = \sigma_G^2 + \frac{\sigma_E^2}{(r_n + r_{n'})}, \quad (\text{Eq. 3})$$

em que σ_G^2 é a variância genética do caráter e σ_E^2 a variância ambiental.

A eficiência do índice em relação à seleção praticada somente com a média de uma determinada geração é apresentada por Souza Júnior (1995), da maneira a seguir:

$$Ef = \frac{Rs_I}{Rs_{n'}},$$

em que Rs_I é a resposta à seleção truncada baseada no índice e $Rs_{n'}$, a resposta à seleção truncada baseada na informação da geração n' . A resposta à seleção no caráter j baseada no índice é $Rs_I = i_I \text{Cov}G(I_{ij}, G_{ij}) / \sigma_{FI}$, em que i_I é o diferencial de seleção estandardizado do índice, $\text{Cov}(I_{ij}, G_{ij})$ é a covariância

genética do índice do caráter j com o valor genotípico deste caráter e σ_{FI} é o desvio padrão fenotípico do índice para o caráter j.

A covariância genética pode ser dada por:

$Cov(I_{ij}, G_{ij}) = E(I_{ij})(G_{ij}) = \sigma_G^2$. Então a resposta à seleção truncada baseada no índice é:

$$Rs_I = \frac{i_I \sigma_G^2}{\sqrt{\sigma_G^2 + \frac{\sigma_E^2}{r_n + r_{n'}}}},$$

A eficiência do índice em relação à seleção da geração n' pode então ser escrita como:

$$Ef = \frac{Rs_I}{Rs_{n'}} = \frac{\frac{i_I \sigma_G^2}{\sigma_{FI}}}{\frac{i_{n'} \sigma_G^2}{\sigma_{Fn'}}},$$

Considerando que $i_I = i_{n'}$, tem-se:

$$Ef = \frac{\sigma_{Fn'}}{\sigma_{FI}} = \sqrt{\frac{\sigma_G^2 + \sigma_E^2 / r_{n'}}{\sigma_G^2 + \sigma_E^2 / (r_n + r_{n'})}} \quad (\text{Eq. 4})$$

em que Ef é a eficiência do índice em relação à seleção da geração n', σ_{FI} é o desvio padrão fenotípico do índice para o caráter j, $\sigma_{Fn'}$ é o desvio padrão fenotípico do caráter j na geração n', σ_G^2 é a variância genética do caráter e σ_E^2 é a variância ambiental.

A expressão demonstra que a eficiência do índice em relação à seleção da geração n' depende dos valores relativos dos desvios padrões. O desvio

padrão do índice é sempre menor do que o desvio padrão da geração considerada, e portanto, a seleção baseada no índice é mais eficiente do que a feita com as informações apenas da geração n' (Souza Jr., 1995). Nota-se que quanto maior a diferença do número de repetições entre as gerações ($r_{n'} > r_n$), menor será a eficiência do índice de seleção, e vice-versa.

O índice apresentará eficiência superior e será mais útil principalmente para caracteres de herdabilidades mediana e baixa. Nesses casos, a variância ambiental é muito superior à variância genética. No caso de caracteres de herdabilidade mais alta, a variância ambiental do índice contribui pouco para a variância fenotípica total, diminuindo a eficiência do índice. O índice pode também auxiliar a identificação de genótipos superiores em gerações anteriores àquelas em que seria possível sem a sua utilização. Para isto a correlação do índice de seleção com a geração n' deve ser superior àquela da geração n e n'.

A correlação entre o índice de seleção, com informações das gerações n-1 e n, com a geração n', é obtida por:

$$r(I_{ij}^n, \bar{F}_{ij}^{n'}) = \frac{Cov(I_{ij}^n, \bar{F}_{ij}^{n'})}{\sigma_{Fin} \sigma_{Fn'}} = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_{Fin} \sigma_{Fn'}} , \quad (\text{Eq. 5})$$

em que $Cov(I_{ij}^n, \bar{F}_{ij}^{n'})$ é a covariância do índice da geração n com o valor fenotípico do caráter j na geração n'; $\bar{F}_{ij}^{n'}$ é o valor médio fenotípico do caráter j do clone i na geração n', e σ_{Fin} e $\sigma_{Fn'}$ são os desvios padrão fenotípicos do índice de seleção da geração n e dos valores fenotípicos da geração n', respectivamente.

Para os caracteres de baixa herdabilidade, novamente o índice ganha importância, pois os coeficientes de correlação entre os índices com uma etapa posterior do programa, em que os genótipos são avaliados em grande número de

repetições, são superiores aos coeficientes de correlação envolvendo apenas os valores fenotípicos de cada geração. Para caracteres de herdabilidade mais alta, o índice de seleção não auxilia na seleção precoce, uma vez que a correlação dos valores fenotípicos das gerações n e n' apresenta valores elevados (Souza Jr., 1995).

Segundo Resende (2002), uma outra ponderação poderia ser feita, a partir da herdabilidade dos ensaios. Deste modo, o índice passa a ser escrito como:

$$I_{ij} = \frac{r_n}{r_n + r_{n'} + \frac{1-h_{an}^2}{h_{an}^2}} \bar{F}_{ijn} + \frac{r_{n'}}{r_n + r_{n'} + \frac{1-h_{an'}^2}{h_{an'}^2}} \bar{F}_{ijn'} , \quad (\text{Eq. 6})$$

em que h_a^2 é a herdabilidade no sentido amplo, referente ao caráter avaliado numa geração qualquer. O autor ressalta que o índice ponderado apenas pela repetição é fenotípico e não genotípico, pois considera-se que $h_a^2 = 1$, o que não é verdadeiro.

Os objetivos do trabalho foram promover o uso do índice para seleção sequencial na cultura da batata e verificar a sua eficiência, a partir de dados obtidos de experimentos de nove gerações clonais, conduzidos em diferentes épocas de plantio e várias localidades do Sul de Minas Gerais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Experimental

Os clones avaliados são provenientes do cruzamento entre cultivares nacionais e clones tolerantes ao calor oriundos do CIP (Centro Internacional de La Papa) (Tabela 1). Foram obtidos 1200 clones a partir de 36 cruzamentos biparentais, descritos por Menezes et al. (2001). Os genitores Aracy, Itararé, Baronesa e o clone EPAMIG 76-0580 são materiais obtidos no Brasil. LT-7, LT-8, LT-9 e DTO-28 são clones lançados pelo CIP (Centro Internacional de la Papa) como tolerantes ao calor. Desirée é uma cultivar européia, também considerada tolerante ao calor (Levy, 1984).

Foram realizados nove ensaios, de acordo com os avanços das gerações clonais, em diferentes anos, épocas de plantio ou locais. Na Tabela 2 estão caracterizados os ensaios, sendo quatro na safra de inverno, quatro na safra das águas e um na safra da seca. Os delineamentos experimentais e número de repetições, bem como as testemunhas incluídas variaram entre os ensaios.

A seleção dos clones nas gerações foi realizada, anteriormente a este estudo, descartando-se aqueles com baixo desempenho para a produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos, peso específico de tubérculos, má aparência e presença de defeitos fisiológicos (seleção independente). Para facilitar o entendimento e a nomenclatura para aplicação do índice para seleção sequencial, denominou-se como gerações diferentes até mesmo aqueles experimentos realizados numa mesma geração de multiplicação, mas que foram conduzidos em diferentes ambientes.

TABELA 1. Genealogia dos clones avaliados nos ensaios.

Clone	Genealogia	Clone	Genealogia
CBM-2.06	LT-7 x Aracy	CBM-11.03	Itararé x Aracy
CBM-2.21	LT-7 x Aracy	CBM-14.16	Baronesa x Aracy
CBM-3.26	DTO-28 x Itararé	CBM-15.25	DTO-28 x LT-8
CBM-4.16	Baronesa x LT-7	CBM-16.16	LT-7 x Itararé
CBM-5.09	DTO-28 x Desirée	CBM-22.19	LT-9 x EPAMIG 76-0580
CBM-8.11	Baronesa x DTO-28	CBM-26.22	LT-8 x EPAMIG 76-0580
CBM-10.43	Itararé x Desirée		

As parcelas foram constituídas de uma única linha com 5 plantas espaçadas de 0,30 m x 0,8 m. A adubação de plantio foi efetuada com a formulação comercial 4-14-8 (N-P₂O₅-K₂O), na base de 3000 kg/ha, juntamente com inseticida granulado aldicarb (13 kg/ha). Por volta de 30 a 40 dias após o plantio foi feita uma adubação nitrogenada de cobertura, com 60 kg/ha de nitrogênio (300 Kg/ha de sulfato de amônio), e realizada a amontoa. Capinas, irrigações e controle fitossanitário foram realizados todas as vezes que foram necessários, a fim de manter a cultura com seu mais alto potencial produtivo.

2.2 - Análises Estatísticas

Foram realizadas as análises de variância conjuntas das gerações, a partir das médias ajustadas dos clones obtidas das análises individuais dos experimentos. Como erro médio considerou-se a média dos quadrados médios dos erros das análises individuais (Tabela 1A) ponderados pelo número de graus de liberdade dos respectivos erros. O número de graus de liberdade do erro médio foi obtido pelo somatório do número de graus de liberdade dos erros das análises individuais. Estimou-se posteriormente, os componentes de variância e a herdabilidade no sentido amplo para os caracteres. Foram usados 51 clones que foram incluídos em todos os ensaios, avaliando-se a produção de tubérculos

TABELA 2. Relação dos ensaios de avaliação de clones em nove gerações, com os detalhes de local, época de pantio e delineamento experimental utilizado.

Gera- ção clonal	Nº de clones Avaliados	Local	Época	Delineamento	Nº de repetições
1	698	Lavras	Maió a setembro 1998	Blocos aumentados	1
2	605	Lavras	Nov. 1998 a fev. 1999	Blocos Casualizados	2
3	1009	Lavras	Maió a set. 1999	Blocos aumentados	1
4	256	Lavras	Jan. a abril 2000	Látice 16 x 16	2
5	256	Três Corações	Março a jul. 2000	Látice 16 x 16	2
6	256	Lavras	Maió a set. 2000	Látice 16 x 16	2
7	81	Lavras	Maió a set. 2001	Látice 9x 9	3
8	81	São João da Mata	Agosto a nov. 2001	Látice 9x 9	3
9	81	Lavras	Jan. a abril 2002	Látice 9x 9	3

por planta, a porcentagem de tubérculos graúdos (tubérculos com diâmetro transversal maior que 45 mm) e o peso específico de tubérculos, este último determinado através de uma balança hidrostática.

2.2.1 Modelos Estatísticos

Para a análise estatística do conjunto de experimentos foi utilizado o seguinte modelo:

$$Y_{ik} = \mu + g_i + e_k + (ge)_{ik} + E_{ik}$$

em que:

Y_{ik} : é a resposta média do clone i no ambiente j para o caráter considerado;

μ : é a constante (média geral) comum às respostas;
 g_i : é o efeito aleatório do clone i ($i=1,2,\dots, 51$);
 e_k : é o efeito aleatório do ambiente k ($k=1,2,\dots,9$);
 $(ge)_{ik}$: o efeito aleatório da interação do clone i com o ambiente k ; e
 E_{ik} : é o erro experimental médio, assumindo que seja independente e $E \sim N(0, \sigma^2)$.

2.3 Índice para Seleção Sequencial

2.3.1 Construção dos Índices

Foi aplicado às médias dos clones nas gerações, para os três caracteres, o índice apresentado por Wricke & Weber (1986), mostrado anteriormente (Equação 1).

2.3.2 Variância Fenotípica do Índice

A variância fenotípica do índice foi estimada por meio da Equação 3. Para as estimativas, foi usado como σ_G^2 o componente de variância genético relativo aos clones, isolado na análise conjunta para os caracteres e como σ_E^2 , o erro médio dos experimentos.

2.3.3 Eficiência do Índice

Anteriormente ao presente estudo, o índice não havia sido utilizado como critério para a seleção praticada nas gerações. Desta maneira, a fim de se verificar a aplicabilidade e eficiência de utilização do índice, foram obtidos os

índices acumulados com as gerações, considerando os clones que foram incluídos em todos os ensaios e mantidos na população. Assim, obtiveram-se para esses clones, desde os índices da segunda geração, utilizando os dados da geração 1 e 2, até o índice acumulado na geração 9.

A eficiência do índice em relação à seleção da geração n' foi obtida pela Equação 4.

2.3.4 Herdabilidade do índice

A herdabilidade do índice para os caracteres foi estimada por:

$$h_{In}^2 = \frac{\sigma_G^2}{\sigma_{Fin}^2},$$

em que:

σ_G^2 : variância genética do caráter, e

σ_{In}^2 : variância fenotípica do índice para o caráter j .

2.3.5 Estimativas de Correlações

A correlação entre o índice de seleção, com informações das gerações n-1 e n, com a geração n', foi obtida por meio da Equação 5, que envolve a variância genética e os desvios padrão fenotípicos dos índices.

Foram estimadas também correlações a partir das médias dos clones em cada geração e dos índices acumulados. Foram obtidas as seguintes correlações:

a) entre as médias dos clones nas gerações; b) entre índices estimados para os

clones nas gerações; e c) entre os índices da geração n com a média do clone na geração n' ($n' = n + 1$).

Os coeficientes de correlação foram calculados a partir das seguintes expressões:

$$a) \quad r(\bar{F}_{ij}^n, \bar{F}_{ij}^{n'}) = \frac{Cov(\bar{F}_{ij}^n, \bar{F}_{ij}^{n'})}{\sqrt{\hat{V}(\bar{F}_{ij}^n) \cdot \hat{V}(\bar{F}_{ij}^{n'})}},$$

em que:

$r(\bar{F}_{ij}^n, \bar{F}_{ij}^{n'})$: é o coeficiente de correlação entre as médias dos clones para o caráter j nas gerações n e n' , com $n' = n + 1$ e $n = 1, 2, 3, \dots, 8$;

$\hat{V}(\bar{F}_{ij}^n)$: é a variância das médias dos clones para o caráter j na geração n ;

$\hat{V}(\bar{F}_{ij}^{n'})$: é a variância das médias dos clones para o caráter j na geração n' .

$$b) \quad r(I_{ij}^n, I_{ij}^{n'}) = \frac{Cov(I_{ij}^n, I_{ij}^{n'})}{\sqrt{\hat{V}(I_{ij}^n) \cdot \hat{V}(I_{ij}^{n'})}},$$

em que:

$r(I_{ij}^n, I_{ij}^{n'})$: é o coeficiente de correlação entre os índices estimados para os clones nas gerações n e n' ; com $n' = n + 1$ e $n = 2, 3, \dots, 8$, para o caráter j ;

$\hat{V}(I_{ij}^n)$: é a variância dos índices dos clones na geração n para o caráter j ;

$\hat{V}(I_{ij}^{n'})$: é a variância dos índices dos clones na geração n' para o caráter j .

$$c) \quad r(I_{ij}^n, \bar{F}_{ij}^{n'}) = \frac{Cov(I_{ij}^n, \bar{F}_{ij}^{n'})}{\sqrt{\hat{V}(I_{ij}^n) \cdot \hat{V}(\bar{F}_{ij}^{n'})}},$$

em que:

$r(\bar{F}_{ij}^n, \bar{F}_{ij}^{n'})$: é o coeficiente de correlação entre o índice para o clone na geração n com a média do clone na geração n' para o caráter j ;

$\widehat{V}(I_{ij}^n)$: é a variância dos índices dos clones na geração n para o caráter j ;

$\widehat{V}(\bar{F}_{ij}^n)$: é a variância das médias dos clones na geração n' para o caráter j .

Os coeficientes de correlação foram testados pela estatística t , para verificação da hipótese de nulidade ($H_0: \rho=0$), a partir da expressão :

$$t = \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} \sqrt{v-2} ,$$

em que t está associado a $v-2$ graus de liberdade e um nível de significância α , em que v é o número de elementos envolvidos na estimativa da correlação.

2.3.6 Herdabilidade realizada

Foram obtidas as herdabilidades realizadas para os caracteres, de acordo com a expressão abaixo:

$$h_r = \left(\frac{ds_n / m_{n'}}{ds_n / x_n} \right) * 100 ,$$

em que:

h_r : é a herdabilidade realizada do caráter considerado;

ds_n : é o diferencial de seleção dos clones selecionados na geração n ;

ds_n' : é a diferença de desempenho dos clones selecionados com relação à população na geração n' ($n+1$);

x_n : é o valor médio dos clones na geração n ;

m_n : é a média dos clones selecionados, na geração n' .

As herdabilidades realizadas foram obtidas por dois modos, a fim de comparar a seleção baseada no índice com a seleção baseada na média da geração n . Dessa maneira, o x_n pode ser a média dos clones selecionados na geração n ou o valor médio dos índices (I_n) dos clones selecionados. A resposta à seleção foi obtida considerando o desempenho dos clones na próxima geração, ou seja, a média para os caracteres.

Também foram obtidas as herdabilidades realizadas considerando a seleção baseada no índice de uma geração (I_n) e a resposta sobre o índice da próxima geração ($I_{n'}$) para os caracteres.

Desse modo, para os cálculos considerou-se a seleção dos 15 melhores clones em cada geração de acordo com o índice ou a média da geração.

2.3.7 Seleção antecipada

Com o objetivo de estudar ainda a eficiência do índice e a possibilidade de antecipação da seleção de acordo com os avanços das gerações, foram simuladas as seleções de 20% e 30% dos clones, usando como base a média do clone em uma determinada geração ou o índice acumulado até a geração n . A eficiência para os dois modos de seleção foi determinada em relação à melhor opção, que seria a seleção baseada no índice acumulado até a geração 9.

Para as estimativas da eficiência utilizou-se a seguinte expressão, proposta por Hamblin & Zimmermann (1986):

$$ES(\%) = \frac{B - C}{A - C} * 100$$

em que:

ES (%): eficiência da seleção, em porcentagem, com base no índice (ES_{ind}) ou na média ($ES_{méd}$) de acordo com as gerações, em relação à seleção que seria realizada na melhor opção;

A: número de clones selecionados com base no índice acumulado até a geração 9 (I_9), que seria a melhor opção, para os caracteres avaliados;

B: número de clones selecionados com base na média da geração *n* ou com base no índice acumulado até a geração *n* (I_n , com $n = 2, \dots, 8$), que coincidem com a seleção considerada em *A*;

C: número esperado de clones em comum nas duas seleções unicamente devido ao acaso, considerado igual a 10% de *A*;

Para comparação entre os dois métodos, determinou-se a razão entre a eficiência esperada pela seleção baseada no índice em qualquer etapa em relação à eficiência calculada para a seleção com base na média da geração *n*, através do seguinte quociente:

$$RE = \frac{ES(índ)}{ES(méd)},$$

em que:

RE: é a razão das eficiências para comparação da seleção baseada no índice da geração n com a seleção baseada somente na média da geração n , com $n = 2,3,\dots,8$, tendo como referência a seleção que seria praticada com I_9 ;

ES (índ): eficiência da seleção com base no índice n em relação à seleção utilizando o I_9 .

ES (méd): eficiência da seleção com base na média da geração n em relação à seleção utilizando o I_9 .

2.3.8 Índice de Soma de Postos

O índice descrito anteriormente é passível de aplicação somente a um caráter individualmente. Com a finalidade de utilizar as informações obtidas para os três caracteres simultaneamente, realizou-se a classificação dos índices dos clones com base na soma de postos (Mulamba & Mock, 1978). O índice proposto por estes autores consiste em classificar os materiais em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento. As ordens referentes a cada caráter são somadas, resultando em uma medida tomada como índice para seleção dos materiais (Cruz & Regazzi, 1997). Para isso, foram utilizados os índices dos clones com as informações de todas as gerações (I_9).

2.3.9 Índice a partir da ponderação pela herdabilidade

Foi realizada ainda a ponderação das médias dos ensaios por outros dois métodos. Um considerando o número de repetições e a herdabilidade dos caracteres nas gerações, segundo Resende (2002) e mostrado pela equação 6. Um outro modo foi a partir da ponderação das médias das gerações por um peso que leva em consideração a herdabilidade dos experimentos e a correlação entre médias de experimentos, partindo da expressão apresentada por Allen et al.

(1978). A expressão define os ambientes ótimos para seleção, a partir do produto $r_{im} \cdot h_i$, em que r_{im} é a correlação entre as médias da característica dos genótipos na geração i com a média dos respectivos genótipos nas nove gerações e h_i é a raiz quadrada da herdabilidade da característica na geração i .

Os valores dos produtos obtidos para todas as gerações foram somados ($\sum_i^{n=9} r_{im} h_i$) e em seguida, determinou-se a proporção do valor de cada geração em relação ao somatório ($r_{im} h_i$) / ($\sum_i^{n=9} r_{im} h_i$), tomando-se esta como peso para as médias de cada geração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Análises de Variância Conjunta e Componentes de Variância

Os resumos das análises de variância conjunta dos experimentos encontram-se na Tabela 3. Observa-se que para todos os caracteres, a interação clones x gerações foi significativa, indicando que o comportamento dos clones nas diferentes gerações não foi consistente. Isto quer dizer que existe diferença de desempenho dos clones de acordo com a geração. Este resultado era esperado, uma vez que os experimentos foram conduzidos em diferentes épocas de plantio, anos e locais, e, portanto, com grande diferença de condições ambientais, contribuindo para a variação de resposta dos clones nos ambientes.

Na Tabela 3 também são apresentadas as médias dos ensaios, o CV(%) médio, os componentes de variância e a herdabilidade no sentido amplo (h^2_a) para os caracteres. Ressalta-se que a herdabilidade para o peso específico de tubérculos foi a mais alta (0,87), seguida da estimada para porcentagem de tubérculos graúdos (0,80) e da produção de tubérculos por planta (0,35). Para esse último caráter, obteve-se um alto valor do componente de variância da interação clones x ambientes ($\sigma^2_{c \times g}$), que foi até mesmo superior à variância genética de clones (σ^2_c), indicando maior influência do ambiente em relação aos outros caracteres. Posteriormente, essa informação será relevante para a discussão sobre a aplicação do índice de seleção.

TABELA 3. Resumo das análises de variância conjunta para os caracteres produção por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos. Análises a partir das médias de 9 experimentos.

FV	GL	Quadrado Médio		
		Produção (g/planta)	Porcentagem de tubérculos graúdos (%)	Peso específico de tubérculos ($\times 10^{-4}$)
Clones (C)	50	133133,27**	1657,04**	7,200**
Gerações (G)	8	14437988,83**	24169,03**	67,500**
C x G	400	85309,09**	328,68*	0,900**
Erro Médio	1784	33216,64	279,71	0,577
Média Geral		832,04	64,20	1,072
CV (%)		21,85	25,93	0,70
σ_c^2		2952,10	81,99	0,388
$\sigma_{c \times g}^2$		28940,25	27,20	0,179
h_a^2		0,35	0,80	0,87

** e * teste de F significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade, respectivamente; σ_c^2 : variância genética entre clones; $\sigma_{c \times g}^2$: variância da interação clones por gerações e h_a^2 : herdabilidade no sentido amplo.

3.2 Índice de Seleção

Na Tabela 4 são apresentados os valores obtidos para os índices de seleção dos clones, considerando as informações das nove gerações (I_9), e também a média geral de cada clone para os caracteres. Alguns clones destacaram-se dos demais, apresentando média elevada para os caracteres. Observa-se que os índices obtidos assemelham-se bastante com as médias dos correspondentes clones; todavia se for realizada uma ordenação por ambos, existe diferença na ordem de classificação pelo índice ou pela média. O índice é preferido à média, pois representa uma ponderação do valor fenotípico pelo número de repetições do experimento da geração. Como o número de repetições não variou muito entre os experimentos, de $r_1=1$ a $r_9=3$, os valores dos índices

não apresentaram grandes diferenças em relação à média. Se os experimentos tivessem maior diferença de número de repetições, como no exemplo de Souza Jr. (1995), em que variou de 2 a 20, provavelmente as médias mais altas ou mais baixas de um genótipo em uma geração com maior número de repetições, contribuiriam diferentemente para o índice final. Isto porque as referidas médias teriam um maior peso (*b* do índice) do que nos experimentos do presente estudo, que apresenta uma menor amplitude de número de repetições. O que importa para o índice é o acúmulo das informações, e a eficiência é ainda maior quando há menor diferença entre o número de repetições das gerações *n* e *n'* (equação 4).

TABELA 4. Índices obtidos para os clones e médias para produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos. Dados de 9 gerações.

Clone	Índices (n= 9 gerações)			Médias das gerações		
	Produção (g/planta)	% de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos	Produção (g/planta)	% de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos
CBM 13.19	806	66	1.0681	815	70	1.0686
CBM 15.10	961	68	1.0630	995	71	1.0623
CBM 15.25	822	76	1.0637	852	79	1.0645
CBM 16.7	876	52	1.0862	893	53	1.0856
CBM 16.8	712	42	1.0657	756	47	1.0663
CBM 16.12	849	63	1.0680	905	66	1.0667
CBM 16.15	881	64	1.0674	941	68	1.0683
CBM 16.16	906	67	1.0751	991	71	1.0759
CBM 16.21	680	60	1.0667	739	65	1.0635
CBM 16.27	733	67	1.0677	808	72	1.0684
CBM 16.28	601	61	1.0702	674	64	1.0695
CBM 18.11	845	72	1.0594	866	73	1.0599
CBM 19.8	797	68	1.0672	840	70	1.0684
CBM 2.1	703	48	1.0814	710	48	1.0828
CBM 2.2	794	63	1.0762	841	67	1.0764
CBM 2.3	802	48	1.0810	840	47	1.0805
CBM 2.6	847	76	1.0845	904	80	1.0845

“...continua...”

“TABELA 4, Cont.”

CBM 2.8	688	45	1.0812	737	47	1.0816
CBM 2.10	615	60	1.0700	691	64	1.0712
CBM 2.11	736	58	1.0804	785	59	1.0802
CBM 2.13	654	60	1.0732	739	65	1.0734
CBM 2.16	707	62	1.0715	792	68	1.0743
CBM 2.18	777	55	1.0843	789	53	1.0845
CBM 2.19	723	58	1.0776	763	63	1.0797
CBM 2.20	622	53	1.0718	632	53	1.0735
CBM 2.21	775	59	1.0815	815	61	1.0824
CBM 2.27	782	67	1.0685	820	68	1.0707
CBM 22.7	799	69	1.0694	829	74	1.0701
CBM 22.17	867	58	1.0677	898	61	1.0676
CBM 22.19	944	64	1.0700	1015	68	1.0700
CBM 24.6	877	70	1.0706	910	73	1.0705
CBM 24.27	852	74	1.0646	864	78	1.0655
CBM 26.22	842	65	1.0648	903	68	1.0658
CBM 4.15	805	59	1.0733	833	64	1.0738
CBM 4.16	764	67	1.0689	833	72	1.0701
CBM 4.30	681	54	1.0826	753	54	1.0819
CBM 5.9	704	62	1.0672	764	64	1.0675
CBM 5.26	831	39	1.0625	864	37	1.0642
CBM 6.2	829	67	1.0676	872	69	1.0680
CBM 6.17	796	66	1.0856	839	67	1.0865
CBM 6.21	621	46	1.0770	660	45	1.0783
CBM 6.25	725	46	1.0800	825	51	1.0812
CBM 6.29	712	66	1.0672	778	72	1.0681
CBM 7.4	716	51	1.0690	796	55	1.0697
CBM 7.11	749	64	1.0624	849	70	1.0628
CBM 7.12	773	67	1.0735	848	74	1.0730
CBM 7.15	948	74	1.0685	1053	76	1.0678
CBM 7.17	859	76	1.0584	928	79	1.0590
CBM 7.24	760	56	1.0750	843	60	1.0753
CBM 8.3	918	78	1.0727	991	79	1.0727
CBM 8.11	723	62	1.0719	754	65	1.0732

3.3 Coeficientes de correlação

Nas Tabelas 5, 6 e 7 são apresentados os coeficientes de correlação entre as médias dos clones nas gerações para os três caracteres. Observa-se que para a produção de tubérculos por planta (Tabela 5), os coeficientes de correlação foram bastante baixos, inclusive com valores negativos ou que não apresentaram diferença significativa de 0 pelo teste de t. O maior valor foi o coeficiente de correlação entre as médias das gerações 6 e 8. Isto reforça o comentário anterior, de que, para este caráter, a influência do ambiente é pronunciada, levando a grandes diferenças de comportamento dos clones de uma geração para outra. Para o peso específico de tubérculos (Tabela 7), os coeficientes de correlação entre as gerações foram mais altos do que para os outros caracteres, porém não ultrapassaram o valor de 0,7.

Nas Tabelas 5, 6 e 7 também são apresentados os coeficientes de correlação das gerações com o valor fenotípico médio dos clones. Observa-se que esses coeficientes são mais altos para a porcentagem de tubérculos graúdos (Tabela 6) e peso específico de tubérculos (Tabela 7), indicando que na geração e, para o caráter cujo coeficiente é maior, o desempenho do clone apresenta consistência com o valor fenotípico médio das gerações. Para produção de tubérculos por planta (Tabela 5), os menores valores da correlação com o valor fenotípico médio foram para as gerações 2, 4, 5 e 9. As gerações 2, 4 e 9 foram conduzidas em condições de estresse térmico, na safra das águas, em Lavras, onde os clones apresentaram o seu mais baixo desempenho (ver as médias geral dos experimentos nas Tabelas 1.A). Na geração 5, os clones apresentaram o melhor desempenho, uma vez que as condições foram extremamente favoráveis. Por isso, nestes ambientes a correlação com o valor fenotípico médio foi menor para produção de tubérculos.

Na Tabelas 8, 9 e 10 são apresentados os coeficientes de correlação entre os índices de seleção das gerações (I_2 a I_9). Verifica-se que esses valores são mais altos que os valores de coeficientes de correlação entre médias de clones nas gerações para todos os caracteres, como visto anteriormente nas Tabelas 5, 6 e 7. Dessa maneira, o índice apresenta maior confiabilidade que a média da geração, pois tende a apresentar menor alteração na classificação dos clones de uma geração para outra. Os coeficientes de correlação são maiores entre gerações próximas, como por exemplo, $r_{I_2, I_3} > r_{I_2, I_4}$, em função do maior número de repetições envolvido nos pesos das médias de gerações mais distantes, e obviamente, um índice inicial tem menor correlação com o maior índice, por exemplo, $r_{I_2, I_9} < r_{I_8, I_9}$. Acrescenta-se também que a correlação do I_9 com o valor fenotípico médio foi alta para os caracteres: 0,959, para produção de tubérculos por planta; 0,981, para porcentagem de tubérculos graúdos e 0,991, para peso específico de tubérculos (Tabelas 8, 9 e 10). Isto evidencia o que se comentou anteriormente, que o índice e a média geral dos clones apresentaram valores bem próximos neste estudo (Tabela 4).

O índice com a informação de todas as gerações (I_9) será tomado como base para várias considerações, pois é o melhor critério de seleção dos clones no estudo. Ressalta-se que o índice não havia sido aplicado aos clones anteriormente, e as correlações foram estimadas com o propósito do melhor entendimento do que acontece com o avanço das gerações. Na Tabela 11 estão relacionados os coeficientes de correlação entre médias de clones nas gerações e o índice das gerações com o índice 9. Verifica-se que a correlação entre os índices das gerações anteriores com o I_9 (r_{I_n, I_9}) são mais altas do que a correlação das médias das gerações com I_9 (r_{F_n, I_9}), como esperado. Atenta-se, porém, para o fato de que, para o caráter de mais alta herdabilidade (peso específico de tubérculos), a correlação utilizando as médias da geração é mais alta que a dos

TABELA 5. Coeficientes de correlação entre médias dos clones em cada geração e com a média geral dos clones nas nove gerações para produção de tubérculos por planta.

Gerações	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	-0,372**								
3	0,244ns	-0,142ns							
4	-0,126ns	0,441**	-0,047ns						
5	0,078ns	-0,245ns	0,039ns	-0,142ns					
6	0,122ns	0,121ns	0,370**	0,190ns	0,021ns				
7	0,018ns	0,127ns	0,247ns	-0,013ns	0,233ns	0,339**			
8	-0,068ns	-0,092ns	0,195ns	0,118ns	0,350**	0,478**	0,163ns		
9	0,150ns	0,152ns	-0,007ns	0,238ns	0,351**	0,067ns	0,180ns	-0,156ns	
Média geral ¹	0,374**	0,157ns	0,559**	0,317*	0,270ns	0,746**	0,487**	0,532**	0,189ns

TABELA 6. Coeficientes de correlação entre médias dos clones em cada geração e com a média geral dos clones nas nove gerações para porcentagem de tubérculos graúdos.

Gerações	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0,039ns								
3	0,637**	-0,055ns							
4	0,625**	0,269*	0,514**						
5	0,491**	-0,010ns	0,638**	0,388**					
6	0,378**	0,110ns	0,516**	0,387**	0,607**				
7	0,089**	-0,056ns	0,450**	0,219ns	0,426**	0,411**			
8	0,394**	-0,163ns	0,433**	0,396**	0,643**	0,509**	0,474**		
9	0,168ns	0,220ns	0,209ns	0,504ns	0,119ns	0,260ns	-0,015ns	0,125ns	
Média geral ¹	0,772**	0,198ns	0,804**	0,756**	0,745**	0,697**	0,582**	0,662**	0,427**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ns: não significativo.

¹ valor da média geral para cada clone nas nove gerações.

TABELA 7. Coeficientes de correlação entre médias dos clones em cada geração e com a média geral dos clones nas nove gerações para peso específico de tubérculos.

Gerações	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	0,393**								
3	0,622**	0,479**							
4	0,492**	0,413**	0,481**						
5	0,583**	0,473**	0,534**	0,443**					
6	0,503**	0,351**	0,480**	0,411**	0,540**				
7	0,576**	0,460**	0,498**	0,460**	0,683**	0,596**			
8	0,498**	0,473**	0,562**	0,454**	0,659**	0,588**	0,607**		
9	0,444**	0,428**	0,250**	0,230ns	0,334*	0,481**	0,386**	0,487**	
Média geral ¹	0,775**	0,669**	0,745**	0,659**	0,770**	0,759**	0,769**	0,807**	0,641**

TABELA 8. Coeficientes de correlação entre os índices dos clones nas diferentes gerações e dos índices com a média geral dos clones nas nove gerações para produção de tubérculos por planta.

Índice	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0,868**							
4	0,807**	0,859**						
5	0,504**	0,581**	0,668**					
6	0,474**	0,606**	0,667**	0,885**				
7	0,443**	0,599**	0,605**	0,662**	0,846**			
8	0,335*	0,500**	0,524**	0,643**	0,842**	0,968**		
9	0,377**	0,529**	0,565**	0,618**	0,819**	0,961**	0,981**	
Média geral ¹	0,429**	0,643**	0,624**	0,706**	0,884**	0,946**	0,948**	0,959**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ns: não significativo.

¹ valor da média geral para cada clone nas nove gerações.

TABELA 9. Coeficientes de correlação entre os índices dos clones nas diferentes gerações e dos índices com a média geral dos clones nas nove gerações para porcentagem de tubérculos graúdos.

Índice	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0,904**							
4	0,847**	0,922**						
5	0,795**	0,939**	0,927**					
6	0,751**	0,909**	0,896**	0,982**				
7	0,659**	0,843**	0,807**	0,919**	0,946**			
8	0,549**	0,747**	0,721**	0,867**	0,902**	0,965**		
9	0,565**	0,751**	0,762**	0,875**	0,909**	0,946**	0,972**	
Média geral ¹	0,619**	0,830**	0,804**	0,931**	0,954**	0,966**	0,966**	0,981**

TABELA 10. Coeficientes de correlação entre os índices dos clones nas diferentes gerações e dos índices com a média geral dos clones nas nove gerações para peso específico de tubérculos.

Índice	2	3	4	5	6	7	8	9
3	0,962**							
4	0,891**	0,932**						
5	0,878**	0,920**	0,972**					
6	0,841**	0,888**	0,934**	0,969**				
7	0,827**	0,870**	0,911**	0,956**	0,989**			
8	0,803**	0,851**	0,885**	0,936**	0,972**	0,983**		
9	0,807**	0,834**	0,850**	0,895**	0,940**	0,949**	0,971**	
Média geral ¹	0,833**	0,879**	0,864**	0,933**	0,969**	0,972**	0,981**	0,991**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ns: não significativo.

¹ valor da média geral para cada clone nas nove gerações.

outros caracteres, e verifica-se que a correlação do índice com informações de apenas duas gerações com o I_9 já é bastante alta (0,833). Isso quer dizer que até mesmo a média de uma geração apresenta uma boa predição para este caráter e, possivelmente, com poucas gerações, poderia se fazer uma seleção antecipada, como será comentado mais adiante. Para a porcentagem de tubérculos graúdos, com herdabilidade intermediária, as correlações dos índices das gerações com o I_9 são altas (>0,80) a partir da geração 5 e para produção de tubérculos por planta, somente a partir da geração 6.

Ainda com relação ao estudo das correlações, deve-se considerar o comentário de Souza Jr. (1995) de que, para o índice auxiliar a identificação dos genótipos superiores em gerações anteriores, a correlação do índice de seleção da geração n com o a geração n' deve ser superior àquela utilizando somente as médias das gerações n e n' . Estas correlações foram obtidas por dois modos e são mostradas nas Tabelas 12 e 13. Os valores da Tabela 12 foram obtidos por meio das variâncias genéticas e desvios padrão fenotípicos dos caracteres e dos índices. Os coeficientes apresentados na Tabela 13, por sua vez, foram obtidos a partir das somas de quadrados dos valores dos índices e das médias dos caracteres. Foram usados estes dois modos porque quando se utilizam as expressões que envolvem as variâncias genéticas e os desvios padrão fenotípicos, considera-se que $\sigma_{Gn}^2 = \sigma_{Gn'}^2$ e $\sigma_{En}^2 = \sigma_{En'}^2$, necessário para a construção dos índices. Assim, os coeficientes de correlação a partir da soma de quadrados dos valores dos índices e das médias dos caracteres são mais realísticos, pois são obtidos a partir dos dados observados nas gerações.

Apesar dos valores baixos das correlações, principalmente para produção de tubérculos e porcentagem de tubérculos graúdos, verifica-se que os valores dos coeficientes foram mais altos quando estão envolvidos os índices ($r_{I_n, \bar{I}_{n'}}$) do que somente as médias das gerações ($r_{\bar{F}_n, \bar{F}_{n'}}$), pelos dois modos de

obtenção dos coeficientes. Isto indica que o uso do índice seria vantajoso para todos os caracteres.

TABELA 11. Coeficientes de correlação entre a média ou índice dos clones em cada geração com seus respectivos índices acumulados até a geração 9, para os caracteres produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Geração	Produção (g/planta)		Porcentagem de tubérculos graúdos		Peso específico de tubérculos	
	$r_{Fn, 19}$	$r_{In, 19}$	$r_{Fn, 19}$	$r_{In, 19}$	$r_{Fn, 19}$	$r_{In, 19}$
1	0,171ns	-	0,666**	-	0,719**	-
2	0,252ns	0,377**	0,218ns	0,565**	0,666**	0,807**
3	0,419**	0,529**	0,719**	0,751**	0,671**	0,834**
4	0,356**	0,565**	0,735**	0,762**	0,629**	0,850**
5	0,217ns	0,618**	0,737**	0,875**	0,765**	0,895**
6	0,747**	0,819**	0,716**	0,909**	0,763**	0,940**
7	0,608**	0,961**	0,624**	0,946**	0,778**	0,949**
8	0,601**	0,981**	0,727**	0,972**	0,834**	0,971**
9	0,236ns	-	0,483**	-	0,705**	-

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ns: não significativo.

TABELA 12. Coeficientes de correlação¹ entre as médias ($r_{Fn,Fn'}$) e os índices ($r_{In,Fn'}$) dos clones nas gerações com seus respectivos desempenhos na geração posterior, para os caracteres produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Índice ou média da geração n	Desempe- nho na geração n'	Produção (g/planta)		% de tubérculos graúdos		Peso específico de tubérculos	
		$r_{Fn,Fn'}$	$r_{In,Fn'}$	$r_{Fn,Fn'}$	$r_{In,Fn'}$	$r_{Fn,Fn'}$	$r_{In,Fn'}$
2	3	0,11	0,13	0,29	0,33	0,48	0,52
3	4	0,11	0,20	0,29	0,45	0,48	0,65
4	5	0,15	0,23	0,37	0,49	0,57	0,68
5	6	0,15	0,25	0,37	0,51	0,57	0,70
6	7	0,18	0,31	0,42	0,59	0,62	0,76
7	8	0,21	0,34	0,47	0,61	0,67	0,77
8	9	0,21	0,35	0,47	0,62	0,67	0,78

¹estimativas obtidas a partir das variâncias genéticas e dos desvios padrão fenotípicos dos índices da geração n e dos desvios padrão da geração n'.

TABELA 13. Coeficientes de correlação¹ entre as médias ($r_{Fn,Fn'}$) e os índices ($r_{In,Fn'}$) dos clones nas gerações com seus respectivos desempenhos na geração posterior, para os caracteres produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Índice ou média da geração n	Desempe- nho na geração n'	Produção (g/planta)		% de tubérculos graúdos		Peso específico de Tubérculos	
		$r_{Fn,Fn'}$	$r_{In,Fn'}$	$r_{Fn,Fn'}$	$r_{In,Fn'}$	$r_{Fn,Fn'}$	$r_{In,Fn'}$
2	3	-0,142ns	0,03 ns	-0,055ns	0,33 **	0,479**	0,62 **
3	4	-0,047ns	0,28 *	0,514**	0,67 **	0,481**	0,55 **
4	5	-0,142ns	-0,18 ns	0,388**	0,44 **	0,443**	0,63 **
5	6	0,021ns	0,30 **	0,607**	0,57 **	0,540**	0,58 **
6	7	0,339**	0,13 ns	0,411**	0,42 **	0,596**	0,73 **
7	8	0,163ns	0,44 **	0,474**	0,57 **	0,607**	0,73 **
8	9	-0,156ns	0,04 ns	0,125ns	0,26 *	0,487**	0,51 **

¹estimativas a partir dos valores dos índices na geração n e das médias observadas nos ensaios para a geração n' , com $n' = n + 1$.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ns: não significativo.

3.4 Herdabilidade do Índice

Na Tabela 14 estão apresentadas as herdabilidades dos caracteres (h^2_p) e dos índices em cada geração (h^2_{In}). Essas herdabilidades são teóricas, que são esperadas a partir da consideração de que a $\sigma_{Gn}^2 = \sigma_{Gn'}$, e de que $\sigma_{En}^2 = \sigma_{En'}$, tomada para a construção do índice. Para as estimativas das herdabilidades, foi usado como σ_{Gn}^2 , o componente de variância genético relativo aos clones isolado na análise conjunta para os caracteres, e, como σ_{En}^2 , para o cálculo das variâncias fenotípicas, o erro médio dos experimentos. As estimativas da herdabilidade dos caracteres, a partir dos componentes de variância dos experimentos das gerações, individualmente, podem ser consultadas na Tabela 1.A. A herdabilidade depende das variâncias fenotípicas dos caracteres, a qual está relacionada com as magnitudes das variâncias genética e ambiental. Observa-se na Tabela 14, que as herdabilidades dos índices (h^2_{In}) são sempre maiores do que as obtidas para os caracteres nas gerações (h^2_p), em função do número de repetições envolvidos, que reduz a variância fenotípica do índice, evidenciando novamente a vantagem de uso do índice. Entre as gerações, verifica-se também que as variâncias fenotípicas vão diminuindo, de acordo com o aumento do número de repetições dos experimentos. Desse modo, os índices das gerações mais avançadas apresentam herdabilidade maior do que a das gerações anteriores. As herdabilidades estimadas para o peso específico de tubérculos foram maiores do que as dos outros caracteres, com valores altos tanto para as observadas em cada geração como para o índice das gerações. Por exemplo, a herdabilidade do índice para peso específico de tubérculos na geração 4, foi de 0,80 e na geração 9, de 0,93 (Tabela 14). Isto reforça

TABELA 14. Estimativas das herdabilidades no sentido amplo para os clones nas gerações (h^2_p) e para os índices acumulados (h^2_{In}), relativas aos caracteres produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Gerações	Produção (g/planta)		% de tubérculos graúdos		Peso específico de Tubérculos	
	h^2_p	h^2_{In}	h^2_p	h^2_{In}	h^2_p	h^2_{In}
2	0,15	0,21	0,37	0,47	0,57	0,67
3	0,08	0,26	0,23	0,54	0,40	0,73
4	0,15	0,35	0,37	0,64	0,57	0,80
5	0,15	0,42	0,37	0,70	0,57	0,84
6	0,15	0,47	0,37	0,75	0,57	0,87
7	0,21	0,54	0,47	0,79	0,67	0,90
8	0,21	0,59	0,47	0,82	0,67	0,91
9	0,21	0,63	0,47	0,85	0,67	0,93

a idéia de que a seleção poderia ser realizada antecipadamente, com maior sucesso do que a seleção para produção e porcentagem de tubérculos graúdos.

3.5 Eficiência do Índice

Para visualização da vantagem de uso do índice, são mostradas na Tabela 15, as eficiências dos índices das gerações em relação à seleção baseada somente na média de uma geração qualquer. Verifica-se que, assim como para a herdabilidade, a eficiência do índice aumenta com as gerações pelo mesmo motivo, que é o da redução da variância fenotípica com o avanço das gerações. Como demonstrado por Souza Jr. (1995), verifica-se que a eficiência do índice é maior para caracteres de herdabilidade mais baixa. Contudo, mesmo para o caráter de mais alta herdabilidade, o peso específico de tubérculos, a eficiência do índice foi alta, com variação de 8% a 35% em superioridade em relação à seleção baseada na média da geração. Para produção de tubérculos, a variação da eficiência foi de 18% a 77% em superioridade em relação à seleção baseada na

média da geração. Desta maneira, o uso do índice deve ser recomendado, pois além dos altos valores da eficiência, com o avanço das gerações as eficiências das diversas etapas vão se acumulando, como mostrado por Souza Jr. (1995). Os resultados são considerados altamente favoráveis, sendo que o índice pode contribuir para a seleção de genótipos superiores para várias condições. Três experimentos foram realizados em condições de estresse, para identificação de clones com bom desempenho sob temperaturas mais altas da safra das águas do Sul de Minas Gerais.

TABELA 15. Eficiência¹ do índice em relação à seleção baseada somente na média de uma geração, para os caracteres produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Número de gerações consideradas	Produção (g/planta)	% de tubérculos graúdos	Peso específico de Tubérculos
2	1,18	1,13	1,08
3	1,79	1,54	1,35
4	1,52	1,31	1,18
5	1,66	1,38	1,21
6	1,77	1,42	1,23
7	1,60	1,30	1,16
8	1,67	1,33	1,17
9	1,73	1,35	1,18

¹obtida por meio das variâncias fenotípicas dos caracteres nas gerações e das variâncias fenotípicas dos índices.

Com o objetivo de estudar ainda a eficiência do índice e a possibilidade de antecipação da seleção de acordo com os avanços das gerações, foram simuladas as seleções de 20% e 30% dos clones, usando como base a média do clone em uma determinada geração ou o índice acumulado até a geração n . Como explicado no item 2.3.7, em Material e Métodos, a eficiência para os dois modos de seleção foi determinada com base no número de clones coincidentes com a seleção que seria realizada com o índice acumulado até a geração 9, usando a expressão de Hamblin & Zimmermann (1986).

Os resultados novamente comprovam que o índice (Tabela 17) apresenta maior eficiência em relação à média da geração (Tabela 16) para todos os caracteres, e usando as duas intensidades de seleção. Ficou evidente que a seleção antecipada poderia ser realizada. Isso não implica que os materiais não deveriam ser avaliados em grande número de experimentos, mas, principalmente para os caracteres de alta herdabilidade, a identificação dos genótipos superiores pode se dar mais cedo, e poderia ser descartado maior número de genótipos inferiores, como no caso de peso específico de tubérculos. Com isso reduziria o número de genótipos a serem avaliados na próxima geração (Souza Jr., 1995). Como visto na Tabela 16, até mesmo a média para o caráter peso específico apresentou uma boa eficiência relativa em alguns casos ($>0,7$), e com o índice, ela foi sempre acima deste valor (Tabela 17). Para a produção de tubérculos, a eficiência foi mais baixa, utilizando as médias das gerações, e com o índice, somente a partir do I_6 obteve-se eficiência $>0,7$, para as duas intensidades de seleção. Isto indica que a seleção antecipada para esse caráter é menos eficiente, devido à grande interação genótipos por ambientes.

Para melhor visualização dos resultados, realizou-se o quociente entre as duas eficiências, ou seja, $Ef(ind)/Ef(méd)$ (Tabela 18), verificando-se que o índice apresentou superioridade na maioria dos casos. Para produção de tubérculos, a vantagem do uso do índice foi bastante superior a dos outros

caracteres, em concordância com os resultados da eficiência obtida por meio da expressão dos desvios padrão fenotípicos (Tabela 15). Para esse caráter, a eficiência da seleção com base no índice em relação à seleção baseada na média, chegou a ser 3 vezes superior, e a eficiência foi ainda maior quando se utilizou maior intensidade de seleção, diferentemente do que ocorreu para os outros caracteres.

TABELA 16. Eficiência esperada com a seleção antecipada com base na média dos clones em cada geração em relação à seleção, considerando o índice envolvendo as nove gerações.

Gerações	Produção (g/planta)		% de tubérculos graúdos		Peso específico de tubérculos	
	i =20%	i =30%	i =20%	i =30%	i =20%	i =30%
1	0,22	0,26	0,33	0,48	0,56	0,70
2	0,22	0,33	0,33	0,33	0,67	0,63
3	0,33	0,48	0,44	0,56	0,44	0,56
4	0,33	0,48	0,33	0,48	0,56	0,78
5	0,00	0,33	0,56	0,56	0,78	0,70
6	0,56	0,78	0,44	0,63	0,67	0,78
7	0,22	0,48	0,44	0,56	0,67	0,56
8	0,33	0,41	0,44	0,56	1,00	0,85
9	0,44	0,33	0,78	0,56	0,56	0,63

TABELA 17. Eficiência esperada com a seleção antecipada com base nos índices das gerações, em relação à seleção, considerando o índice envolvendo as nove gerações .

Índices das Gerações	Produção (g/planta)		% de tubérculos graúdos		Peso específico de tubérculos	
	i =20%	i =30%	i =20%	i =30%	i =20%	i =30%
I ₂	0,56	0,48	0,33	0,56	0,78	0,78
I ₃	0,56	0,48	0,44	0,63	0,78	0,85
I ₄	0,67	0,56	0,44	0,63	0,78	0,85
I ₅	0,44	0,63	0,44	0,70	0,78	0,85
I ₆	0,78	0,85	0,56	0,78	0,78	0,93
I ₇	0,67	0,85	0,56	0,70	0,78	0,93
I ₈	0,78	1,00	0,89	1,00	0,89	0,93

TABELA 18. Razão entre as eficiências da seleção com base no índice acumulado nas gerações e a seleção baseada na média de cada geração.

Número de gerações consideradas	Produção (g/planta)		Porcentagem de tubérculos graúdos		Peso específico de tubérculos	
	i =20%	i =30%	i =20%	i =30%	i =20%	i =30%
2	2,50	1,44	1,00	1,67	1,17	1,24
3	1,67	1,00	1,00	1,13	1,75	1,53
4	2,00	1,15	1,33	1,31	1,40	1,10
5	∞'	1,89	0,80	1,27	1,00	1,21
6	1,40	1,10	1,25	1,24	1,17	1,19
7	3,00	1,77	1,25	1,27	1,17	1,67
8	2,33	2,45	2,00	1,80	0,89	1,09
Média	2,15	1,54	1,23	1,38	1,22	1,29

3.6 Herdabilidade Realizada

As herdabilidades realizadas (Tabela 19) foram obtidas por dois modos, a fim de se comparar a seleção baseada no índice com a seleção baseada na média da geração n. A resposta à seleção foi obtida considerando o desempenho dos clones na próxima geração, ou seja, a média para os caracteres. Na Tabela 20 são apresentadas as herdabilidades realizadas, com base no índice de uma geração (I_n) e a resposta sobre o índice da próxima geração ($I_{n'}$). Em todas as situações foi considerada a seleção dos 15 melhores clones.

Verifica-se, na Tabela 19, que os valores da herdabilidade realizada foram superiores para todos os caracteres quando se utilizou o índice. Ressalta-se que os ganhos foram calculados com base na média da geração posterior, o que dá ao índice uma grande confiabilidade para a seleção. Para produção de tubérculos, a herdabilidade realizada foi bastante baixa e com valores negativos, quando se utilizou a média do clone na geração como critério de seleção. Houve

um aumento expressivo dos valores da herdabilidade realizada com o uso do índice para todos os caracteres, com exceção de alguns poucos casos em que ocorreu redução do valor, como por exemplo, a seleção para produção de tubérculos por meio do índice da geração 4. As estimativas da herdabilidade realizada para peso específico foram mais altas do que os outros caracteres, evidenciando novamente que a seleção antecipada para esse caráter poderia ser realizada com maior sucesso.

TABELA 19. Valores da herdabilidade realizada (em %) com a seleção por meio das médias ou dos índices dos 15 melhores clones em cada geração e ganho por meio da média dos respectivos clones na geração posterior.

Geração	Seleção com base na média			Seleção com base no índice		
	Produção (g/planta)	% de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos	Produção (g/planta)	% de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos
1	-18,08	24,28	26,30	-	-	-
2	-14,72	-32,96	51,85	27,11	44,92	82,15
3	-1,73	15,68	56,68	53,66	50,39	93,49
4	-14,23	24,55	54,56	-38,46	38,53	85,45
5	8,76	52,29	79,40	73,11	36,93	115,87
6	39,21	78,77	35,00	65,83	69,60	63,86
7	11,25	53,17	94,85	76,93	94,19	120,75
8	-22,91	26,55	85,16	39,78	138,68	116,87

TABELA 20. Valores da herdabilidade realizada (em %) com a seleção por meio dos índices dos 15 melhores clones em cada geração, e ganhos também no índice dos respectivos clones na geração posterior.

Unidade de Seleção	Produção (g/planta)	% de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos
I ₂	63,16	74,76	94,86
I ₃	73,71	68,11	97,28
I ₄	37,90	71,41	95,72
I ₅	85,79	75,95	102,54
I ₆	84,20	83,61	90,99
I ₇	86,31	88,87	103,31
I ₈	85,51	91,12	101,97

Nota-se ainda que, quando se utilizou o índice para a seleção dos clones e verificou-se a resposta na geração seguinte, também com base no índice, a herdabilidade realizada apresentou, em média, valores ainda maiores para todos os caracteres (Tabela 20). Isto indica que com o avanço das gerações, as informações acumuladas nos índices são extremamente importantes para a seleção.

O índice para seleção sequencial envolvendo as nove gerações, ponderado pelo número de repetições, foi comparado com o índice obtido a partir da ponderação das médias pelas herdabilidades e o número de repetições dos experimentos, segundo Resende (2002). Verificou-se que houve boa concordância entre os índices, observada pelos altos coeficientes de correlação encontrados entre os dois modos de obtenção, de 0,94 para produção de tubérculos, de 0,97 para porcentagem de tubérculos graúdos e de 0,99 para peso específico de tubérculos.

Foi realizada ainda a ponderação das médias fenotípicas das gerações pela herdabilidade e pela correlação entre médias de experimentos. Os valores usados para ponderação pelo último índice são mostrados na Tabela 21.

Observa-se que o peso para as gerações 2 e 9 foram os mais baixos, e desta maneira, a média destas gerações contribuiu menos para o valor do índice dos genótipos. Os experimentos destas gerações foram conduzidos sob condições de extremo estresse por calor, em que se obteve baixa herdabilidade e baixa correlação com a média dos genótipos nos ambientes, principalmente para a produção de tubérculos e porcentagem de tubérculos graúdos.

As correlações entre este último índice e o índice para seleção sequencial envolvendo as nove gerações foram obtidas, sendo os valores bastante altos: 0,94 para produção de tubérculos; 0,96 para porcentagem de tubérculos graúdos e 0,97 para peso específico de tubérculos. Estes resultados mostram uma boa concordância entre os dois índices, o que leva a uma maior confiabilidade para a aplicação dos mesmos. O índice ponderado pela herdabilidade e pela correlação é bastante interessante, pois leva em consideração as magnitudes da variância fenotípica e genética, influenciada pelo número de repetições, e ainda, o valor do ambiente para predizer o comportamento dos genótipos na média dos ambientes em que se pratica a seleção.

TABELA 21. Valores da ponderação das médias dos genótipos em cada ambiente (P), a partir do produto da correlação (r) das médias dos clones em cada ambiente, com a média dos respectivos clones nos nove ambientes, e a raiz quadrada da herdabilidade (h) nos ambientes, para os caracteres produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Geração	Produção (g/planta)		Porcentagem de tubérculos graúdos (%)		Peso específico de tubérculos	
	r . h	P (r.h / S)	r . h	P (r.h / S)	r . h	P (r.h / S)
1	0,28	0,10	0,57	0,13	0,67	0,12
2	0,13	0,04	0,13	0,03	0,53	0,09
3	0,38	0,13	0,49	0,11	0,62	0,11
4	0,28	0,10	0,58	0,14	0,57	0,10
5	0,22	0,08	0,62	0,15	0,69	0,12
6	0,62	0,21	0,63	0,15	0,65	0,11
7	0,41	0,14	0,48	0,11	0,70	0,12
8	0,45	0,16	0,58	0,14	0,68	0,12
9	0,12	0,04	0,20	0,05	0,57	0,10
Somatório (S)	2,90	1,00	4,29	1,00	5,68	1,00

3.7 Índice de Soma de Postos

O índice de seleção sequencial é passível de aplicação somente a um caráter individualmente. Assim, procurou-se resumir as informações dos vários caracteres em um único índice. Na Tabela 22 é mostrada a classificação dos índices (I_9) dos clones com base na soma de postos (Mulamba & Mock, 1978). O índice proposto por estes autores consiste em classificar os materiais em relação a cada um dos caracteres, em ordem favorável ao melhoramento. As ordens referentes a cada caráter são somadas, resultando em uma medida tomada como índice para seleção dos materiais (Cruz & Regazzi, 1997). No presente estudo as ordens foram referentes aos índices dos caracteres.

Entre os melhores clones, considerando a classificação pelo índice, estão os clones CBM-2.06, CBM- 8.03, CBM- 16.16 e CBM- 24.06, que combinam alta produção de tubérculos, com boa porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

TABELA 22. Índice de soma de postos aplicados sobre os índices de seleção sequencial da geração nove (I₉) para os caracteres produção por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Clone	Produção (g/pl.)	Classificação	Porcentagem de tubérculos graúdos	Classificação	Peso específico de tubérculos	Classificação	Soma de postos ¹
CBM 2.06	848	12	77	2	1,0845	3	17
CBM 8.03	918	4	78	1	1,0727	20	25
CBM 16.07	877	7	52	19	1,0862	1	27
CBM 16.16	907	5	67	8	1,0751	15	28
CBM 6.17	797	23	67	8	1,0856	2	33
CBM 7.15	948	2	74	4	1,0685	30	36
CBM 24.06	877	7	70	6	1,0706	24	37
CBM 22.19	944	3	65	10	1,0700	26	39
CBM 2.18	777	26	56	17	1,0843	4	47
CBM 2.21	775	27	60	14	1,0815	6	47
CBM 2.02	795	24	64	11	1,0762	14	49
CBM 15.10	962	1	68	7	1,0630	42	50
CBM 2.03	802	20	48	21	1,0810	9	50
CBM 16.15	881	6	65	10	1,0674	35	51
CBM 4.15	805	19	60	14	1,0733	18	51

¹soma das ordens de classificação dos clones para os três caracteres.

3.8 Considerações finais

No presente estudo, o índice para seleção sequencial mostrou-se efetivo em relação à seleção independente por ensaios das gerações. Este índice pode ser facilmente implementado nos programas de melhoramento, não apresentando complicações para seu uso.

Segundo Souza Jr. (1995) e Prado (1999), o método de seleção sequencial pode ser recomendado nos esquemas de melhoramento em que a seleção é feita em várias etapas e os genótipos estão fixados, como clones ou linhagens em plantas autógamas. Ainda, segundo Prado (1999), como o método de seleção sequencial é mais eficiente, permite-se a aplicação de intensidades de seleção maiores, reduzindo o custo do programa ou possibilitando a avaliação de um número maior de genótipos com o mesmo custo.

4 CONCLUSÕES

O índice de seleção usado para ponderação das médias fenotípicas dos diferentes ensaios sequenciais, considerando o número de repetições de cada ensaio, mostrou-se eficiente e pode ser facilmente aplicado nos programas de melhoramento.

Observou-se baixa correlação entre médias de clones nas gerações mesmo para as características de média a alta herdabilidade, indicando que os dados de uma única geração somente devem ser usados para descartar os piores clones.

Com o auxílio do índice, para os caracteres de alta herdabilidade, pode-se diminuir o número de gerações de avaliações para a tomada de decisão para seleção. Para os caracteres de mais baixa herdabilidade, o índice apresenta eficiência ainda maior; porém devido à grande interação genótipos por ambientes, há necessidade de avaliações por um número maior de gerações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, F. L.; COMSTOCK, R. E.; RASSMUSSEN, D. C. Optimal environments for yield testing. **Crop Science**, Madison, v. 18, n. 18, Sept. Octob., p.747-751, 1978.
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, 1997. 390p.
- HAMBLIN, J.E.; ZIMMERMANN, M. J. O. Breeding common bean for yield mixtures. **Plant Breeding Reviews**, New York, v.4, p.245-272, 1986.
- LEVY, D. Cultivated *Solanum tuberosum* L. as a source for the selection of cultivars adapted to hot climates. **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 61, n. 3, p. 167-179, July 1984.
- MENEZES, C. B; PINTO, C. A. B. P.; NURMBERG, P.L.; LAMBERT, E.S. Combining ability of potato genotypes for cool and warm season in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 145-157, 2001.
- MULAMBA, N. N.; MOCK, J.J. Improvement of yield potential of the method Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Citology**, Giza, v. 7, n. 1, p. 40-51, 1978.
- PRADO, L. C. **Estratégias de seleção em soja com base na avaliação em vários anos**. Piracicaba: ESALQ, 1999, 92p. (Tese de Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- RESENDE, M. D. V. **Genética Biométrica e Estatística no melhoramento de plantas perenes**. Brasília, Embrapa Informação Tecnológica, 2002, 900p.
- SOUZA Jr., C. L. **Melhoramento de espécies de reprodução vegetativa**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Genética, 1995, 41p.
- WRICKE, G.; WEBER, W. E. **Quantitative Genetics and Selection in Plant Breeding**. Walter de Gruyter, 406p. 1986.

CAPÍTULO 3

ÍNDICES DE SELEÇÃO, ANÁLISE DE ESTABILIDADE E SELEÇÃO INDIRETA PARA CONDIÇÕES DE ESTRESSE TÉRMICO EM BATATA

RESUMO

LAMBERT, Eduardo de Souza. **Índices de seleção, análise de estabilidade e seleção indireta para condições de estresse térmico em batata.** 2004. 142 p. Tese Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas – Universidade Federal de Lavras. Lavras, MG*.

A batata é originária de países de clima ameno, e quando submetida às condições ambientais tropicais, é afetada principalmente pelas altas temperaturas, além do fotoperíodo mais curto. As altas temperaturas causam redução da produção da batata por vários modos, seja pela redução na capacidade fotossintética, pelo aumento das perdas com a respiração ou pela diminuição da partição de fotoassimilados para os tubérculos. Deste modo, a obtenção de cultivares adaptadas a essas condições torna-se bastante importante para o país. Para tal finalidade, é necessário que os programas de melhoramento procurem selecionar genótipos com maior estabilidade e adaptabilidade. Além disso, as estratégias de seleção para condições de estresse devem ser estabelecidas, considerando que normalmente a interação genótipos por ambientes nesses casos é bastante expressiva. O objetivo do presente trabalho foi estudar a estabilidade de 51 clones para produção de tubérculos, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos em diferentes localidades, anos e épocas de plantio no Sul de Minas Gerais. Além da estabilidade, foram estudados índices que possam contribuir para a seleção para condições de estresse e favoráveis de cultivo, procurando-se avaliar as melhores estratégias para seleção. Entre os índices de seleção, a média aritmética, a média geométrica e o índice 4 foram os mais indicados. O índice de susceptibilidade de Fischer e Maurer (1978) ou a porcentagem de redução da produção somente indicaram os materiais especificamente adaptados. O índice de estabilidade de Lin e Binns (1988) é indicado para a seleção de genótipos com ampla adaptação. A seleção indireta não se mostrou eficiente para seleção para condição de estresse térmico, em virtude principalmente das baixas correlações entre médias de clones nos vários ambientes. A seleção na média dos ambientes é recomendada quando se deseja selecionar genótipos com ampla adaptação. No geral, os clones com os melhores desempenhos sob estresse ambiental e considerados tolerantes ao calor são especificamente adaptados, com média baixa em ambientes favoráveis, entretanto, genótipos com bom desempenho em ambas condições puderam ser selecionados.

* Orientador: César Augusto Brasil Pereira Pinto – UFLA.

ABSTRACT

LAMBERT, Eduardo de Souza. **Selection indices, stability analysis and indirect selection for heat stress in potato**. 2004. 142p. (Thesis – Doctorate in Genetics and Plant Breeding). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

The potato originated in cool climate countries and was domesticated under long photoperiods of the northern hemisphere. It is severely affected when grown in tropical environments with higher temperatures and short photoperiods. High temperatures decrease tuber yield in many ways, such as for reducing photosynthetic capacity increasing respiration losses, and reducing photoassimilates partitioning to the tubers. Breeding new cultivars adapted to this condition is the better strategy for tropical countries like Brazil. To achieve this goal it is necessary to select genotypes with greater stability and adaptability. Besides, selection strategy for heat stress should be established considering that genotype x environment interaction is very high in these conditions. The objective of this study was to evaluate the stability of 51 potato clones for tuber yield, percentage of large tubers, and tuber specific gravity in different localities, years, and cropping seasons in southern Minas Gerais State, Brazil. Many indices were also evaluated to facilitate selection in stress and non-stress cropping conditions to establish strategies for selection. Among the selection indices the arithmetic and geometric means and index 4 were the most efficient. The susceptibility index of Fisher and Maurer (1978) or the percentage of yield reduction index was recommended only for clones specifically adapted to stress environments. The stability index of Lin and Binns (1988) was recommended to select clones with wider adaptation. The indirect selection was not efficient to select clones for heat stress conditions due to the low correlation coefficients among clone means across environments. Selection based on clone means across environments is recommended if the objective is to select genotypes with wider adaptation. In general, clones with better performance under stress conditions and considered heat tolerant are specifically adapted, presenting low means under favorable environments. However, clones with good performance under stress and non-stress conditions were selected.

* Adviser Professor: César Augusto Brasil Pereira Pinto – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A batata (*Solanum tuberosum* L.) é originária de países de clima ameno, e quando submetida às condições ambientais tropicais, é afetada principalmente pelas altas temperaturas, além do fotoperíodo mais curto.

As altas temperaturas causam redução da produção da batata por vários modos, seja pela redução na capacidade fotossintética, pelo aumento das perdas com a respiração ou pela diminuição da partição de fotoassimilados para os tubérculos. Ocorre ainda perda da qualidade dos tubérculos, pela diminuição do teor de matéria seca e o aumento do número de tubérculos com defeitos fisiológicos. Além destes fatores diretos, as altas temperaturas possuem efeito indireto, favorecendo a maior incidência de pragas e doenças.

A maioria das cultivares atualmente plantadas no país foi desenvolvida especificamente para condições temperadas e, embora apresentem boas qualidades para o comércio e indústria, quando submetidas às condições climáticas tropicais, apresentam produtividade e qualidade de tubérculos abaixo do seu potencial. Deste modo, a obtenção de cultivares adaptadas a essas condições torna-se bastante importante para o país. Para tal finalidade, é necessário que os programas de melhoramento procurem selecionar genótipos com maior estabilidade e adaptabilidade. Além disso, as estratégias de seleção para condições de estresse devem ser estabelecidas, considerando que normalmente a interação genótipos por ambientes nesses casos é bastante expressiva. Para auxiliar o trabalho do melhorista, alguns índices de seleção para condições ambientais adversas têm sido usados em programas de melhoramento de várias espécies (Abebe et al., 1998; Parentoni et al., 2001; Yadav & Bhatnagar, 2001; Kirigwi et al., 2004).

No programa de melhoramento genético da batata da UFLA foram identificados, a partir do cruzamento de genitores tolerantes ao calor com cultivares nacionais, clones com bom desempenho em condições de temperaturas mais altas na safra das águas do Sul de Minas Gerais (Menezes et al., 2001).

O objetivo do presente trabalho foi estudar a estabilidade destes clones para produção de tubérculos, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos em diferentes localidades, anos e épocas de plantio no Sul de Minas Gerais. Além da estabilidade, foram estudados índices que possam contribuir para a seleção para condições de estresse e favoráveis de cultivo, procurando-se avaliar as melhores estratégias para seleção.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O material experimental e os ensaios usados neste estudo estão caracterizados no item Material e Métodos, Capítulo 2. Ressalta-se que se considerou como estresse térmico as temperaturas que ocorrem normalmente no verão de Lavras, cujas temperaturas máximas apresentam média em torno de 27°C a 30°C, e as temperaturas mínimas com média de 15°C a 18°C. Lavras está situada na região sul do Estado de Minas Gerais, a 910 m de altitude, 21° 14' S de latitude e 45° 00' W de longitude.

2.1 Índices de seleção para diferentes condições ambientais

Foram aplicados os seguintes índices de seleção, a partir do agrupamento das médias dos experimentos nas condições de estresse (safra das águas em Lavras 1998, 2000 e 2002) e sem estresse (experimentos de inverno de Lavras em 2000 e 2001; Três Corações, 2000).

2.1.1 Índice de Seleção 1 (I_1)

$$I_1 = \frac{pe_i}{pa_i} ,$$

em que:

pe_i : média para a característica do genótipo i nos ambientes com estresse;

pa_i : média para a característica do genótipo i nos ambientes sem estresse.

2.1.2 Índice de Seleção 2 (I_2)

$$I_2 = \frac{(pa_i - pe_i)}{\hat{m}_i},$$

em que:

pe_i e pa_i : foram definidos anteriormente;

\hat{m}_i : média geral para a característica do genótipo i nos ambientes;

2.1.3 Índice de Seleção 3 (I_3)

$$I_3 = \left(\frac{pe_i}{pa_i} \right) * \left(\frac{pe_i}{T} \right),$$

em que:

pe_i e pa_i : definidos anteriormente;

T : média do genótipo com melhor desempenho para a característica considerada nos ambientes com estresse;

2.1.4 Índice de Seleção 4 (I_4)

$$I_4 = \frac{(pe_i * pa_i)}{(\bar{pe} * \bar{pa})},$$

em que:

pe_i e pa_i : definidos anteriormente;

\bar{pe} : média de todos os genótipos sob condições de estresse;

$\bar{p}a$: média de todos os genótipos na ausência de estresse;

2.1.5 Índice de Seleção 5 (I_5)

$$I_5 = \left[\frac{(pe_i * pa_i)}{(\bar{p}e * \bar{p}a)} \right] \frac{pe_i}{\bar{p}e} ,$$

em que:

pe_i , pa_i , $\bar{p}e$ e $\bar{p}a$ foram definidos anteriormente.

2.1.6 Índice de Seleção 6 (I_6): Índice de susceptibilidade

$$I_6 = \left[\frac{1 - (pe_i / pa_i)}{1 - (\bar{p}e / \bar{p}a)} \right]$$

2.1.7 Índice de Seleção 7 - Média Geométrica (MG)

$$MG = \sqrt{pe_i * pa_i}$$

2.1.8 Índice de Seleção 8 - Porcentagem de redução da característica (PR)

$$PR = 100 * [1 - (pe_i / pa_i)]$$

Foram estimados os coeficientes de correlação entre os índices dos clones e as médias dos respectivos clones nos ensaios em condição de estresse, nas condições favoráveis e na média dos ensaios, para fins de indicação dos melhores índices para seleção.

2.2 Progressos Genéticos com a seleção

As estimativas dos progressos genéticos esperados com a seleção foram obtidas através das expressões apresentadas por Cruz e Carneiro (2003), mostradas a seguir.

2.2.1 Progressos Diretos - seleção baseada no desempenho em um ambiente

(i) e progresso no mesmo ambiente (i):

$$GS_{(i/i)} = \frac{k\hat{\sigma}_{Gi}^2}{\hat{\sigma}_{Fi}}$$

em que:

k : diferencial de seleção estandardizado, que no caso foi de 1,755 ($i=10\%$);

$\hat{\sigma}_{Fi}$: estimativa do desvio-padrão fenotípico entre médias de clones no ambiente i ;

$\hat{\sigma}_{Gi}^2$: estimativa da variância genética entre clones no ambiente i .

2.2.2 Progressos indiretos (resposta correlacionada) – seleção em um ambiente (i) e progresso em outro ambiente (j).

$$GS_{(i/j)} = \frac{kCov(G_{ij})}{\hat{\sigma}_{Fi}}$$

em que:

$\hat{\sigma}_{Fi}$: estimativa do desvio-padrão fenotípico entre médias de clones no ambiente de seleção i;

$Cov(G_{ij})$: estimativa da covariância genética entre médias de clones nos ambientes i (de seleção) e j (de resposta);

2.2.3 Seleção em um ambiente (i) e progresso na média dos ambientes (m):

$$GS_{(i/m)} = k \frac{Cov(F_i \bar{M}) - \frac{\sigma_{Ei}^2}{a.r}}{\hat{\sigma}_{Fi}},$$

em que:

$\hat{\sigma}_{Fi}$: estimativa do desvio-padrão fenotípico entre médias de clones no ambiente i;

$Cov(F_i \bar{M})$: covariância entre médias de clones no ambiente i com as médias dos respectivos clones em todos os ambientes; esta covariância é de natureza fenotípica.

σ_{Ei}^2 : variância residual no ambiente i.

a : número de ambientes;

r : média harmônica do número de repetições dos experimentos;

2.2.4 Seleção baseada na média dos ambientes (m) e progressos em ambientes individuais (j):

$$GS_{(m|j)} = k \frac{Cov(F_j \bar{M}) - \frac{\sigma_{Ej}^2}{a.r}}{\hat{\sigma}_{Fij}},$$

$\hat{\sigma}_{Fij}$: estimativa do desvio-padrão fenotípico entre médias de clones nos ambientes, sendo que os outros termos foram definidos no item anterior.

2.2.5 Seleção baseada na média dos ambientes e progresso na média dos ambientes:

$$GS_{(ij|ij)} = \frac{k \hat{\sigma}_{Gij}^2}{\hat{\sigma}_{Fij}},$$

em que:

$\hat{\sigma}_{Fij}$: estimativa do desvio-padrão fenotípico entre médias de clones nos ambientes;

$\hat{\sigma}_{Gij}^2$: estimativa da variância genética entre clones nos ambientes, obtida a partir das análises de variância conjuntas para os caracteres.

2.2.6 Eficiência da seleção indireta (ESI)

$$ESI = \frac{GS_{(i/j)}}{GS_{(j/j)}} ,$$

em que:

$GS_{(i/j)}$: ganho com a seleção no ambiente j, a partir da seleção com base no desempenho no ambiente i.

$GS_{(j/j)}$: ganho com a seleção no ambiente j, a partir da seleção com base no desempenho no mesmo ambiente.

2.3 Análise de Estabilidade

Para complementar o estudo e visando o auxílio da seleção dos melhores clones, foi realizada a análise de adaptabilidade e estabilidade, utilizando-se os métodos de Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992), com base nas médias ajustadas dos clones avaliados nos ambientes e na análise conjunta.

No método de Lin e Binns (1988), procura-se uma medida de superioridade, o quadrado médio da distância entre a resposta do genótipo i e a resposta média máxima para todos locais, sendo estimado o seguinte parâmetro:

$$P_i = \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - M_j)^2 / 2n ,$$

em que:

P_i : índice de estabilidade do clone i;

Y_{ij} : média da característica do clone i no ambiente j;

M_j : média do clone com resposta máxima entre todos os clones no ambiente j ;
 n : número de ambientes.

A expressão pode ser ainda desdobrada em:

$$P_i = \left[n(Y_i - \bar{M})^2 + \sum_{j=1}^n (Y_{ij} - \bar{Y}_i - M_j - \bar{M})^2 \right] / 2n$$

em que:

$$Y_i : \sum_{j=1}^n Y_{ij} / n : \text{média do clone } i;$$

$$\bar{M} = \sum_{j=1}^n M_j / n : \text{média dos clones com respostas máximas de acordo com os ambientes.}$$

O primeiro termo equivale à soma de quadrados dos genótipos e o segundo à soma de quadrados da interação de genótipos com ambientes, quando dois genótipos são comparados. O genótipo desejável é aquele que apresenta a menor estimativa de P_i , ou seja, o que apresentar o melhor desempenho no maior número de ambientes possível.

O método proposto por Annicchiarico (1992) consiste em estimar um índice de confiança para cada genótipo, em relação ao seu desempenho sobre a média de determinado ambiente. Primeiramente, a média de cada um dos genótipos é expressa em porcentagem da média de cada ambiente (Y_i). Após essa transformação, toma-se o valor médio de Y_i para cada genótipo (\bar{Y}_i), considerando todos os ambientes e estima-se o desvio padrão (s_i). Assim:

$$\bar{Y}_i = \left(\sum_{j=1}^n \frac{Y_{ij}}{m_j} * 100 \right) / n$$

em que:

\bar{Y}_i : é o valor médio das médias transformadas em porcentagem da média geral em cada ambiente para o genótipo i;

Y_{ij} : é a média do genótipo i no ambiente j;

m_j : é a média de todos os genótipos para a característica considerada no ambiente j.

Aplica-se então a expressão:

$$I_i = \bar{Y}_i - Z_{(1-\alpha)} \cdot s_i$$

em que:

I_i : é o índice de confiança para o genótipo i;

\bar{Y}_i : é o valor médio das médias transformadas em porcentagem da média geral em cada ambiente para o genótipo i;

$Z_{(1-\alpha)}$: é o valor standardizado no qual a função da distribuição normal atinge o valor de $1-\alpha$, sendo $\alpha = 0,25$, valor pré-estabelecido por Annicchiarico (1992).

s_i : é o desvio padrão de \bar{Y}_i .

O índice apresenta grande facilidade de interpretação, pois quanto maior for seu valor para um dado genótipo, maior será a chance de sucesso desse genótipo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Seleção para condições de estresse e favoráveis

Os resumos das análises de variância conjunta, as estimativas dos componentes de variância e das herdabilidades foram apresentados na Tabela 2 do Capítulo 2. As análises de variância dos experimentos individuais usados neste estudo podem ser consultadas na Tabela 1A e as médias das testemunhas incluídas nos diferentes ensaios são mostradas na Tabela 2A.

As médias das características nas avaliações sob estresse (safra das águas de 98/99, 2000/01 e 2001/02) foram bastante baixas, com redução de 58% na produção de tubérculos, 25% na porcentagem de tubérculos graúdos e 1,08% no peso específico de tubérculos, quando comparadas com as médias dos ambientes favoráveis (experimentos de inverno de Lavras em 2000 e 2001; e em Três Corações, em 2000).

O objetivo nos programas de melhoramento é selecionar materiais que possuam ampla adaptação. Contudo, os genótipos devem apresentar média adequada nos ambientes desfavoráveis e serem responsivos à melhoria ambiental. Com este intuito e para auxílio da seleção de clones, foram usados índices de seleção envolvendo as médias dos clones nos ambientes com estresse e nos ambientes favoráveis, para os caracteres produção de tubérculos por planta (baixa herdabilidade), porcentagem de tubérculos graúdos (valor de herdabilidade considerado intermediário neste estudo) e peso específico de tubérculos (alta herdabilidade). Ressalta-se que houve baixa correlação entre as médias dos clones na condição de estresse com a médias dos respectivos clones na condição favorável, que foi de -0.04 para produção de tubérculos e de $0,24$

para porcentagem de tubérculos graúdos. Para peso específico de tubérculos, esta correlação foi mais alta, com o valor de 0,65.

Nas Tabelas 1, 2 e 3 são apresentados os coeficientes de correlação entre os índices obtidos para os clones e as médias dos respectivos clones em condição de estresse, na ausência de estresse e com a média dos ambientes. Observa-se que somente os índices 4 e 5, além das médias geométrica e aritmética, apresentaram correlação positiva simultaneamente com todas as médias ambientais consideradas, para os caracteres produção de tubérculos por planta e porcentagem de tubérculos graúdos. Para peso específico de tubérculos, o índice 3 apresentou coeficiente de correlação positivo com as médias na condição de estresse e na ausência de estresse (Tabela 3).

Os índices 1 e 3 dão maior peso à média nos ambientes com estresse, selecionando materiais com baixo desempenho nos melhores ambientes, o que pode ser observado pela correlação negativa com as médias nestes últimos ambientes (Tabelas 1 e 2). Apesar da correlação entre o índice 3 com a média na ausência de estresse ter sido positiva para peso específico de tubérculos, ela foi de baixa magnitude e não significativamente diferente de 0 pelo teste de t. Os resultados podem ser observados ainda na Tabela 4, em que são apresentados os valores dos índices obtidos para alguns clones, bem como as médias nos ambientes de estresse, na ausência de estresse e a média geral para produção de tubérculos. Para os outros caracteres, os índices podem ser visualizados nas Tabelas 3A e 4A.

Os índices 2 e 6 apresentam o mesmo problema dos índices anteriores, que é o de selecionar materiais com baixo desempenho nos melhores ambientes, porém no sentido inverso, pois para a seleção com os índices 2 e 6 são tomados os genótipos com os menores valores. Observa-se a alta correlação negativa destes índices com as médias sob estresse e positiva, porém baixa, com as médias dos ambientes favoráveis para produção de tubérculos (Tabela 1). Para

TABELA 1. Coeficientes de correlação entre os índices e a média de cada clone nos ambientes com e sem estresse para produção de tubérculos por planta.

Índices	Média sob estresse	Média na ausência de estresse	Média dos ambientes
Índice 1	0,85**	-0,49**	0,07 ns
Índice 2	-0,86**	0,49**	-0,08 ns
Índice 3	0,94**	-0,29*	0,30*
Índice 4	0,86**	0,48**	0,89**
Índice 5	0,96**	0,24 ns	0,75**
Índice 6	-0,85**	0,49**	-0,08 ns
PR ¹	-0,85**	0,49**	-0,08 ns
Média Geométrica	0,86**	0,48**	0,89**
Média dos ambientes ²	0,55**	0,80**	1,00

¹ porcentagem de redução da característica; ² média aritmética. ** e * significativo ao nível de 1% e 5% de probabilidade pelo teste de t, respectivamente; ns: não significativo.

TABELA 2. Coeficientes de correlação entre os índices e a média de cada clone nos ambientes com e sem estresse para porcentagem de tubérculos graúdos.

Índices	Média sob estresse	Média na ausência de estresse	Média dos Ambientes
Índice 1	0,72**	-0,48**	0,16 ns
Índice 2	-0,75**	0,45**	-0,20 ns
Índice 3	0,91**	-0,16 ns	0,48**
Índice 4	0,87**	0,69**	0,99**
Índice 5	0,95**	0,50**	0,92**
Índice 6	-0,72**	0,48**	-0,16 ns
PR ¹	-0,72**	0,48**	-0,16 ns
Média Geométrica	0,86**	0,70**	0,99**
Média dos ambientes ²	0,79**	0,78**	1,00

¹ porcentagem de redução da característica; ² média aritmética. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ns: não significativo.

TABELA 3. Coeficientes de correlação entre os índices e a média de cada clone nos ambientes com stresse e sem estresse para peso específico de tubérculos.

Índices	Média sob estresse	Média na ausência de estresse	Média dos ambientes
Índice 1	0,48**	-0,36**	0,08 ns
Índice 2	-0,48**	0,36**	-0,08 ns
Índice 3	0,89**	0,23 ns	0,62 **
Índice 4	0,91**	0,90**	1,00**
Índice 5	0,96**	0,83**	0,99**
Índice 6	-0,48**	0,36**	-0,08 ns
PR ¹	-0,48**	0,36**	-0,08 ns
Média Geométrica	0,91**	0,90**	1,00**
Média dos ambientes ²	0,91**	0,90**	1,00

¹ porcentagem de redução da característica; ² média aritmética. ** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ns: não significativo.

os outros dois caracteres, as correlações envolvendo os índices foram mais baixas, mas com o mesmo significado anterior. Estes resultados assemelham-se aos encontrados por Parentoni et al. (2001), na cultura do milho.

Os índices 4 e 5 parecem ser os mais recomendados, pois apresentaram correlação positiva com todas as médias consideradas, selecionando clones com bom desempenho tanto nos ambientes com estresse, como nos sem estresse. Entretanto, as correlações entre estes índices e a média na ausência de estresse foram mais baixas para produção de tubérculos (Tabela 1). O índice 5 foi proposto por Parentoni et al. (2001), sendo recomendado para a seleção de genótipos de milho avaliados sob diferentes níveis de alumínio no solo.

A porcentagem de redução da média da característica com o estresse (PR) também não deve ser usada como critério de seleção, pois apresentou correlações semelhantes aos índices 2 e 6 (Tabelas 1, 2 e 3). De acordo com Abebe et al. (1998), a PR e o índice de susceptibilidade (índice 6) avaliam

apenas a mudança de comportamento dos genótipos entre os ambientes, e não devem ser indicadas como medidas de confiança para descrever o desempenho nos ambientes. Observa-se que estes dois índices apresentaram correlação negativa e baixa com a média dos ambientes. Clarke et al. (1992) concluíram que o índice de susceptibilidade (índice 6) não diferenciou genótipos tolerantes à seca daqueles com baixo potencial produtivo. Na Tabela 4, observa-se que clones com baixa porcentagem de redução na produção, como o CBM-2.01, CBM-2.20, CBM-2.21 e CBM 8.11, apresentaram média baixa de produção nos ambientes sem estresse. Levando em consideração os conceitos apresentados por Hall (2003), e tomando somente o caráter produção de tubérculos, o clone CBM 2.21 pode ser classificado como tolerante ao calor, pois apresentou as menores perdas de produção em relação a sua média nos ambientes favoráveis, e resistente, pois obteve média superior à dos outros clones nos ambientes com estresse. Contudo este clone é adaptado somente às condições de estresse, pois não respondeu à melhoria ambiental, apresentando baixa média sob condições favoráveis (Tabela 4). O clone CBM 2,06, por outro lado, apresentou alta produção no ambiente sem estresse, porém está entre os menos produtivos no ambiente com estresse, mostrando alta porcentagem de redução da característica. Este clone pode ser classificado como um genótipo adaptado às condições favoráveis de cultivo e bastante sensível. Esta classificação pode ser realizada também pelo índice 6, que foi usado por Tai et al. (1994) para descrever a reação de genótipos de batata ao calor, em que o menor valor, de 0,33 para o CBM 2.21, indica tolerância e o maior valor, de 1,34 para CBM 2,06, indica a sensibilidade.

Entre os melhores critérios para seleção estão a média geométrica e aritmética dos ambientes, que apresentaram também alta correlação com as médias nos ambientes com e sem estresse, principalmente para o caráter de mais alta herdabilidade, o peso específico de tubérculos (Tabela 3). No caso da

produção de tubérculos, a média geométrica apresentou maior correlação com a média sob estresse (0,86), sendo que a média aritmética apresentou maior correlação com a média na ausência de estresse (0,80) (Tabela 1). Isto mostra que, a partir da média aritmética, pode-se selecionar genótipos com baixo desempenho no ambiente com estresse. Esta mesma tendência com relação às correlações encontradas com as médias geométricas e aritméticas foram encontradas por Abebe et al. (1998) e Yadav & Bhatnagar (2001) para condições favoráveis e de estresse hídrico, em trabalho com feijão e milho, respectivamente. De fato, a média geométrica tem como propriedade dar peso maior aos menores valores.

Deste modo, podem ser recomendados a média aritmética, a média geométrica ou o índice 4, para a seleção de clones. Cabe ressaltar que os critérios podem ainda ser usados em combinação, visando maior segurança para seleção. No caso do índice 4, a seleção por meio deste deve ser feita juntamente com a média nos ambientes favoráveis, por estar mais correlacionado com a produção sob estresse.

TABELA 4. Médias para produção de tubérculos (g/planta) de 35 clones na presença (ME) e ausência de estresse ambiental (MF), com os respectivos índices de seleção (IS).

Clone	ME	MF	MA	MG	IS 1	IS 2	IS 3	IS 4	IS 5	IS 6	PR
CBM 13.19	536	1265	900	823	0,42	0,81	0,29	1,15	1,23	1,00	58
CBM 15.10	455	1561	1008	843	0,29	1,10	0,17	1,20	1,09	1,23	71
CBM 15.25	674	1242	958	915	0,54	0,59	0,47	1,42	1,91	0,80	46
CBM 16.12	359	1486	923	731	0,24	1,22	0,11	0,91	0,65	1,32	76
CBM 16.15	604	1285	945	881	0,47	0,72	0,37	1,32	1,59	0,92	53
CBM 16.16	613	1381	997	920	0,44	0,77	0,35	1,43	1,75	0,97	56
CBM 16.21	411	1160	786	691	0,35	0,95	0,19	0,81	0,66	1,12	65
CBM 16.27	431	1033	732	667	0,42	0,82	0,23	0,75	0,65	1,01	58
CBM 16.28	237	1022	629	492	0,23	1,25	0,07	0,41	0,19	1,34	77
CBM 16.07	465	1372	918	798	0,34	0,99	0,20	1,08	1,00	1,15	66
CBM 16.08	576	1050	813	777	0,55	0,58	0,41	1,02	1,18	0,78	45
CBM 18.11	407	1266	837	718	0,32	1,03	0,17	0,87	0,71	1,18	68
CBM 19.08	409	1255	832	717	0,33	1,02	0,17	0,87	0,71	1,17	67
CBM 2.01	621	1012	816	793	0,61	0,48	0,49	1,06	1,32	0,67	39
CBM 2.16	400	962	681	620	0,42	0,83	0,21	0,65	0,52	1,02	58
CBM 2.20	567	817	692	680	0,69	0,36	0,51	0,78	0,89	0,53	31
CBM 2.21	773	955	864	859	0,81	0,21	0,81	1,25	1,93	0,33	19
CBM 2.27	579	1173	876	824	0,49	0,68	0,37	1,15	1,33	0,88	51
CBM 2.03	482	1177	829	753	0,41	0,84	0,25	0,96	0,92	1,03	59
CBM 2.06	326	1425	875	681	0,23	1,26	0,10	0,79	0,51	1,34	77
CBM 2.08	507	1050	779	730	0,48	0,70	0,32	0,90	0,91	0,90	52
CBM 22.17	574	1331	952	874	0,43	0,80	0,32	1,29	1,48	0,99	57
CBM 22.19	684	1342	1013	958	0,51	0,65	0,45	1,56	2,13	0,85	49
CBM 22.07	355	1292	824	677	0,27	1,14	0,13	0,78	0,55	1,26	73
CBM 24.27	651	1301	976	920	0,50	0,67	0,42	1,43	1,86	0,87	50
CBM 24.06	725	1195	960	931	0,61	0,49	0,57	1,47	2,13	0,68	39
CBM 26.22	667	1222	944	903	0,55	0,59	0,47	1,38	1,84	0,79	45
CBM 4.15	627	1085	856	825	0,58	0,54	0,47	1,15	1,45	0,73	42
CBM 4.16	406	1332	869	736	0,30	1,07	0,16	0,92	0,74	1,21	70
CBM 5.09	399	1125	762	670	0,35	0,95	0,18	0,76	0,60	1,12	65
CBM 7.12	584	1122	853	809	0,52	0,63	0,39	1,11	1,29	0,83	48
CBM 7.15	584	1360	972	891	0,43	0,80	0,32	1,35	1,57	0,99	57
CBM 7.04	560	999	780	748	0,56	0,56	0,41	0,95	1,06	0,76	44
CBM 8.11	652	1003	828	809	0,65	0,42	0,55	1,11	1,45	0,61	35
CBM 8.03	557	1382	970	877	0,40	0,85	0,29	1,30	1,45	1,04	60

MA: média aritmética e MG: média geométrica (g/planta); IS: índice de seleção e PR: porcentagem de redução de produção (%).

Para melhor visualização dos resultados, propõe-se plotar as médias dos ambientes em um gráfico, seguindo a sugestão de alguns trabalhos que assim fizeram, porém usando índices (Nicholaides & Piha, 1987, citados por Parentoni et al., 2001; Durães et al., 2002). No gráfico proposto são plotadas as médias dos clones no ambiente favorável no eixo x e as médias na condição de estresse no eixo y (Figura 1). Duas retas cortam os eixos x e y nas respectivas médias geral destes ambientes, dividindo em quatro quadrantes, à semelhança do índice apresentado por Nicholaides & Piha (1987), citados por Parentoni et al. (2001). O gráfico permite identificar quais clones são responsivos à melhoria ambiental e que possuem média mais alta no ambiente desfavorável (quadrante I do gráfico, Figura 1).

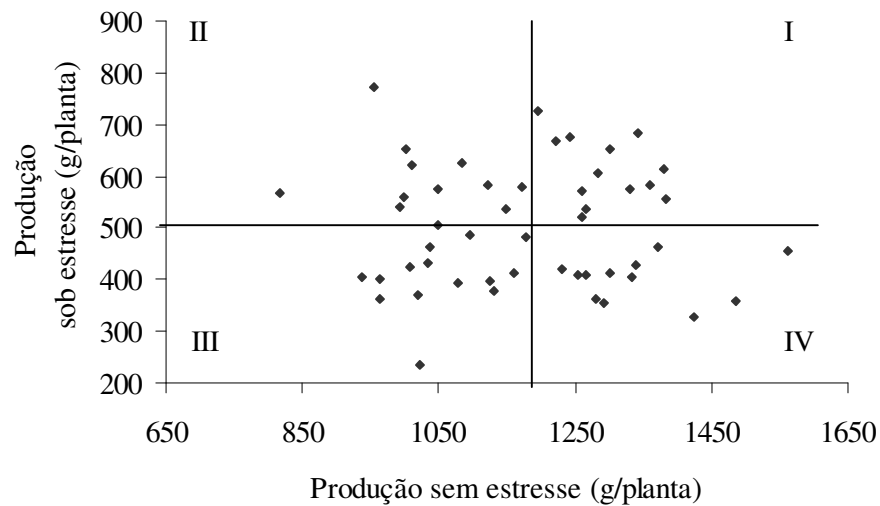


FIGURA 1. Relação entre médias de produção de tubérculos dos clones na condição favorável (eixo x) e sob estresse (eixo y).

Os índices indicados como promissores para auxílio na seleção são bastante simples e facilmente aplicados na rotina de programas de melhoramento. Para ressaltar a importância da seleção baseada na média dos ambientes, é mostrada nas Figuras 2 e 3, a relação existente entre as médias dos cinco melhores clones selecionados com base na média dos ambientes favoráveis (CF), na média sob condições de estresse (CE) e na média de todos ambientes (CM), para os três caracteres (Tabelas 5A, 6A e 7A).

Observa-se o mesmo padrão de resposta para os três caracteres: a média dos melhores clones CF foi inferior à média dos clones CE nos ambientes de estresse. O inverso também foi observado, em que a média dos melhores clones selecionados sob estresse (CE) foi inferior no ambiente favorável. Os clones selecionados a partir das médias dos ambientes (CM) apresentaram desempenho intermediário tanto nas condições favoráveis como nas desfavoráveis. Para produção de tubérculos, por exemplo, os 5 melhores clones CE foram 52% mais produtivos que CF nas condições de estresse, mas produziram 21% menos nos ambientes favoráveis. Esses resultados estão de acordo com aqueles geralmente encontrados nos trabalhos de melhoramento para condições de estresse (Cecarelli et al., 1992; Cecarelli et al., 1998) e como demonstrado teoricamente por Rosielle & Hamblin (1981). Segundo Cecarelli et al. (1992), este padrão de comportamento indica que os alelos que controlam a produção em ambientes favoráveis não são os mesmos que controlam a produção sob estresse, observando-se a baixa correlação da produção dos clones entre estes diferentes ambientes.

Quando se deseja adaptação mais ampla dos genótipos, considerando os resultados dos índices, deve-se selecionar os clones com base na média dos ambientes, verificando-se que os ambientes desfavoráveis não são de muito interesse. Na Tabela 5 são mostrados os coeficientes de correlação (r) da média dos genótipos em um ambiente com a média dos genótipos no grupo de

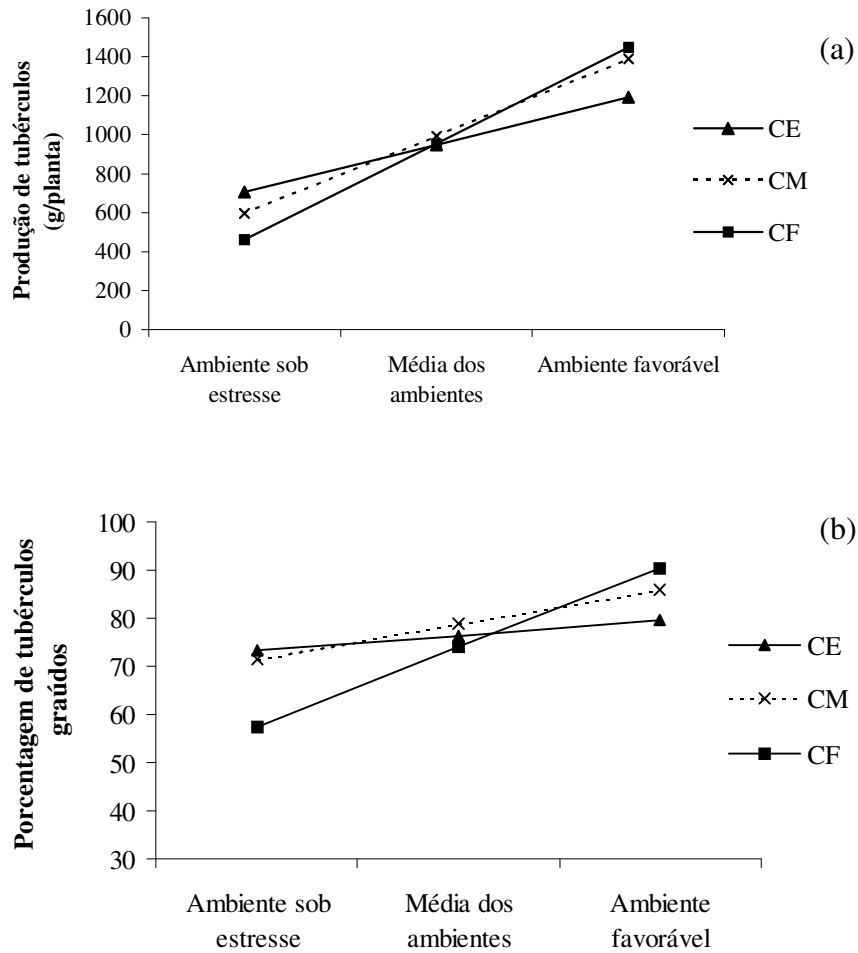


FIGURA 2. Desempenho dos 5 melhores clones selecionados com base na média sob condições de estresse (CE), com base na média de todos os ambientes (CM) e em condições favoráveis (CF), para as características produção de tubérculos por planta (a) e porcentagem de tubérculos grãos (b).

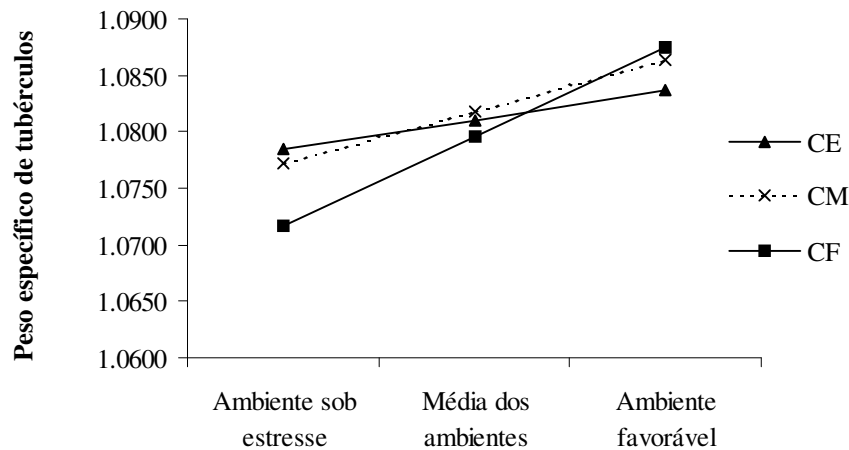


FIGURA 3. Desempenho dos 5 melhores clones selecionados com base na média sob condições de estresse (CE), com base na média de todos os ambientes (CM) e em condições favoráveis (CF), para peso específico de tubérculos.

ambientes. A relação $r.h$, em que h é a raiz quadrada da herdabilidade, foi proposta por Allen et al. (1978) como indicativo dos melhores ambientes para seleção para um grupo de ambientes. Observa-se que para todos os caracteres a relação $r.h$ foi menor para os ambientes 2 e 9, que são os experimentos da safra das águas de 98/99 e 2000/01, respectivamente. Quando o ambiente foi altamente favorável para produção de tubérculos (ambiente 5), observou-se também baixo valor de $r.h$. Para peso específico de tubérculos, o experimento 4, também da safra das águas, apresentou a menor $r.h$.

TABELA 5. Valores do produto entre a correlação (r) das médias dos genótipos em cada ambiente, com a média dos genótipos em todos os ambientes, e a raiz quadrada da herdabilidade do ambiente (h), para os caracteres produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Ambiente	Produção (g/planta)			% de tubérculos graúdos			Peso específico de tubérculos		
	r	h ²	r . h	r	h ²	r . h	r	h ²	r . h
1	0,37	0,56	0,28	0,77	0,54	0,57	0,78	0,75	0,67
2	0,15	0,66	0,13	0,20	0,44	0,13	0,67	0,62	0,53
3	0,56	0,47	0,38	0,80	0,37	0,49	0,75	0,69	0,62
4	0,32	0,78	0,28	0,76	0,59	0,58	0,66	0,76	0,57
5	0,27	0,69	0,22	0,75	0,70	0,62	0,77	0,80	0,69
6	0,75	0,69	0,62	0,70	0,82	0,63	0,76	0,73	0,65
7	0,48	0,72	0,41	0,58	0,69	0,48	0,77	0,82	0,70
8	0,53	0,73	0,45	0,66	0,78	0,58	0,81	0,71	0,68
9	0,19	0,41	0,12	0,43	0,21	0,20	0,64	0,80	0,57

Cecarelli (1994) afirmou que poucos trabalhos são direcionados especificamente para as condições de estresse extremo. Se o objetivo do programa for selecionar genótipos recomendados somente para condições de temperaturas elevadas, as avaliações na época das águas devem ser priorizadas, o que também foi indicado para melhoramento de cevada especificamente para condições de estresse hídrico (Cecarelli, 1989). Apesar de muitos experimentos nas condições de estresse não se mostrarem satisfatórios pela baixa herdabilidade, somente a avaliação nestes ambientes é que pode indicar os caracteres para os quais os genótipos devem apresentar bom desempenho.

Na Tabela 6 são apresentadas as médias dos 10 melhores clones selecionados com base nas médias dos caracteres produção de tubérculos, porcentagem de tubérculos graúdos, peso específico de tubérculos, aparência de tubérculos e porcentagem de tubérculos rachados e embonecados, sob condição de estresse. Observa-se que o clone CBM 2.21 chegou a produzir 40% mais que a testemunha mais produtiva, com porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos superiores a todas as testemunhas. Entretanto, apesar de boa nota de aparência de tubérculos, este clone apresentou alta porcentagem de tubérculos com embonecamento. Maior atenção deve ser dada às características aparência de tubérculos graúdos, porcentagem de tubérculos rachados e embonecados, quando se realiza a seleção para tolerância ao calor, tendo em vista a média dos clones selecionados (Tabela 6). A variabilidade para resistência a defeitos fisiológicos tem sido relatada (Mackay et al., 1998) e é um critério bastante importante para a seleção de cultivares para climas quentes (Levy et al., 2001). Cabe ressaltar a importância desta característica, pois cultivares lançadas pelo CIP (Centro Internacional da Batata) como tolerantes ao calor exibiram alta incidência de rachadura de tubérculos sob condições das safras das águas do Sul de Minas Gerais, inviabilizando seu uso como genitores no programa de melhoramento (Menezes et al., 2001).

TABELA 6. Médias dos dez melhores clones sob condições de estresse térmico para as características produção de tubérculos, porcentagem de tubérculos graúdos, peso específico de tubérculos, aparência de tubérculos, porcentagem de tubérculos rachados, porcentagem de tubérculos embonecados, vigor de planta e ciclo vegetativo (DAE: dias após emergência). Lavras, safras das águas de 1998, 2000 e 2001.

Clone	Produção (g/planta)	% de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos	Aparência	Tubérculos Rachados (%)	Tubérculos embonecados (%)	Vigor ¹	Ciclo ² (dias)
CBM-2.21	773	74	1,0788	2,8	4,6	9,7	2,9	83
CBM-26.22	667	56	1,0613	1,5	0,0	17,0	3,0	104
CBM-8.11	652	62	1,0671	1,6	7,6	20,4	3,0	84
CBM-4.15	627	54	1,0666	1,7	13,1	19,9	3,4	92
CBM-2.01	621	50	1,0716	1,8	12,6	12,6	3,4	80
CBM-16.16	613	65	1,0695	2,2	4,3	23,9	4,0	90
CBM-7.12	584	62	1,0687	2,2	1,3	12,2	3,2	109
CBM-2.27	579	61	1,0576	1,4	4,6	7,8	3,5	101
CBM-16.08	576	52	1,0614	1,8	0,7	17,9	3,0	85
CBM-8.03	557	69	1,0679	1,6	2,0	17,6	4,4	114
ACHAT	305	14	1,0410	2,0	25,0	31,1	3,0	84
BARAKA ³	548	62	1,0451	2,0	30,2	12,2	-	-

¹e ² vigor e ciclo foram avaliados somente em Lavras, 2002; ³ médias da testemunha Baraka são das safras de 1998 e 2000.

A partir dos melhores clones selecionados sob condições de estresse (Tabela 6), sugere-se realizar cruzamentos entre aqueles com baixa média para porcentagem de rachaduras e os com baixa média para embonecamento, uma vez que a maioria dos clones apresentou média alta para uma ou outra destas características.

3.2 Progressos genéticos esperados com a seleção

Nas Tabelas 7 a 11 são mostrados os progressos genéticos esperados para os caracteres com a seleção realizada por diferentes critérios.

Na Tabela 7, os progressos genéticos apresentados são os esperados para os ambientes a partir da seleção truncada com base na média do próprio ambiente. Verifica-se que os ganhos foram bastante altos para os caracteres, porque, quando se realiza a seleção apenas para um ambiente específico, a interação genótipos por ambientes pode ser capitalizada, considerando que a variância genética dos ambientes individuais está inflacionada pelo componente da interação. Os ganhos para peso específico de tubérculos, à primeira vista, parecem baixos (média de 1,2%), se comparados aos obtidos para os outros caracteres. Entretanto, supondo que a média dos clones em um ambiente seja de 1,070, com a seleção e ganho esperado de 1,2%, esta média aumentaria para 1,0828, considerada ideal para qualidade de tubérculos. Cada aumento de 0,005 unidade no peso específico, representa cerca de 1% no teor de matéria seca de tubérculos, sendo desejáveis genótipos com valores acima de 20% de matéria seca.

Na Tabela 8 são mostrados os ganhos que seriam obtidos na média dos ambientes, a partir da seleção com base no desempenho de ambientes individuais. Verifica-se que os ganhos em algumas situações são extremamente baixos, chegando a ser nulos ou negativos. Com a seleção nos ambientes 2 e 9,

os ganhos para todos os caracteres foram bastante baixos, tendo em vista que são menos correlacionados com a média dos ambientes. Na Tabela 8 ainda são mostrados os ganhos esperados na média dos ambientes a partir da seleção também com base na média dos ambientes. Esses ganhos são mais baixos que os progressos apresentados na Tabela 7, pois nas expressões dos ganhos com base na média são usados os componentes de variância genético da análise conjunta, que são livres do componente da interação genótipos por ambientes, sendo, por isso, mais próximos aos ganhos que podem ser conseguidos na prática. Normalmente, nos programas de melhoramento realiza-se a seleção baseada na média. Observa-se ainda que os ganhos na média, com a seleção também na média são maiores que os ganhos na média, mas com seleção em ambientes individuais.

Na Tabela 9 são mostrados os ganhos esperados nos ambientes individuais com a seleção baseada na média dos ambientes. Os resultados novamente indicam a importância da seleção na média dos ambientes, pois os progressos médios obtidos neste caso foram superiores aos progressos médios obtidos com a seleção praticada com o desempenho em ambientes individuais (Tabela 8). Entre os ambientes de menores ganhos com a seleção baseada na média, para todos caracteres, estão o 2 e 9, pelos aspectos já comentados anteriormente.

Nas Tabelas 10 e 11 são mostrados os ganhos esperados com a seleção indireta para os ambientes. Na Tabela 10, em cada linha são mostradas as médias das respostas correlacionadas nos demais ambientes, a partir da seleção no ambiente considerado. Verifica-se que as médias de todos os ganhos são inferiores aos ganhos esperados com a seleção na média dos ambientes (Tabela 8, última linha). O ambiente 6 foi o que proporcionou os maiores ganhos para

TABELA 7. Progressos genéticos esperados (%) a partir da seleção baseada no desempenho no próprio ambiente, para as características produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Ambiente	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos
1	48,43	47,05	1,27
2	54,87	28,60	1,06
3	32,82	24,86	1,12
4	46,82	22,45	1,27
5	29,40	21,77	1,07
6	34,31	29,24	1,13
7	40,73	24,93	0,87
8	31,66	43,81	1,00
9	31,95	19,41	1,75
Média dos Progressos	39,00	29,10	1,20

TABELA 8. Progressos genéticos (%) esperados na média dos ambientes, a partir da seleção baseada no desempenho nos ambientes individuais e na média dos ambientes, para as características produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Ambiente de seleção	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos
1	5,76	14,16	0,01
2	1,95	0,51	0,58
3	6,20	18,12	0,89
4	3,82	16,54	0,67
5	1,50	16,03	0,90
6	11,09	12,11	0,95
7	6,84	13,50	0,81
8	7,93	16,26	0,96
9	0,47	-6,32	-0,02
Média dos progressos	5,06	11,21	0,64
Seleção na média	6,87	22,08	0,95

TABELA 9. Progressos genéticos (%) esperados nos ambientes, a partir da seleção baseada na média dos ambientes, para as características produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Ambiente de seleção	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos
1	26,05	44,69	1,25
2	8,43	1,20	0,90
3	22,63	43,80	1,32
4	11,99	22,90	1,03
5	3,33	17,62	1,10
6	28,80	15,57	1,34
7	20,11	17,81	0,79
8	17,94	33,00	1,24
9	1,91	-20,71	-0,05
Média	15,69	19,54	0,99
dos progressos			

TABELA 10. Respostas correlacionadas médias¹ (%) esperadas a partir da seleção baseada no desempenho nos ambientes individuais, para as características produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Ambiente De seleção	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos
1	-1,30	13,15	0,75
2	-0,94	2,01	0,59
3	4,46	17,27	0,80
4	5,67	20,57	0,63
5	-4,91	17,36	0,87
6	11,45	13,65	0,87
7	6,99	12,96	0,83
8	4,02	14,54	0,94
9	4,19	8,60	0,54
Média ²	3,29	13,34	0,76

¹em cada linha os valores representam a média das respostas correlacionadas nos demais ambientes, a partir da seleção no ambiente considerado; ² média de todas as respostas correlacionadas obtidas.

TABELA 11. Respostas correlacionadas médias¹ (%) esperadas a partir da seleção baseada no desempenho nos ambientes individuais, para as características produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Ambiente de resposta	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos
1	-0,67	23,56	0,83
2	-0,30	1,96	0,64
3	5,80	22,77	0,85
4	4,59	12,40	0,69
5	-2,34	9,43	0,74
6	9,35	8,81	0,87
7	5,78	8,94	0,55
8	4,27	17,01	0,85
9	3,14	15,21	0,78
Média ²	3,29	13,34	0,76

¹em cada linha os valores representam a média das respostas correlacionadas no ambiente considerado, a partir da seleção nos demais ambientes; ² média de todas as respostas correlacionadas obtidas.

TABELA 12. Eficiências médias¹ (%) da seleção indireta em relação à seleção praticada a partir do desempenho no próprio ambiente, para as características produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Ambiente de resposta	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso específico de tubérculos
1	-1,39	50,07	65,38
2	-0,55	6,86	60,67
3	17,67	91,60	75,87
4	9,81	55,22	53,90
5	-7,95	43,33	69,76
6	27,26	30,14	76,88
7	14,19	35,85	63,48
8	13,50	38,83	85,55
9	9,82	78,35	44,70
Média ²	9,15	47,81	66,24

¹em cada linha os valores representam a média das eficiências da seleção indireta praticada nos outros ambientes; ² média das eficiências.

produção nos outros ambientes e observa-se que em muitos casos os ganhos indiretos foram baixos e negativos, como no caso da produção de tubérculos. Na Tabela 11 também são mostrados os ganhos indiretos, porém os valores em cada linha são a média dos ganhos esperados em cada ambiente com a seleção nos demais.

Na Tabela 12 verifica-se que a eficiência da seleção indireta foi bastante baixa, em relação à seleção baseada no próprio ambiente. Vários trabalhos mostram que a seleção direta é frequentemente mais eficiente do que a indireta, como sugerida pelos trabalhos teóricos de Rosielle & Hamblin (1981) e Simmonds (1991). Isto é confirmado por numerosos experimentos revisados por Cecarelli (1994) e também encontrado por Resende et al. (1997) e Atlin & Frey (1990), para as condições de estresse. A razão da baixa eficiência da seleção indireta é explicada pelas baixas correlações, inclusive algumas delas negativas, observadas entre médias de clones nos diversos experimentos para o caracteres (Tabela 4, 5 e 6, Capítulo 2). As correlações foram baixas principalmente para produção de tubérculos, que variou de $-0,37$ a $0,48$. Para porcentagem de tubérculos graúdos a magnitude das correlações foi de $-0,16$ a $0,64$ e, para peso específico de tubérculos, de $0,23$ a $0,68$.

3.3 Análise de Estabilidade e Adaptabilidade

Geralmente, quando é realizada a seleção sob várias condições ambientais, incluindo ambientes com estresse, a interação genótipos por ambiente assume grande importância, como comentado. Segundo Cecarelli et al. (1991), os ambientes caracterizados por baixas produtividades são altamente imprevisíveis, por causa da variação em frequência, duração e intensidade dos fatores responsáveis pelo estresse.

Foi realizado o estudo de estabilidade e adaptabilidade dos clones a partir das médias ajustadas dos clones e da análise conjunta dos nove experimentos. As análises conjuntas foram apresentadas na Tabela 2 (Cap 2), e como comentado, o componente da interação genótipos por ambientes foi bastante alto para produção de tubérculos, comparado ao dos outros caracteres.

Segundo Kang (1998), os parâmetros estatísticos de estabilidade para serem confiáveis, devem ser obtidos de um grande número de ambientes (>10), geralmente a partir de experimentos em estádios finais dos programas de melhoramento. Entretanto, os dados iniciais de programas de melhoramento, a partir de um número menor de ambientes, podem ser usados, considerando que quando se usam métodos não paramétricos, não é necessário que se assumam qualquer hipótese sobre a distribuição dos valores fenotípicos (Carneiro, 1998).

No caso da cultura da batata, geralmente, nas fases iniciais do programa não se dispõe de número adequado de tubérculos por clone, e, com o fato de ocorrer contaminação por vírus com as sucessivas multiplicações do material de propagação vegetativa, o plantio de ensaios em vários ambientes torna-se inviável. Em alguns programas tem sido usados o estudo da estabilidade em etapas iniciais para identificação dos clones superiores (Brown et al., 1996; Sharma et al., 2001) e da interação para identificação das melhores famílias (Ortiz & Golmirzaie, 2004).

Na Tabela 13 são mostradas as médias e os respectivos índices de estabilidade para 15 clones que apresentaram boa estabilidade para os três caracteres simultaneamente. Os métodos usados neste estudo foram o de Lin e Binns (1988) e de Annicchiarico (1992). O índice proposto por Annicchiarico é bastante simples de ser estimado e de fácil interpretação. Quanto maior este índice, maior será a probabilidade de sucesso do genótipo nos ambientes (índice de confiança). Quanto ao método de Lin e Binns, o genótipo ideal é aquele com

TABELA 13. Médias para produção de tubérculos, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos, com respectivos valores dos índices de estabilidade para os 15 clones mais estáveis, segundo as metodologias de Annicchiaricho (1992) e de Lin e Bins (1988).

Clone	Produção			Porcentagem de tubérculos graúdos			Peso específico de Tubérculos		
	Média (g/planta)	IC ¹ (%)	P(i) ²	Média (%)	IC (%)	P(i)	Média	IC (%)	(Pi)
CBM 7.15	1053	133	143849,7	76	122	302,3	1,0678	100	0,000752
CBM 8.03	991	122	109972,0	79	129	138,5	1,0727	100	0,000493
CBM 22.19	1015	121	114165,4	68	104	498,8	1,0700	100	0,000656
CBM 16.16	991	120	122558,2	71	111	394,4	1,0759	100	0,000423
CBM 24.06	910	116	231460,9	73	115	380,6	1,0705	100	0,000628
CBM 16.15	941	115	170595,7	68	104	509,5	1,0683	100	0,000703
CBM 15.10	995	115	137890,7	71	104	669,8	1,0623	99	0,001085
CBM 4.15	833	112	287254,0	64	99	712,1	1,0738	100	0,000465
CBM 2.21	815	111	341476,7	60	100	1077,4	1,0824	101	0,000220
CBM 26.22	903	109	244373,0	68	106	511,7	1,0658	99	0,000844
CBM 22.17	898	108	213675,2	61	92	843,4	1,0676	100	0,000723
CBM 15.25	852	107	302566,9	79	129	133,8	1,0645	99	0,000973
CBM 24.27	864	106	270705,8	78	123	147,9	1,0655	99	0,000857
CBM 7.12	848	105	254001,2	74	112	409,8	1,0730	100	0,000547
CBM 6.02	872	100	241334,4	68	105	583,8	1,0680	100	0,000714

¹IC: índice de confiabilidade de Annicchiaricho em porcentagem: valores acima de 100 indicam os materiais mais estáveis.

²P (i): índice de Lin e Binns: o menor valor de P(i) indica maior estabilidade.

menor estimativa de PI, ou seja, com melhor desempenho no maior número de ambientes possível.

Alguns clones, como o CBM 7.15, CBM 8.03, CBM 16.16 e CBM 22.19, apresentaram alta estabilidade para todos os caracteres simultaneamente. Nota-se que as médias destes clones para as características foram bastante elevadas (Tabela 13). Um exemplo é o clone CBM 16.16, que apresentou média de 991 g/planta, 71% de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos de 1.0759. Estes valores estão acima da média geral dos ensaios, e ainda, acima das médias das testemunhas na maioria dos ensaios (Tabela 2A). No ensaio de Três Corações, este clone apresentou média de produção de 1999 g/planta, 90% de tubérculos graúdos e peso específico de 1.0800. Na média sob condições de estresse (Tabela 6), este clone apresentou desempenho satisfatório, porém com alta porcentagem de tubérculos embonecados, característica já apontada como de extrema importância para os trabalhos futuros.

Houve boa concordância entre os dois métodos de estabilidade, demonstrada pelos altos coeficientes de correlação entre os índices para os caracteres, de $-0,80$ para produção de tubérculos, $-0,94$ para porcentagem de tubérculos graúdos e $-0,98$ para peso específico de tubérculos. Os valores são negativos pois para o índice de Lin e Binns (PI) os menores valores indicam a maior estabilidade dos clones, ao contrário do índice de Annicchiarico (IC). Na Tabela 13 pode-se notar que os clones com os menores valores de PI apresentam os maiores valores de IC.

Foram estimados, ainda, os coeficientes de correlação entre os índices de Annicchiarico e Lin e Binns dos clones com a média dos respectivos clones nos ambientes (Tabela 14). De modo geral, os coeficientes de correlação foram altos entre os índices e a média na ausência de estresse e com a média geral dos ambientes. O índice PI apresentou baixa correlação ($-0,11$) com a média sob estresse para produção de tubérculos. Isto pode ser esperado para este índice,

uma vez que o valor de PI é a média de todos os ambientes, representando a superioridade no sentido de uma adaptabilidade geral. Na seleção somente com PI, um genótipo com adaptação geral estreita, mas bom em adaptabilidade específica, poderá ser descartado. Nesse último aspecto, para a seleção especificamente para condições de estresse, o PI não apresenta muito valor. Por exemplo, o clone CBM 2.21, adaptado a condições de estresse apresenta alto valor de PI para produção de tubérculos em relação a outros clones apresentados na Tabela 13. No entanto, quando o objetivo é a adaptação ampla, geralmente mais procurada, o PI deve ser utilizado, permitindo a seleção de clones com boa estabilidade, com bom desempenho médio em ambas condições. Um exemplo são os clones CBM 22.19, CBM 8.03, CBM 7.15 e CBM 16.16, com baixos valores de PI (Tabela 13) e com bom desempenho tanto nas condições favoráveis como desfavoráveis (Tabela 4). Clarke, DePauw e Townley-Smith (1992), avaliando métodos para seleção para tolerância à seca em trigo, também encontraram alta correlação de PI com a média geral dos genótipos ao longo dos ambientes. Entretanto, os autores afirmam que o PI é bastante influenciado pelos ambientes mais produtivos. Apesar da boa concordância entre os índices, o índice de Annicchiarico (IC) apresentou maior correlação com a média sob estresse para produção do que o de Lin e Binns (PI). Verifica-se que para o clone CBM 2.21 o IC é superior a outros apresentados, sendo, portanto, considerado estável por este método.

Apesar de não terem sido incluídas as testemunhas na análise de estabilidade, uma vez que diferentes cultivares usadas com esta finalidade fizeram parte em alguns experimentos, verificou-se que em todos os ambientes, vários clones apresentaram médias estatisticamente iguais ou superiores à média das testemunhas para os caracteres avaliados (dados não apresentados). Na Figura 4 é mostrado o comportamento de 10 clones mais estáveis segundo o índice de Annicchiarico para os caracteres. No gráfico também estão plotadas as

médias das testemunhas e a média geral dos experimentos. Verifica-se que os clones selecionados apresentaram bom desempenho tanto em condições favoráveis quanto desfavoráveis.

A partir da identificação dos clones mais estáveis e considerando caracteres adicionais, tanto da planta (hábito de crescimento, porte) como de tubérculos (formato, tipo de pele e profundidade de olhos), entre outros, serão selecionados genótipos adaptados que possam ser utilizados intensivamente no programa como genitores e/ou como uma possível cultivar no futuro. Alguns destes clones já foram inter cruzados e deram início a um esquema de seleção recorrente para melhoramento de populações, visando à tolerância ao calor.

TABELA 14. Coeficientes de correlação entre os índices de estabilidade de Annichiarico (IC) e Lin e Bins (PI) com a média de cada clone nos ambientes para os caracteres produção de tubérculos por planta (PT), porcentagem de tubérculos graúdos (PTG) e peso específico de tubérculos (PET).

Índice de Estabilidade	Característica	Média sob estresse	Média na ausência de estresse	Média dos Ambientes
IC	PT	0,58**	0,61**	0,91**
	PTG	0,69**	0,77**	0,99**
	PET	0,87**	0,89**	1,00**
PI	PT	-0,11ns	-0,83**	-0,96**
	PTG	-0,52**	-0,78**	-0,98**
	PET	-0,86**	-0,85**	-0,98**

** significativo ao nível de 1% de probabilidade pelo teste de t; ns: não significativo.

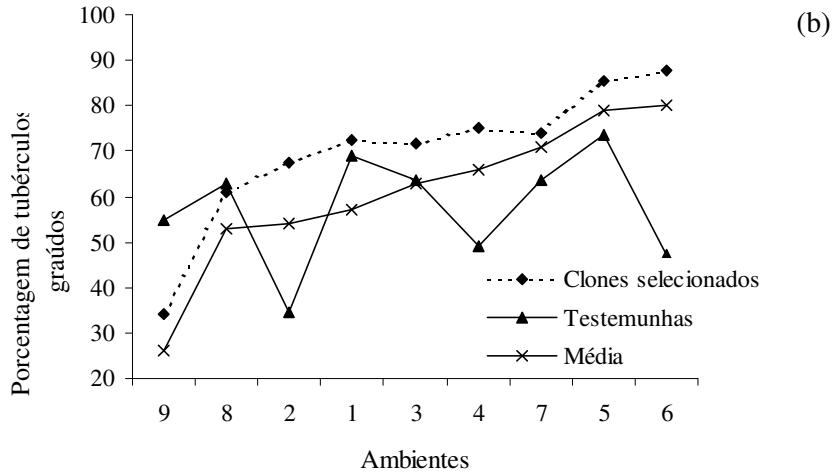
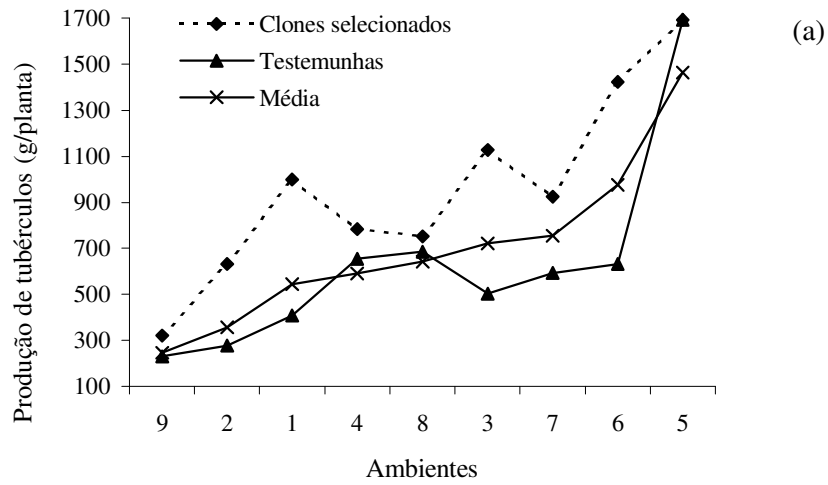


FIGURA 4. Desempenho médio nos ambientes dos 10 clones mais estáveis pelo índice de Annicchiarico e das testemunhas, para as características produção de tubérculos por planta (a) e porcentagem de tubérculos graúdos (b). No eixo x os valores foram plotados de acordo com a média ambiental.

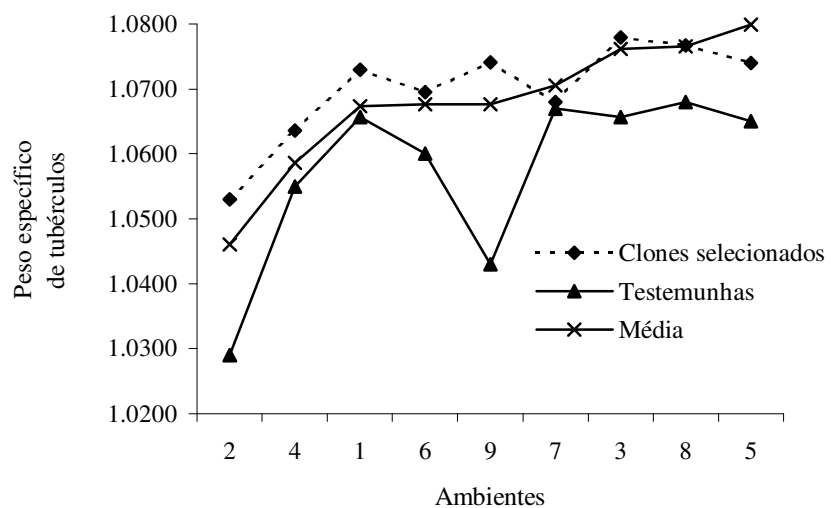


FIGURA 5. Desempenho médio nos ambientes dos 10 clones mais estáveis pelo índice de Annicchiarico e das testemunhas para peso específico de tubérculos. No eixo x os valores foram plotados de acordo com a média ambiental.

CONCLUSÕES

A interação genótipos por ambientes quando se realiza a seleção para tolerância ao calor é bastante expressiva, principalmente para o caráter de mais baixa herdabilidade, que no caso foi a produção de tubérculos.

A seleção indireta não é indicada para tolerância ao calor, sendo bastante ineficiente em virtude das baixas correlações entre médias de clones nos ambientes.

A seleção na média dos ambientes é mais indicada quando se deseja selecionar genótipos com ampla adaptação. Entre os índices de seleção, a média aritmética, a média geométrica e o índice 4 são os mais indicados. O índice de susceptibilidade ou a porcentagem de redução da produção somente indicam os materiais especificamente adaptados.

No geral, os clones com os melhores desempenhos sob estresse ambiental e considerados tolerantes ao calor são especificamente adaptados, com média baixa em ambientes favoráveis. No entanto, genótipos com bom desempenho em ambas condições podem ser selecionados.

Na seleção especificamente para condições de estresse, deve-se considerar vários caracteres simultaneamente, dando-se maior importância a resistência a defeitos fisiológicos de tubérculos, além da produção de tubérculos, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Foi possível identificar clones com boa estabilidade simultaneamente para os caracteres produção de tubérculos, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos, sob diferentes condições ambientais do Sul de Minas Gerais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEBE, A.; BRICK, M. A.; KIRKBY, R. A. Comparison of selection indices to identify productive dry bean lines under diverse environmental conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 58, n. 1, p. 15-23, July 1998.

ALLEN, F. L.; COMSTOCK, R. E.; RASSMUSSON, D. C. Optimal environments for yield testing. **Crop Science**, Madison, v. 18, n. 5, p. 747-751, Sept./Oct. 1978.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics & Breeding**, Rome, v. 46, n. 3, p. 269-278, Sept. 1992.

ATLIN, G. N.; FREY, K. J. Selecting oat lines for yield in low-productivity environments. **Crop Science**, Madison, v. 30, n. 3, p. 556-561, May/June 1990.

BROWN, J.; DALE, M. F. B.; MACKAY, G. R. General adaptability of potato genotypes selected in the UK for the Mediterranean region. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v. 126, n. 4, p. 441-448, June 1996.

CARNEIRO, P. C. S. **Novas metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CECARELLI, S. Specific adaptation and breeding for marginal conditions. **Euphytica**, Wageningen, v. 77, n. 3, p. 205-219, 1994.

CECARELLI, S. Wide adaptation: How wide? **Euphytica**, Wageningen, v. 40, n. 3, p. 197-205, Feb. 1989.

CECARELLI, S.; ACEVEDO, E.; GRANDO, S. Breeding for yield stability in unpredictable environments: single traits, interaction between traits, and architecture of genotypes. **Euphytica**, Wageningen, v. 56, n. 2, p. 169-185, July 1991.

CECARELLI, S.; GRANDO, S.; HAMBLIN, J. Relationship between grain yield measured in low- and high-yielding environments. **Euphytica**, Wageningen, v. 64, n. 1/2, p. 49-58, 1992.

CECARELLI, S.; GRANDO, S.; IMPIGLIA, A. Choice of selection strategy in breeding barley for stress environments. **Euphytica**, Wageningen , v. 103, n. 3, p. 307-318, 1998.

CLARKE, J. M.; DePAUW, R. M.; TOWNLEY-SMITH, T. F. Evaluation of methods for quantification of drought tolerance in wheat. **Crop Science**, Madison, v. 32, n. 3, p. 723-728, May/June 1992.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. Viçosa: UFV, v. 2, 2003. 585 p.

DURÃES, F. O. M.; MAGALHÃES, P. C.; OLIVEIRA, A. C.; SANTOS, M. X.; GAMA, E. E. G.; GUIMARÃES, C. T. Combining ability of tropical maize inbred lines under drought stress conditions. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, n. 2, p. 291-298, 2002.

HALL, A. E. **The mitigation of heat stress**. 2003. Disponível em: <www.plantstress.com/articles./index.aps>. Acesso em: 2004.

KANG, M. S. Using genotype-by-environment interaction for crop cultivar development. **Advances in Agronomy**, New York, v. 62, p. 199-250, 1998.

KIRIGWI, F. M.; van GINKEL, M.; TRETOWAN, R.; SEARS, R. G.; RAJARAM, S.; PAULSEN, G. M. Evaluation of selection strategies for wheat adaptation across water regimes. **Euphytica**, Wageningen, v. 135, n. 3, p. 361-371, 2004.

LEVY, D.; ITZHAK, Y.; FOGELMAN, E.; MARGALIT, E.; VEILLEUX, R. E. Ori, Idit, Zohar and Zahov: Tablestock and chpstock cultivars bred for daptation to Israel. **American Journal of Potato Research**, Orono, v. 78, n. 3, p. 167-173, May/June 2001.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A method of analyzing cultivar x location x year experiment: a new stability parameter. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 76, n. 3, p. 425-430, 1988.

MACKAY, G. R.; WASTIE, R. L.; STEWART, H. E. **Breeding potatoes for warm climates**. 1998. Disponível em: <www.spud.co.uk/prof/research/scr/AR9320.html#Intro>. Acesso em: 2004.

MENEZES, C. B.; PINTO, C. A. B. P.; NURMBERG, P. L.; LAMBERT, E. S. Combining ability of potato genotypes for cool and warm season in Brazil. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 1, n. 2, p. 145-157, 2001.

ORTIZ, R.; GOLMIRZAIE, A. M. Genotype by environment interactions and selection in true potato seed breeding. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 40, n. 1, p. 99-107, Jan. 2004.

PARENTONI, S. N.; ALVES, V. M. C.; MILACH, S. K.; CANÇADO, G. M. A.; BAHIA FILHO, A. F. C. Melhoramento para tolerância ao alumínio como fator de adaptação a solos ácidos. In: NASS. **Recursos genéticos e melhoramento**. 2001. cap. 25, p. 783-852.

RESENDE, M. D. V.; SOUZA Jr., C. L.; GAMA, E. E. G.; MAGNAVACA, R. Análise quantitativa da seleção envolvendo progênies de milho (*Zea mays* L.) em solos sob cerrado e fértil. I. Progressos Genéticos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 32, n. 5, p. 495-507, maio 1997.

ROSIELLE, A. A.; HAMBLIN, J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. **Crop Science**, Madison, v. 21, n. 6, p. 943-946, Nov./Dec. 1981.

SHARMA, Y. K.; SHARMA, S. K.; KATOCH, P. C. Using phenotypic stability as a criterion for early generation selection in potato (*Solanum tuberosum* L.) **Tropical Agriculture**, Trinidad, v. 78, n. 2, p. 108-117, Apr. 2001.

SIMMONDS, N. W. Selection for local adaptation in a plant breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 82, n. 3, p. 363-367, 1991.

TAI, G. C. C.; LEVY, D.; COLEMAN, W. K. Path Analysis of genotype-environment interactions of potatoes exposed to increasing warm-climate constraints. **Euphytica**, Wageningen, v. 75, n. 1, p. 49-61, 1994.

YADAV, O. P.; BHATNAGAR, S. K. Evaluation of indices for identification of pearl millet cultivars adapted to stress and non-stress conditions. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 70, n. 3, p. 201-208, May 2001.

ANEXOS

ANEXO A		Página
TABELA 1A	Resumo das análises de variância individuais das gerações, para os caracteres produção por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.....	133
TABELA 2A	Média das testemunhas para produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos nos 9 ambientes.....	136
TABELA 3A	Médias obtidas para os clones na presença (ME) e ausência de estresse ambiental (MF), com os respectivos índices de seleção (IS), para porcentagem de tubérculos graúdos.....	137
TABELA 4A	Médias obtidas para os clones na presença (ME) e ausência de estresse ambiental (MF), com os respectivos índices de seleção (IS), para peso específico de tubérculos.....	139
TABELA 5A	Médias dos 5 melhores clones selecionados com base na média sob condição de estresse (CE: Lavras, safra das águas 1998, 2000 e 2002), na média de todos ambientes ambientes (CM) e na média sob condições favoráveis (CF: Lavras inverno de 2000 e 2001; Três Corações 2000) para produção de tubérculos por planta.....	141
TABELA 6A	Médias dos 5 melhores clones selecionados com base na média sob condição de estresse (CE: Lavras, safra das águas 1998, 2000 e 2002), na média de todos ambientes ambientes (CM) e na média sob condições favoráveis (CF: Lavras inverno de 2000 e 2001; Três Corações 2000) para porcentagem de tubérculos graúdos.....	141

TABELA 7A	Médias dos 5 melhores clones selecionados com base na média sob condição de estresse (CE: Lavras, safra das águas 1998, 2000 e 2002), na média de todos ambientes ambientes (CM) e na média sob condições favoráveis (CF: Lavras inverno de 2000 e 2001; Três Corações 2000) para peso específico de tubérculos.....	142
-----------	--	-----

TABELA 1A. Resumo das análises de variância individuais das gerações, para os caracteres produção por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos.

Experimento 1	Local: Lavras	Delineamento: Blocos Aumentados		Maio a set. 1998
		Quadrado Médio		
FV	GL	Prod./pl (g)	% Graúdos	Peso esp. (x 10 ⁻⁴)
Tratamento	697	72146,70	797,62	1,068
Erro Efetivo	47	31752,08	366,08	0,269
Média		545,14	57,90	1,0673
CV		32,64	32,70	0,49
σ^2_g		40394,62	431,54	0,799
h^2_a		0,56	0,54	0,75
Experimento 2	Local: Lavras	Delineamento: DBC		Nov. 1998 a fev. 1999
		2 rep		
		Quadrado Médio		
FV	GL	Prod./pl (g)	% Graúdos	Peso esp. (x 10 ⁻⁴)
Tratamento	604	56758,65	790,18	2,05
Erro	604	19043,99	440,35	0,770
Média		358,50	54,55	1,0461
CV		38,43	38,36	0,84
σ^2_g		18857,33	174,915	0,640
h^2_a		0,66	0,44	0,62
Experimento 3	Local: Lavras	Delineamento: Blocos Aumentados		Maio a set. 1999
		Quadrado Médio		
FV	GL	Prod./pl (g)	% Graúdos	Peso esp. (x 10 ⁻⁴)
Tratamento	1008	82407,306	571,14	0,9768
Erro Efetivo	50	43642,29	357,83	0,2979
Média		722	63	1,0762
CV		28,93	30	0,51
σ^2_g		38765,306	213,3	0,679
h^2_a		0,47	0,37	0,69
Experimento 4	Local: Lavras	Delineamento: Látice 16 x 16,		Jan a abril 2000
		2 rep.		
		Quadrado Médio		
FV	GL	Prod./pl (g)	% Graúdos	Peso esp. (x 10 ⁻⁴)
Tratamento	255	81659,586	422,584	2,0392
Erro Efetivo	225	18048,858	173,811	0,4889
Média		590,82	66,9	1,0586
CV		22,73	19,70	0,65
σ^2_g		31805,364	124,38	0,7751
h^2_a		0,78	0,59	0,76

“...continua...”

“TABELA 1A, Cont.”

Experimento 5	Local: Três Corações	Delineamento: Látice 16 x 16 2 rep		Março a jul. 2000
Quadrado Médio				
FV	GL	Prod./pl (g)	% Graúdos	Peso esp. (x 10 ⁻⁴)
Tratamento	255	249824,085	379,56	1,341
Erro Efetivo	225	76269,462	106,31	0,265
Média		1465,49	79,86	1,0799
CV		18,84	12,90	0,48
σ^2_g		86777,311	136,475	0,538
h^2_a		0,69	0,70	0,80
Experimento 6	Local: Lavras	Delineamento: Látice 16 x 16 2 rep		Mai a Set. 2000
Quadrado Médio				
FV	GL	Prod./pl (g)	% Graúdos	Peso esp (x 10 ⁻⁴)
Tratamento	255	152906,57	531,70	1,774
Erro Efetivo	225	47236,23	92,65	0,473
Média		977,4	80,8	1,0676
CV		22,2	11,9	0,64
σ^2_g		52834,88	219,52	0,650
h^2_a		0,69	0,82	0,73
Experimento 7	Local: Lavras	Delineamento: Látice 9 x 9 3 rep		Mai a Set. 2001
Quadrado Médio				
FV	GL	Prod./pl (g)	% Graúdos	Peso esp (x 10 ⁻⁴)
Tratamento	80	175513,421	647,950	1,25
Erro Efetivo	136	48366,183	203,262 (gl=160)	0,2205
Média		755,312	71,29	1,0705
CV		29,11	19,99	0,40
σ^2_g		42382,00	148,22	0,343
H^2_a		0,72	0,69	0,82
Experimento 8	Local: São João da Mata	Delineamento: Látice 9 x 9 3 rep		Agos a Nov 2001
Quadrado Médio				
FV	GL	Prod./pl (g)	% Graúdos	Peso esp (x 10 ⁻⁴)
Tratamento	80	75162,51	855,29	2,25
Erro Efetivo	136	20115,12	185,08 (gl=160)	0,6617
Média		642,51	53,92	1,0765
CV		22,094	25,23	0,75
σ^2_g		18349,13	223,40	0,5294
h^2_a		0,73	0,78	0,71

“...continua...”

“TABELA 1A, Cont.”

Experimento 9	Local: Lavras	Delineamento: Látice 9 x 9		Jan a Abril 2002
		3 rep		
		Quadrado Médio		
FV	GL	Prod./pl (g)	% Graúdos	Peso esp (x 10 ⁻⁴)
Tratamento	80	36295,486	573,986	5,250
Erro Efetivo	136	21457,575	450,511	1,029
			(gl=160)	
Média		247,23	26,97	1,0676
CV (%)		59,25	78,67	14,27
σ_{g}^2		4945,96	41,15	1,407
h_a^2		0,41	0,21	0,80

TABELA 2A. Média das testemunhas para produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso específico de tubérculos nos 9 ambientes.

Ambiente	Testemunhas	Produção (g/planta)	Tubérculos Graúdos (%)	Peso específico de tubérculos
1- Lavras 1998	Achat	490	55	1,0635
	Baraka	650	83	1,0679
2- Lavras 1999 (verão)	Achat	219	0	1,0269
	Baraka	337	69	1,0333
3- Lavras 1999	Achat	462	55	1,0608
	Baraka	545	72	1,0707
4- Lavras 2000 (verão)	Achat	542	43	1,0540
	Baraka	759	55	1,0570
5-Três Corações. 2000	Baraka	2352	91	1,0600
	Monalisa	1033	56	1,0700
6-Lavras 2000	Atlantic	976	87	1,0800
	Baraka	752	54	1,0625
	Monalisa	509	40	1,0575
7- Lavras 2001	Achat	377	38	1,0570
	Atlantic	811	89	1,0770
	Monalisa	503	57	1,0600
8-S.J. da Mata 2001	Monalisa	686	63	1,0680
9- Lavras 2001/02 (verão)	Achat	154	0	1,0420
	Atlantic	192	44	1,0610
	Monalisa	230	9	1,0430

TABELA 3A. Médias obtidas para os clones na presença (ME) e ausência de estresse ambiental (MF), com os respectivos índices de seleção (IS), para porcentagem de tubérculos graúdos.

Clone	ME	MF	MA	MG	IS 1	IS 2	IS 3	IS 4	IS 5	IS 6	PR
CBM 13.19	58	84	71	70	0.69	0.36	0.55	1.16	1.23	1.06	31
CBM 15.10	46	91	68	64	0.50	0.66	0.31	0.98	0.81	1.71	50
CBM 15.25	74	82	78	78	0.91	0.09	0.92	1.43	1.94	0.31	9
CBM 16.08	52	48	50	50	1.07	-0.07	0.75	0.59	0.55	-0.25	-7
CBM 16.12	42	83	62	59	0.51	0.65	0.29	0.82	0.63	1.68	49
CBM 16.15	52	84	68	66	0.62	0.47	0.43	1.02	0.97	1.30	38
CBM 16.16	65	82	74	73	0.79	0.24	0.69	1.26	1.50	0.73	21
CBM 16.21	45	82	63	61	0.54	0.59	0.33	0.86	0.70	1.57	46
CBM 16.27	57	83	70	69	0.69	0.37	0.53	1.12	1.17	1.08	31
CBM 16.28	42	82	62	58	0.51	0.65	0.29	0.80	0.61	1.68	49
CBM 18.11	60	88	74	73	0.68	0.38	0.55	1.25	1.36	1.10	32
CBM 19.8	52	89	71	68	0.58	0.52	0.41	1.10	1.05	1.43	42
CBM 2.01	50	70	60	59	0.71	0.34	0.47	0.82	0.74	1.00	29
CBM 2.02	59	78	69	68	0.76	0.27	0.61	1.09	1.18	0.82	24
CBM 2.03	49	65	57	56	0.76	0.27	0.50	0.75	0.67	0.83	24
CBM 2.06	60	94	77	75	0.64	0.44	0.52	1.32	1.45	1.23	36
CBM 2.08	38	69	53	51	0.54	0.60	0.27	0.61	0.42	1.58	46
CBM 2.10	61	74	67	67	0.83	0.18	0.69	1.06	1.18	0.58	17
CBM 2.11	48	82	65	63	0.58	0.53	0.38	0.93	0.82	1.43	42
CBM 2.13	54	67	61	60	0.82	0.20	0.60	0.86	0.85	0.63	18
CBM 2.16	45	78	61	59	0.58	0.54	0.35	0.82	0.67	1.46	42
CBM 2.18	56	61	58	58	0.92	0.09	0.69	0.80	0.81	0.29	8
CBM 2.19	59	70	64	64	0.84	0.17	0.67	0.96	1.03	0.54	16
CBM 2.20	69	59	64	64	1.16	-0.15	1.09	0.97	1.22	-0.56	-16
CBM 2.21	74	67	70	70	1.11	-0.10	1.10	1.15	1.55	-0.37	-11
CBM 2.27	61	82	72	71	0.75	0.29	0.62	1.19	1.33	0.87	25
CBM 22.07	59	85	72	71	0.69	0.37	0.55	1.17	1.26	1.06	31
CBM 22.17	50	76	63	62	0.66	0.40	0.45	0.90	0.83	1.15	34
CBM 22.19	54	80	67	66	0.67	0.40	0.49	1.01	0.99	1.13	33
CBM 24.06	71	79	75	75	0.90	0.11	0.86	1.32	1.71	0.35	10
CBM 24.27	68	87	78	77	0.77	0.26	0.71	1.39	1.72	0.78	23
CBM 26.22	56	80	68	67	0.70	0.36	0.53	1.06	1.09	1.04	30
CBM 4.15	54	78	66	65	0.70	0.36	0.51	0.99	0.97	1.04	30
CBM 4.16	62	85	73	73	0.73	0.31	0.61	1.24	1.40	0.93	27
CBM 4.30	35	72	54	50	0.48	0.71	0.22	0.59	0.37	1.79	52
CBM 5.09	44	84	64	61	0.52	0.63	0.31	0.88	0.70	1.64	48

“...continua...”

“TABELA 3A, Cont.”

Clone	ME	MF	MA	MG	IS 1	IS 2	IS 3	IS 4	IS 5	IS 6	PR
CBM 5.26	44	59	51	51	0.73	0.31	0.43	0.61	0.48	0.91	27
CBM 6.02	57	87	72	70	0.66	0.42	0.50	1.16	1.21	1.18	34
CBM 6.17	49	87	68	65	0.56	0.56	0.37	0.99	0.88	1.50	44
CBM 6.21	43	65	54	53	0.65	0.42	0.38	0.66	0.51	1.19	35
CBM 6.25	47	52	49	49	0.92	0.09	0.58	0.57	0.49	0.29	8
CBM 6.29	65	77	71	71	0.85	0.17	0.75	1.19	1.41	0.53	15
CBM 7.04	41	67	54	53	0.62	0.47	0.35	0.65	0.49	1.30	38
CBM 7.11	49	86	67	65	0.57	0.54	0.38	0.99	0.88	1.47	43
CBM 7.12	62	82	72	72	0.76	0.27	0.64	1.21	1.38	0.83	24
CBM 7.15	73	87	80	80	0.83	0.18	0.82	1.49	1.97	0.57	17
CBM 7.17	74	83	79	79	0.90	0.11	0.90	1.45	1.97	0.36	10
CBM 7.24	46	78	62	60	0.59	0.52	0.37	0.84	0.70	1.41	41
CBM 8.03	69	90	80	79	0.76	0.27	0.71	1.47	1.84	0.82	24
CBM 8.11	62	77	70	69	0.81	0.21	0.68	1.13	1.28	0.65	19

MA: média aritmética e MG: média geométrica (%); IS: índice de seleção e PR: porcentagem de redução da característica (%).

TABELA 4A. Médias obtidas para os clones na presença (ME) e ausência de estresse ambiental (MF), com os respectivos índices de seleção (IS), para peso específico de tubérculos.

Clone	ME	MF	MA	MG	IS 1	IS 2	IS 3	IS 4	IS 5	IS 6	PR
CBM 13.19	1,0560	1,0730	1,0645	1,0645	0,984	0,016	0,962	0,991	0,984	1,46	1,58
CBM 15.10	1,0560	1,0627	1,0593	1,0593	0,994	0,006	0,972	0,982	0,975	0,58	0,63
CBM 15.25	1,0535	1,0677	1,0606	1,0606	0,987	0,013	0,963	0,984	0,975	1,23	1,33
CBM 16.07	1,0718	1,0903	1,0810	1,0810	0,983	0,017	0,976	1,022	1,030	1,57	1,70
CBM 16.08	1,0614	1,0673	1,0644	1,0644	0,994	0,006	0,978	0,991	0,989	0,51	0,55
CBM 16.12	1,0628	1,0707	1,0667	1,0667	0,993	0,007	0,977	0,995	0,995	0,68	0,73
CBM 16.15	1,0581	1,0720	1,0650	1,0650	0,987	0,013	0,967	0,992	0,987	1,20	1,30
CBM 16.16	1,0695	1,0777	1,0736	1,0736	0,992	0,008	0,983	1,008	1,014	0,70	0,76
CBM 16.21	1,0558	1,0757	1,0657	1,0657	0,982	0,019	0,960	0,994	0,986	1,71	1,85
CBM 16.27	1,0556	1,0733	1,0644	1,0644	0,983	0,017	0,961	0,991	0,984	1,53	1,66
CBM 16.28	1,0588	1,0763	1,0676	1,0675	0,984	0,016	0,965	0,997	0,993	1,50	1,63
CBM 18.11	1,0500	1,0657	1,0578	1,0578	0,985	0,015	0,958	0,979	0,967	1,36	1,47
CBM 19.08	1,0575	1,0727	1,0651	1,0651	0,986	0,014	0,966	0,992	0,987	1,31	1,41
CBM 2.01	1,0716	1,0863	1,0789	1,0789	0,986	0,014	0,979	1,018	1,026	1,26	1,36
CBM 2.02	1,0692	1,0787	1,0740	1,0739	0,991	0,009	0,982	1,009	1,015	0,81	0,87
CBM 2.03	1,0781	1,0840	1,0810	1,0810	0,995	0,006	0,993	1,022	1,036	0,51	0,55
CBM 2.06	1,0792	1,0853	1,0823	1,0823	0,994	0,006	0,994	1,025	1,040	0,52	0,56
CBM 2.08	1,0667	1,0802	1,0735	1,0734	0,988	0,013	0,976	1,008	1,011	1,15	1,24
CBM 2.10	1,0595	1,0743	1,0669	1,0669	0,986	0,014	0,968	0,996	0,992	1,28	1,38
CBM 2.11	1,0699	1,0857	1,0778	1,0778	0,986	0,015	0,977	1,016	1,022	1,34	1,45
CBM 2.13	1,0616	1,0793	1,0705	1,0704	0,984	0,017	0,967	1,002	1,001	1,52	1,64
CBM 2.16	1,0614	1,0740	1,0677	1,0677	0,988	0,012	0,971	0,997	0,995	1,08	1,17
CBM 2.18	1,0798	1,0857	1,0828	1,0827	0,995	0,005	0,995	1,026	1,041	0,50	0,54
CBM 2.19	1,0656	1,0847	1,0751	1,0751	0,982	0,018	0,969	1,011	1,013	1,63	1,76
CBM 2.20	1,0626	1,0797	1,0711	1,0711	0,984	0,016	0,969	1,004	1,003	1,46	1,58
CBM 2.21	1,0788	1,0813	1,0801	1,0801	0,998	0,002	0,997	1,021	1,035	0,22	0,23
CBM 2.27	1,0576	1,0750	1,0663	1,0663	0,984	0,016	0,964	0,995	0,989	1,49	1,62
CBM 22.07	1,0575	1,0733	1,0654	1,0654	0,985	0,015	0,965	0,993	0,987	1,36	1,48
CBM 22.17	1,0630	1,0660	1,0645	1,0645	0,997	0,003	0,982	0,991	0,991	0,26	0,28
CBM 22.19	1,0692	1,0647	1,0669	1,0669	1,004	-0,004	0,994	0,996	1,001	-0,39	-0,43
CBM 24.06	1,0612	1,0757	1,0685	1,0684	0,987	0,014	0,970	0,999	0,997	1,24	1,34
CBM 24.27	1,0558	1,0670	1,0614	1,0614	0,989	0,011	0,967	0,985	0,978	0,97	1,05
CBM 26.22	1,0613	1,0640	1,0626	1,0626	0,997	0,003	0,980	0,988	0,986	0,24	0,26
CBM 4.15	1,0666	1,0767	1,0716	1,0716	0,991	0,009	0,979	1,005	1,008	0,86	0,93
CBM 4.16	1,0594	1,0740	1,0667	1,0667	0,986	0,014	0,968	0,995	0,992	1,25	1,36
CBM 4.30	1,0765	1,0820	1,0793	1,0793	0,995	0,005	0,992	1,019	1,032	0,47	0,51

“...continua...”

“TABELA 4A, Cont.”

Clone	ME	MF	MA	MG	IS 1	IS 2	IS 3	IS 4	IS 5	IS 6	PR
CBM 5.09	1,0550	1,0727	1,0638	1,0638	0,984	0,017	0,961	0,990	0,982	1,52	1,65
CBM 5.26	1,0498	1,0740	1,0619	1,0618	0,977	0,023	0,950	0,986	0,974	2,09	2,26
CBM 6.02	1,0552	1,0717	1,0634	1,0634	0,985	0,015	0,962	0,989	0,982	1,42	1,54
CBM 6.17	1,0703	1,0890	1,0796	1,0796	0,983	0,017	0,974	1,020	1,026	1,59	1,72
CBM 6.21	1,0654	1,0860	1,0757	1,0756	0,981	0,019	0,968	1,012	1,014	1,76	1,90
CBM 6.25	1,0741	1,0783	1,0762	1,0762	0,996	0,004	0,991	1,013	1,023	0,36	0,39
CBM 6.29	1,0636	1,0663	1,0650	1,0650	0,997	0,003	0,983	0,992	0,992	0,23	0,25
CBM 7.04	1,0602	1,0727	1,0664	1,0664	0,988	0,012	0,970	0,995	0,992	1,08	1,16
CBM 7.11	1,0528	1,0667	1,0597	1,0597	0,987	0,013	0,962	0,982	0,973	1,21	1,30
CBM 7.12	1,0687	1,0767	1,0727	1,0727	0,993	0,007	0,982	1,007	1,012	0,68	0,74
CBM 7.15	1,0663	1,0670	1,0667	1,0667	0,999	0,001	0,987	0,995	0,998	0,06	0,06
CBM 7.17	1,0526	1,0583	1,0555	1,0555	0,995	0,005	0,969	0,975	0,965	0,50	0,54
CBM 7.24	1,0636	1,0807	1,0721	1,0721	0,984	0,016	0,969	1,005	1,006	1,46	1,58
CBM 8.03	1,0679	1,0707	1,0693	1,0693	0,997	0,003	0,986	1,000	1,004	0,24	0,26
CBM 8.11	1,0671	1,0713	1,0692	1,0692	0,996	0,004	0,984	1,000	1,004	0,36	0,39

MA: média aritmética e MG: média geométrica; IS: índice de seleção e PR: porcentagem de redução da característica (%).

Tabela 5A. Médias dos 5 melhores clones selecionados com base na média sob condição de estresse (CE: Lavras, safra das águas 1998, 2000 e 2002), na média de todos ambientes ambientes (CM) e na média sob condições favoráveis (CF: Lavras inverno de 2000 e 2001; Três Corações 2000) para produção de tubérculos por planta.

CE	Estresse ¹	Méd. ²	Favor. ³	CM	Estresse ¹	Méd. ²	Favor. ³	CF	Estresse ¹	Méd. ²	Favor. ³
CBM 2.21	773	864	955	CBM 22.19	684	1013	1342	CBM 15.10	455	1008	1561
CBM 24.06	725	960	1195	CBM 15.10	455	1008	1561	CBM 16.12	359	923	1486
CBM 22.19	684	1013	1342	CBM 16.16	613	997	1381	CBM 2.06	326	875	1425
CBM 15.25	674	958	1242	CBM 24.27	651	976	1301	CBM 8.03	557	970	1382
CBM 26.22	667	944	1222	CBM 7.15	584	972	1360	CBM 16.16	613	997	1381
Média	704	948	1191	Média	597	993	1389	Média	462	954	1447

¹Médias nos ambientes com estresse; ²média em todos os ambientes e ³média nos ambientes favoráveis.

Tabela 6A. Médias dos 5 melhores clones selecionados com base na média sob condição de estresse estresse (CE: Lavras, safra das águas de 1998, 2000 e 2002), na média de todos ambientes ambientes (CM) e na média sob condições favoráveis (CF: Lavras inverno de 2000 e 2001; Três Corações 2000) para porcentagem de tubérculos graúdos.

CE	Estresse ¹	Méd. ²	Favor. ³	CM	Estresse ¹	Méd. ²	Favor. ³	CF	Estresse ¹	Méd. ²	Favor. ³
CBM 15.25	74	78	82	CBM 7.15	73	80	87	CBM 2.06	60	77	94
CBM 7.17	74	79	83	CBM 8.03	69	80	90	CBM 15.10	46	68	91
CBM 2.21	74	70	67	CBM 7.17	74	79	83	CBM 8.03	69	80	90
CBM 7.15	73	80	87	CBM 15.25	74	78	82	CBM 19.8	52	71	89
CBM 24.6	71	75	79	CBM 24.27	68	78	87	CBM 18.11	60	74	88
Média	73	76	79	Média	72	79	86	Média	57	74	91

¹Médias nos ambientes com estresse; ²média em todos os ambientes e ³média nos ambientes favoráveis.

Tabela 7A. Médias dos 5 melhores clones selecionados com base na média sob condição de estresse (CE: Lavras, safra das águas de 1998, 2000 e 2002), na média de todos ambientes ambientes (CM) e na média sob condições favoráveis (CF: Lavras inverno de 2000 e 2001; Três Corações 2000) para peso específico de tubérculos.

CE	Estress	Méd.	Favor.	CM	Estress	Méd.	Favor.	CF	Estress	Méd.	Favor.
CBM 2.18	1,0798	1,0828	1,0857	CBM 2.18	1,0798	1,0828	1,0857	CBM 16.07	1,0718	1,0810	1,0903
CBM 2.06	1,0792	1,0823	1,0853	CBM 2.06	1,0792	1,0823	1,0853	CBM 6.17	1,0703	1,0796	1,0890
CBM 2.21	1,0788	1,0801	1,0813	CBM 16.07	1,0718	1,0810	1,0903	CBM 2.01	1,0716	1,0789	1,0863
CBM 2.03	1,0781	1,0810	1,0840	CBM 2.03	1,0781	1,0810	1,0840	CBM 6.21	1,0654	1,0757	1,0860
CBM 4.30	1,0765	1,0793	1,0820	CBM 2.21	1,0788	1,0801	1,0813	CBM 2.18	1,0798	1,0828	1,0857
Média	1,0785	1,0811	1,0837	Média	1,0775	1,0814	1,0853	Média	1,0718	1,0796	1,0875

¹Médias nos ambientes com estresse; ²média em todos os ambientes e ³média nos ambientes favoráveis.