

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E SELEÇÃO
CLONAL EM UM DIALELO DE BATATA
(*Solanum tuberosum* L.)**

JOÃO CÂNDIDO DE SOUZA

1999

JOÃO CÂNDIDO DE SOUZA

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E SELEÇÃO CLONAL EM UM DIALELO
DE BATATA (*Solanum tuberosum* L.)**

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

Orientador:
Prof. César Augusto Brasil Pereira Pinto

Lavras - Minas Gerais
1999

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

Souza, João Cândido de

Capacidade de combinação e seleção clonal em um dialelo de batata (*Solanum tuberosum* L.) -- Lavras : UFLA, 1999.

86 p. : il.

Orientador: César Augusto Brasil Pereira Pinto.

Tese (Doutorado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Batata. 2. Dialelo. 3. BLUP. 4. Capacidade de combinação. 5. Seleção clonal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título

CDD-635.213

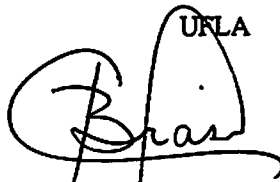
JOÃO CÂNDIDO DE SOUZA

**CAPACIDADE DE COMBINAÇÃO E SELEÇÃO CLONAL EM UM DIALELO
DE BATATA (*Solanum tuberosum* L.)**

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

APROVADA EM 06 DE AGOSTO DE 1999

Prof. Dr. Wilson Roberto Maluf	UFLA
Prof. Dr. João Bosco dos Santos	UFLA
Prof. Júlio Sílvio de Souza Bueno Filho	UFLA
Prof ^a Elaine Aparecida de Souza	UFLA



Prof. Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto
(Orientador)

LAVRAS -
MINAS GERAIS - BRASIL

Aos familiares e amigos,

Em especial Olinda e Cláudia

OFEREÇO

Aos meus pais Altamiro e Elagne,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus pela VIDA.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) pela oportunidade de realizar o curso.

À Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG) pela liberação do campo experimental de Maria da Fé para condução do ensaio.

Ao Prof. Dr. César Augusto Brasil Pereira Pinto pela orientação, incentivo, ensinamentos transmitidos e sobretudo pela amizade.

Aos professores doutores Wilson Roberto Maluf, João Bosco dos Santos, Júlio Sílvio de Souza Bueno Filho e Elaine Aparecida de Souza pela participação na banca e sugestões valiosas.

Ao professor doutor Magno Antonio Patto Ramalho pelos ensinamentos transmitidos e exemplo de dedicação ao trabalho.

Aos professores e funcionários do Departamento de Biologia, pelos ensinamentos, colaboração e amizade, em especial o funcionário de campo Raimundo.

Aos estudantes de graduação e pós-graduação do Departamento de Biologia/Genética, que sempre se dispuseram a colaborar em todas as etapas deste trabalho. Em especial aos companheiros da "batata" Pedro Nurmberg, Eduardo Lambert, Cícero Menezes (Ceará), Izabela, Alexandre e Ricardo, pela nossa amizade dentro e fora da universidade.

BIOGRAFIA

João Cândido de Souza, filho de Altamiro de Souza e Elagne Carvalho de Souza, nasceu em 13 de agosto de 1968 em Lavras, Estado de Minas Gerais.

Em agosto de 1992, diplomou-se em Engenharia Agrônômica pela Escola Superior de Agricultura de Lavras.

Em agosto de 1992 iniciou o curso de Mestrado em Agronomia/Fitotecnia na Escola Superior de Agricultura de Lavras, concluindo-o em fevereiro de 1995.

Em março de 1995 iniciou o curso de Doutorado em Agronomia/Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal de Lavras, concluindo-o em agosto de 1999.

Em dezembro de 1997 ingressou como Professor Assistente do Departamento de Biologia da Universidade Federal de Lavras.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	i
ABSTRACT	iii
1. INTRODUÇÃO	01
2. REFERENCIAL TEÓRICO	03
2.1. A batata no Brasil	03
2.2. Considerações gerais sobre melhoramento genético de batata	05
2.3. Seleção clonal para o Brasil	06
2.4. Efeito de temperatura e água na produção e qualidade da batata	08
2.5. Cruzamentos dialélicos	10
2.6. Modelo genético para autotetraplóide	15
2.7. Capacidade de combinação e exploração da heterose em batata	18
2.8. Seleção de clones para múltiplas características	23
2.9. Emprego de modelos mistos no melhoramento de batata	27
3. MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1. Material	33
3.2. Condução dos experimentos	34
3.2.1. Ensaio de Maria da Fé	35
3.2.2. Ensaio de Lavras	35
3.3. Características avaliadas	36
3.4. Metodologias Estatísticas	37
3.4.1. Análise de Variância	37
3.4.2. Análise dialélica	38
3.4.3. Estimativas de parâmetros genéticos e estatísticos	40
3.4.4. Seleção para múltiplas características	42
3.4.5. Estimativa da eficiência de seleção	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1. Análise de variância e dialélica	44
4.1.1. Ensaio de Maria da Fé	44
4.1.2. Ensaio de Lavras	50
4.2. Seleção de múltiplas características	54
4.3. Interação genótipos x ambientes	60
4.4. Melhor preditor linear não tendencioso	61
5. CONCLUSÕES	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

RESUMO

SOUZA, J. C. de. **Capacidade de combinação e seleção de clonal em um dialelo de batata (*Solanum tuberosum* L.).** Lavras: UFLA, 1999. 83p. (Tese - Doutorado em Agronomia, Genética e Melhoramento de Plantas)¹

Três cultivares nacionais de batata, com boa adaptação e resistência a doenças, foram cruzadas com três cultivares introduzidas, de boas características culinárias e produção, em esquema dialélico completo. Os ensaios foram instalados em Maria da Fé - MG e Lavras - MG, no delineamento de blocos casualizados e blocos aumentados, respectivamente. O ensaio de Maria da Fé constou de 14 tratamentos, sendo três cultivares autofecundadas, 11 populações híbridas e duas testemunhas Achat e Monalisa. No ensaio de Lavras, foram avaliados 249 clones mais as testemunhas Achat e Monalisa. Nesse ensaio, foram usadas duas metodologias de análise dialélica: método dos quadrados mínimos (MQM) e melhor preditor linear não tendencioso (BLUP). Foram utilizados tubérculos de terceira geração clonal para o ensaio de Maria da Fé e de quarta geração para o ensaio de Lavras. As variáveis analisadas em ambos locais foram: produção total de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos (diâmetro transversal >45mm), peso médio de tubérculos, densidade relativa de tubérculos. Pelos resultados das análises individuais, a capacidade geral de combinação (CGC) foi a causa de variação predominante entre famílias para produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso médio de tubérculos. A capacidade específica de combinação (CEC) foi a causa predominante entre as famílias para densidade relativa de tubérculos. As cultivares Baraka, Chiquita e Monalisa se destacaram pela estabilidade da CGC para caracteres de produção e as cultivares Atlantic e novamente Chiquita se destacaram pelas CGC para o caráter densidade relativa de tubérculos.

¹ Orientador: César Augusto Brasil Pereira Pinto - UFLA

As hibridações mais promissoras em gerar clones superiores foram Baraka x Chiquita, contribuindo com 22% dos clones selecionados, e Apuã x Atlantic, contribuindo com 16%. O emprego do índice de seleção possibilitou uma melhor distribuição percentual dos ganhos para os caracteres sob seleção, mostrando o potencial de seu uso em programas de melhoramento de batata. O BLUP forneceu estimativas das CGC semelhantes as do MQM.

ABSTRACT

SOUZA, J. C. de **Combining ability and clonal selection of a potato diallel (*Solanum tuberosum* L.)**. Lavras: UFLA, 1999. 83p. (Thesis - Doctor in Genetics and Plant Breeding)¹

Three national cultivars of potato, with a good adaptation and resistance to diseases were crossed with three introduced cultivars, with good cooking characteristics and yield, in a incomplete diallelic scheme. The trials were set up at Maria da Fé - MG and Lavras - MG, in the randomized block and increased block design, respectively. The trial at Maria da Fé consisted of 14 treatments, three being self-fertilized cultivars, eleven hybrid populations and two checks Achat and Monalisa. In the trial of Lavras were evaluated 249 clones more the checks Achat and Monalisa. In that trial were used two methodologies of diallelic analysis : least squares method (LSM) and best unbiased linear predictor (BLUP). Two tubers of third clonal generation were utilized for Maria da Fé trial and of four generations for Lavras trial. The variables analyzed in both sites were total tuber yield per plant (g), percentage of large tubers (transversal diameter > 45mm), average weight of tubers, relative tuber density . From the results of the individual analyses, the general combining capacity of tubers per plant (GCC) was the predominant cause of variation among families for tuber yield per plant, percentage of large tubers and average weight of tubers. The specific combining capacity (SCC) was the predominant cause among the families for relative density of tubers. The cultivars Baraka, Chiquita and Monalisa stood out for the stability of the GCC for yield characters and the cultivars Atlantic and again Chiquita stood out for the GCC for the relative tuber density character. The most promising hibridizations in generating superior clones were Baraka x Chiquita, contributing 22% of the clones selected and Apuã x Atlantic, contributing 16%. Use of the selection index enabled an improved percent distribution of the gains for the characters under selection, showing the potential of its use in potato breeding programs. BLUP furnished estimates of the GCCs similar to those of the LSM.

¹Advisor: César Augusto Brasil Pereira Pinto - UFLA

1. INTRODUÇÃO

A bataticultura brasileira está assentada basicamente no uso de cultivares importadas. Esses materiais importados nem sempre expressam o seu potencial produtivo sob condições brasileiras, seja por problemas edafoclimáticos, seja por problemas fitossanitários e outros. Torna-se, assim, evidente a necessidade de trabalhos de melhoramento para a obtenção de novas cultivares adaptadas às condições brasileiras.

Os programas de melhoramento de batata normalmente se iniciam a partir do cruzamento de duas cultivares ou clones heterozigotos. Como a liberação da variabilidade ocorre uma única vez, é necessário que a população segregante seja bastante numerosa a fim de aumentar a probabilidade de obter clones superiores (Maris, 1988). Contudo, a obtenção de grandes quantidades de sementes híbridas é trabalhosa e dificultada pela elevada queda de botões florais e baixo pegamento de frutos. Apesar desses entraves, as sementes híbridas produzidas apresentam grande potencial para a seleção de clones melhorados, pela possibilidade de se combinar parentais com características complementares e obter clones com maior heterozigose (Momenté, 1994).

Todavia, diante do grande número de materiais disponíveis, a escolha dos pais para um programa de melhoramento é frequentemente um problema para os melhoristas (Ramalho, 1989). O cruzamento dialélico é uma técnica que auxilia na escolha de genitores com base nos valores genéticos de cada material e principalmente na capacidade de se combinarem em populações híbridas promissoras para a seleção, redundando em uma maior eficiência do programa de melhoramento (Vencovsky e Barriga, 1992). Mas para usar essa técnica, ainda assim é necessário escolher os indivíduos que serão cruzados entre si. Normalmente, os melhoristas de batata procuram cruzar indivíduos não

aparentados que se complementem bem para as características de interesse agrônômico.

Os objetivos desse trabalho foram: i) avaliar famílias provenientes de um cruzamento dialélico envolvendo parentais com características agrônômicas desejáveis; ii) selecionar os melhores clones dessas famílias, dando continuidade ao programa de melhoramento de batata da Universidade Federal de Lavras; iii) comparar os resultados do dialelo considerando duas formas de análise: uma pelo método dos quadrados mínimos, considerando modelo fixo, e outra pelo método do melhor preditor linear não tendencioso (BLUP), considerando modelo aleatório.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. A batata no Brasil

A batata é uma das principais hortaliças em importância econômica no Brasil, respondendo por cerca de 30% da área destinada ao cultivo e produção de hortaliças (Anuário ... 1999). As estatísticas mostram que na década de 70 foi cultivada uma área de 197 mil hectares, com produtividade de 9 t/há, e na década de 80 caiu para 167 mil hectares, com produtividade de 12 t/ha. Esses dados evidenciam que a contribuição da produtividade para o aumento da produção nacional foi de 65% na década de 70 e 75% na década de 80, sendo o aumento médio das duas décadas de 70% (Camargo Filho et al. 1993). Nos últimos anos, a produtividade média foi de 14 t/ha (Anuário ... 1999), o que é muito inferior se comparada às produtividades de países como Estados Unidos, Reino Unido e Países Baixos. Isso se deve não apenas ao nível tecnológico empregado na bataticultura nacional, mas em função de diversas razões, sendo a principal o clima. Numa menor porcentagem, há exploração conduzida em nível empresarial com grandes áreas cultivadas e elevadas produtividades, entretanto a maior parte da batata produzida no país é oriunda de pequenos cultivos, caracterizados pela baixa utilização de insumos agrícolas, dependência das condições climáticas e, geralmente, de batata semente de baixa qualidade, obtendo, assim, baixas produtividades.

Os principais estados produtores são: Minas Gerais com 37,3%, Paraná com 23,5%, São Paulo com 15,7% e Rio Grande do Sul com 15,8% da produção nacional (Anuário ... 1999). A produção de batata no Brasil é feita em sucessão de safras, permitindo o abastecimento do mercado durante todo o ano. A maior safra tem ocorrido nos meses de dezembro a março com a chamada “safra das águas”, representando cerca de 51% do total produzido. Em seguida, tem-se a

“safra da seca”, que ocorre nos meses de abril a julho com 26% da produção e a “safra de inverno”, de agosto a outubro com 23% da produção nacional (Resende, Mascarenhas e Paiva, 1999).

O cultivo de batata no país, embora bastante expressivo, enfrenta uma série de dificuldades. Dentre elas, a frequente utilização de cultivares importadas pouco adaptadas aos sistemas de produção nacional, ocupando cerca de 70% da área cultivada (Buso, 1990). Essas cultivares, por sua vez, quando utilizadas no Brasil, mostram-se extremamente sensíveis a um ou vários patógenos entre eles fungos, bactérias ou vírus, e também aos danos causados por nematóides e insetos, necessitando, desta forma, de intenso controle fitossanitário, o que onera significativamente o custo final de produção. Contudo, isso é de se esperar uma vez que esses materiais foram desenvolvidos para produzirem em condições de climas temperados. Além do mais, a maciça utilização de cultivares importadas pode redundar em pagamentos de "royalties". Portanto, a falta de cultivares nacionais capazes de competir com as importadas pode se constituir numa situação grave.

Apesar desse contexto, ainda não são muitos os programas de melhoramento genético visando a obtenção de novas cultivares de batata com resistência a doenças e pragas e adaptadas às condições edafoclimáticas brasileiras. Até recentemente, os programas brasileiros liberaram muitas cultivares, porém poucas têm sido utilizadas pelos produtores. Como já comentado, as cultivares de origem estrangeira ainda são as mais plantadas, principalmente pela excelente qualidade comercial do tubérculo, associada à facilidade de aquisição de batata semente.

2.2. Considerações gerais sobre o melhoramento genético de batata

Uma cultivar de batata é representada por um conjunto de indivíduos geneticamente idênticos que se originam da propagação assexual de uma planta altamente heterozigota (Mackay, 1987). Assim, a batata cultivada autotetraplóide ($2n=4x=48$ cromossomos), quando se reproduz sexuadamente, gera uma progênie que segrega amplamente para várias características (Golmirzaie, Ortiz e Serquén, 1990).

Os programas de melhoramento de batata normalmente se iniciam do cruzamento de duas cultivares ou clones heterozigotos. Como a liberação de variabilidade ocorre uma única vez, é necessário que a população segregante seja bastante numerosa a fim de aumentar a probabilidade de obter clones superiores (Maris 1988). Em países de clima temperado, tem sido estimado que, para o lançamento de uma cultivar é necessário a avaliação de 100 a 200 mil novos clones (Mackay, 1987).

Para melhor esclarecimento de como ocorre o processo de seleção clonal, é conveniente apresentar alguns termos que têm sido empregados no melhoramento genético da batata. As plântulas oriundas de sementes botânicas produzem tubérculos denominados de geração S de "seedling" ou geração plântula. Cada plântula representa um clone, ou seja, uma cultivar em potencial. Os tubérculos dessas plântulas são plantados em parcelas individualizadas que posteriormente produzem tubérculos denominados de primeira geração clonal (C-1) e assim sucessivamente (C-2, C-3, C-4, ...).

Para caracteres influenciados pelo ambiente, diversos trabalhos têm mostrado a baixa eficiência da seleção na geração S e nas primeiras gerações clonais (Brown, et al. 1984; Pinto, Valverde e Rossi, 1994). Alguns autores (Maris, 1988; Schaalje, Lynch e Kozub, 1987) sugerem que nas etapas iniciais proceda-se apenas uma seleção negativa contra caracteres indesejáveis de alta

herdabilidade, isto é, eliminando somente os genótipos indesejáveis. Desse modo, fica claro a necessidade de avançar até a 2ª ou 3ª geração clonal para se realizar com eficiência a seleção de clones superiores para caracteres mais influenciados pelo ambiente.

Mesmo nessas gerações, é pequena a disponibilidade de tubérculos-sementes para compor tamanhos ideais de parcelas e números de repetições, além da necessidade de avaliação de um número muito elevado de clones. Nesse aspecto, tem sido proposto, para batata, o emprego do delineamento de blocos aumentados (Bearzoti, 1994) com parcelas de cinco plantas por clone (Bearzoti e Pinto, 1995), visando tornar o processo seletivo mais eficiente nessas etapas. Sem dúvidas, esse delineamento confere grande flexibilidade de planejamento e condução de ensaios. Entretanto, ao contrário do que ocorre para outros tipos de delineamentos em blocos incompletos, como os látices, ainda não foi possível recuperar a informação interblocos na análise original sugerida por Federer (1956), a menos que se tome os efeitos de blocos como aleatórios. Visando solucionar parte desse problema, Ferreira, citado por Barbosa (1996), derivou a expressão para estimar o erro efetivo após a análise intrablocos.

2.3. Seleção clonal para o Brasil

Os programas nacionais de melhoramento de batata têm como objetivo solucionar problemas agrônômicos e comerciais visando principalmente a obtenção de clones produtivos e resistentes a doenças viróticas, fúngicas e bacterianas (Buso et al., 1990; Brune, Melo e Lima, 1994), ao passo que em países de clima temperado, além dessas características, aquelas associadas ao processamento recebem muita ênfase, visto a importância das mesmas para o sucesso comercial de uma cultivar (De Jong e Burns, 1993).

A industrialização de batata no Brasil é uma atividade bastante recente, ainda emergente, mas que tem evoluído consideravelmente nos últimos anos (Popp, 1994). Da produção nacional de batata, 98% têm sido comercializada “in natura”, sendo consumida na forma de fritas através de fatias finas (chips) ou palitos (french fries). Clones com boa qualidade de fritura devem possuir alto teor de matéria seca (acima de 19,5%) e baixo teor de açúcares redutores (abaixo de 0,10%) levando, respectivamente, à menor absorção de óleo durante o processo de fritura e coloração amarelo claro (Gould, 1988).

Além de níveis elevados de matéria seca dos tubérculos, outros fatores são também importantes e determinantes para o sucesso de uma cultivar para consumo “in natura” no Brasil: a) cor da polpa amarela não muito intensa; b) película amarela, lisa e brilhante, exceto para o estado do Rio Grande do Sul onde predomina o cultivo da 'Baronesa', que possui película rosada; c) tamanho de tubérculos superior a 33mm de diâmetro transversal; d) elevado percentual de tubérculos comerciáveis; e) formato alongado cheio; f) olhos (gemas) dos tubérculos rasos e g) resistência a viroses.

Por ser o Brasil um país tropical, o desenvolvimento de cultivares resistentes ao calor é de fundamental importância para a bataticultura nacional, tanto para a expansão da área cultivada quanto para o aumento da produtividade.

Os trabalhos com melhoramento genético da batata nas condições brasileiras têm sido insuficientes para a produção de novas cultivares mais adaptadas, produtivas (Pinto et al., 1994) e com boas qualidades culinárias. Em ampla revisão da situação do melhoramento da batata no Brasil, Momenté (1994) concluiu que desde a realização dos primeiros trabalhos com melhoramento até os dias atuais, o número de cruzamentos realizados e de clones avaliados foram relativamente pequenos, e como consequência o número de cultivares nacionais colocados à disposição dos produtores foi bastante limitado.

Em vista dessa situação, verifica-se ainda que a existência de uma grande diversidade de ambientes ou regiões produtoras de batata no país leva à necessidade de maior número de instituições envolvidas em programas de melhoramento. Nesse contexto, é importante ressaltar que o sucesso da tais programas é diretamente proporcional à capacidade de avaliação experimental de um maior número de genótipos diferentes.

Outra informação relevante na literatura que diz respeito ao melhoramento da batata é que a maioria das cultivares lançadas entre 1970 e 1985 na Europa foram provenientes do cruzamento entre um clone melhorado e uma cultivar (Dellaert e Swiezynski, 1989). Esses resultados sugerem que mesmo aqueles clones gerados nos programas nacionais e que não apresentam caracteres desejáveis para serem lançados como novas cultivares poderiam ser empregados como parentais em futuros cruzamentos, uma vez que possuem elevado potencial produtivo (Pinto et al., 1994).

2.4. Efeitos de temperatura e água na produção e qualidade da batata

A temperatura, a disponibilidade de água e o uso de fertilizantes químicos são os principais fatores relacionados com o crescimento e desenvolvimento das plantas, afetando, além da produção, a aparência e qualidade dos tubérculos. De modo geral, altas temperaturas estimulam o desenvolvimento das plantas, acarretando redução na produção de tubérculos, número de tubérculos por planta e conteúdo de matéria seca (Prange et al., 1990). A flutuação nas temperaturas diurna e noturna propiciam melhores produções que temperaturas constantes principalmente quando as temperaturas noturnas são bem mais baixas que as diurnas (Ewing, 1981).

O estresse hídrico também reduz a produção devido à redução da área foliar e/ou à redução da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar (Van Loon, 1981). A disponibilidade ou escassez de água afeta a cultura em maior ou menor escala, dependendo do estágio de desenvolvimento em que ela se encontra. Assim, a redução na produção causada por escassez de água durante o período de tuberação é bem maior que aquela causada em outros estágios de desenvolvimento (Bezerra, 1995).

A interação entre esses dois fatores ambientais é de extrema importância com relação à aparência e qualidade dos tubérculos. Ambos os fatores são responsáveis pelas principais desordens fisiológicas que afetam a cultura, como, coração oco, mancha chocolate, crescimento secundário ou embonecamento e rachadura dos tubérculos (Rex e Mazza, 1989).

Em adição aos fatores climáticos, deve-se ressaltar também o efeito das viroses na cultura da batata. A qualidade sanitária da batata-semente é essencial para o rendimento da cultura, pois, sendo uma planta de propagação vegetativa, torna-se um verdadeiro acumulador e disseminador de moléstias bacterianas, fúngicas e principalmente viróticas através de seus tubérculos (Buso et al., 1990). Essas doenças causam o fenômeno designado degenerescência. Nesse aspecto, é importante traçar um paralelo com os programas de melhoramento, visto que o acúmulo contínuo de doenças pode mascarar o potencial genotípico de um clone, como também descaracterizar a superioridade de determinado clone em relação a outro simplesmente pelo fato de poderem ser avaliados empregando-se, ora para um, ora para outro, tubérculos de diferentes gerações clonais.

2.5. Cruzamentos dialélicos

A escolha da população para início de um programa de melhoramento é uma etapa crucial para os melhoristas. O sucesso de um programa depende de se escolher populações potencialmente capazes de gerarem genótipos superiores. Dentre os métodos propostos, destaca-se o de cruzamentos dialélicos.

Entende-se por cruzamentos dialélicos o intercruzamento de p materiais, dois a dois, produzindo p^2 combinações possíveis, correspondentes aos: a) p genitores; b) um grupo de $\frac{1}{2} p(p-1)$ híbridos simples e $\frac{1}{2} p(p-1)$ recíprocos dos híbridos simples. Por sua vez, essas combinações podem ser reunidas em uma tabela $p \times p$, designada de tabela dialélica (Bulmer, 1980).

A obtenção da tabela dialélica completa não é o único esquema de cruzamento utilizado. Variações desse esquema foram introduzidas como a utilização dos cruzamentos e seus recíprocos excluindo os genitores; o emprego de genitores e seus cruzamentos excluindo-se os recíprocos; e também a utilização apenas dos cruzamentos excluindo-se os genitores e os recíprocos.

Outro esquema de cruzamento, conhecido como dialelo parcial, corresponde ao intercruzamento de dois grupos com I e J genitores (Miranda Filho e Geraldi, 1984). Experimentalmente, são avaliados, além das $I \times J$ combinações híbridas, também os dois grupos de genitores. Dessa forma, permite-se utilizar um maior número de genitores e, em consequência, há uma sensível melhoria na eficiência desse método para se fazer estimativas, pois pode-se comparar um maior número de cruzamentos com menor número de materiais no campo. Além disso, será necessário um menor número de cruzamentos em comparação com o dialelo completo, bem como a possibilidade do melhorista escolher os cruzamentos de maior interesse (Ramalho, 1989).

O emprego de cruzamentos dialélicos teve sua origem depois que Sprague e Tatum (1942) estabeleceram os conceitos de capacidade geral (CGC)

e capacidade específica de combinação (CEC). Yates (1947) foi o primeiro a apresentar um esquema para análise de variância de tabelas dialélicas, surgindo posteriormente várias metodologias (Jinks e Hayman, 1953; Griffing, 1956a , 1956b; Gardner, 1965; Gardner e Eberhart, 1966; Geraldi e Miranda Filho, 1988, Ferreira, Rezende e Ramalho, 1993).

Para a análise dos dados experimentais, o emprego desses métodos normalmente se baseia nas médias de repetições. Antes, porém, de se realizar a análise empregando um modelo dialélico, os dados experimentais são submetidos a uma análise de variância. Assim, o erro experimental corresponde ao quadrado médio do erro da análise de variância dividido pelo número de observações utilizado para obter as médias das tabelas dialélicas (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993).

Frente as diversas metodologias disponíveis para análise dialélica, os modelos propostos por Griffing (1956a e 1956b) têm sido amplamente empregados para avaliar basicamente as capacidades geral e específica de combinação. O autor considera quatro diferentes métodos experimentais de análise dialélica além de duas suposições alternativas com relação à amostragem do material experimental utilizado:

- a) Método 1 - são avaliadas as p^2 combinações da tabela dialélica e inclui os genitores, os cruzamentos entre esses genitores e seus recíprocos;
- b) Método 2 - são avaliadas as $p(p+1)/2$ combinações da tabela dialélica correspondentes aos genitores e seus cruzamentos, excluindo-se os cruzamentos recíprocos;
- c) Método 3 - são avaliadas as $p(p-1)$ combinações da tabela dialélica, que correspondem aos cruzamentos e os recíprocos, excluindo os genitores;
- d) Método 4 - são avaliadas as $p(p-1)/2$ combinações da tabela dialélica correspondentes aos cruzamentos dos p genitores.

Segundo Ramalho (1989), a inclusão dos cruzamentos recíprocos é feita com intuito de determinar se as causas de variação são devidas a genes extracromossômicos. Assim, quando se avalia um cruzamento e também seu recíproco, as diferenças genéticas observadas são atribuídas às constituições genéticas do citoplasma do parental feminino de cada cruzamento.

No que se refere à amostragem, Griffing (1956b) considera também que o efeito de genótipos pode ser fixo ou aleatório. Quando fixo, os clones ou cultivares genitores são deliberadamente escolhidos e não podem ser considerados como uma amostra ao acaso da população. O material experimental constitui a totalidade da população a respeito da qual podem ser feitas conclusões válidas. No modelo aleatório, os clones ou cultivares genitores são considerados como uma amostra da população, e as conclusões não são feitas sobre os genitores, mas sim sobre parâmetros da população. O maior interesse é estimar os componentes genéticos e ambientais da variância da população, e para tanto deve-se supor que os efeitos do modelo (exceto a média) têm distribuição normal e são independentes com média zero e variância comum. Griffing (1956b) considera ainda a existência dos modelos mistos em relação aos efeitos de genótipos e blocos. A suposição de que os efeitos de cultivares são aleatórios e os de blocos são constantes conduz ao modelo misto A. O modelo misto B é configurado pela suposição de que os efeitos de cultivares são fixos e os de blocos são aleatórios.

Os aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos têm sido discutidos por Vencovsky (1970). O autor associou várias metodologias aos tipos de materiais experimentais utilizados. Dessa forma, os trabalhos de Griffing (1956a e 1956 b) e Kempthorne e Curnow (1961) preocupam-se principalmente com análises de linhagens autofecundadas ou plantas que se autofecundam, sem dispensar maior atenção a cruzamentos envolvendo populações e cultivares. Os métodos de análise desenvolvidos por Gardner

(1965) e Gardner e Eberhart (1966) preencheram esta lacuna, devido ao aumento da importância dos cruzamentos intervarietais em milho. O modelo permite decompor o efeito da heterose em heterose média, heterose de genitores e heterose específica. Segundo Vencovsky (1970), os métodos de Griffing (1956b) podem ser aplicados a cruzamentos dialélicos envolvendo populações, ainda que os métodos propostos por Gardner e Eberhart (1966) sejam superiores aos demais quando se inter cruzam variedades de polinização livre.

Posteriormente, a metodologia de Gardner e Eberhart (1966) foi adaptada a situações onde dois grupos distintos de genitores são inter cruzados (Miranda Filho e Geraldi, 1984) e avaliados em vários ambientes (Oliveira et al. 1987). Baseados nos conceitos de Sprague e Tatum (1942) e no método II e IV de Griffing (1956b), Geraldi e Miranda Filho (1988) desenvolveram dois outros modelos para análise dialélica parcial incluindo os pais. Mais recentemente, metodologias para análise dialélica repetida em vários ambientes foram ampliadas por Morais et al. (1991) e Ferreira, Rezende e Ramalho (1993), considerando, respectivamente, a análise dialélica completa de Gardner e Eberhart (1966) e o método IV de Griffing (1956b).

Conforme sugeriram Sprague e Tatum (1942), a capacidade combinatória pode ser definida como o desempenho de uma cultivar ou clone em combinação com outros cultivares ou clones. A CGC refere-se ao desempenho médio de uma cultivar ou clone em combinação híbrida e a CEC é usada para designar aqueles casos em que certas combinações híbridas são melhores ou piores do que o esperado com base no desempenho médio das cultivares ou clones envolvidos.

A capacidade combinatória é diferenciada considerando o modo de ação gênica envolvida (Sprague e Tatum, 1942 e Griffing, 1956b). Assim, a CGC está associada a genes de efeitos principalmente aditivos, além da parte dos efeitos dominantes e epistáticos. Portanto, quando o efeito dos locos é apenas aditivo, a

variância genética total é a soma das variâncias genotípicas separadas para cada loco. Por outro lado, a CEC depende basicamente de genes com efeitos dominantes e vários tipos de interações. Em batata, a interpretação do tipo de ação gênica predominante é a mesma, apesar de ser autotetraplóide e englobar outros efeitos, tais como trialélico, quadrialélico e outras interações epistáticas. Segundo Kempthorne (1957), citado por Tai (1976), há predominância da ação gênica aditiva se a taxa de variância entre CGC/CEC for relativamente alta, enquanto uma taxa baixa indica a importância das interações gênicas. De modo semelhante, Maris (1989) sugere empregar uma relação entre as variâncias, devido à capacidade geral ($\hat{\sigma}^2_{CGC}$) e específica ($\hat{\sigma}^2_{CEC}$) da seguinte forma: $\hat{\sigma}^2_{CGC} / (\hat{\sigma}^2_{CGC} + \hat{\sigma}^2_{CEC})$. Se essa relação for maior do que 0.5, indica que $\hat{\sigma}^2_{CGC}$ é mais importante do que a $\hat{\sigma}^2_{CEC}$ na herança do caráter considerado, se a taxa é menor do que 0.5, a $\hat{\sigma}^2_{CEC}$ prevalece.

Segundo Vencovsky (1970), uma baixa estimativa dos efeitos da CGC (g_i), positiva ou negativa, indica que o valor da CGC da cultivar parental não difere muito da média geral da população dialélica. Quando os valores estimados de g_i são altos, positivos ou negativos, há indício de que o parental em questão é muito superior ou inferior aos demais genitores do dialelo com relação ao desempenho médio dos cruzamentos. Ademais, esses valores são uma indicação de que os genes têm efeitos predominantemente aditivos. Assim, complementa o autor, para o aproveitamento em programas de melhoramento, são mais indicados, para constituírem as novas populações, os genitores com as mais altas CGC, favorecendo a seleção de genótipos superiores. Por outro lado, o efeito da CEC (s_{ij}) é interpretado como sendo o desvio de um híbrido em relação ao que seria esperado com base na CGC de seus genitores. Baixos valores absolutos de s_{ij} indicam que a performance de um cruzamento foi semelhante ao que era esperado baseado na CGC dos genitores, ao passo que altos valores absolutos de

s_{ij} demonstram que o comportamento de um cruzamento particular é relativamente melhor ou pior do que era esperado com base na CGC dos genitores. As estimativas de s_{ij} expressam a importância dos genes que exibem efeitos de dominância ou epistasia (Griffing, 1956b).

2.6. Modelo genético para autotetraplóides

Caracteres quantitativos são aqueles controlados por vários genes e/ou muito influenciados pelo ambiente. Devido à presença de um ou ambos os fatores, esses caracteres normalmente apresentam variação contínua. Para o melhorista, é fundamental conhecer quanto da variação existente é devida a causas genéticas e de ambiente, pois isso permitirá prever o resultado da seleção e também optar com maior segurança pelo método de melhoramento mais adequado (Ramalho, Santos e Zimmermann, 1993). Nesse contexto, verifica-se a importância da metodologia de covariância entre parentes (Souza Júnior, 1989), a qual permite conhecer a estrutura genética das populações através de estimativas dos componentes da variância genética, e estimar parâmetros relacionados com os processos seletivos de características poligênicas, tais como produção de plantas e seus componentes.

Entre os diferentes métodos utilizados para estimar os componentes de variância, destaca-se o de cruzamentos dialélicos. Esse método tem sido bastante empregado para espécies autotetraplóides (Maris, 1989; Neele, 1990; Pika e Boiko, 1991; Tung, 1992) sem nenhum inconveniente, pois, de acordo com Levings III e Dudley (1963), as covariâncias entre parentes que expressam quantidades diferentes dos componentes de variância genética são as mesmas, independentemente do nível de ploidia. Entretanto, algumas considerações

intrínsecas às populações autotetraplóides têm sido feitas (Kempthorne, 1955). O autor particionou a variância genética conforme o seguinte modelo:

$$\hat{\sigma}_G^2 = \hat{\sigma}_A^2 + \hat{\sigma}_D^2 + \hat{\sigma}_T^2 + \hat{\sigma}_F^2 + \hat{\sigma}_{AA}^2 + \hat{\sigma}_{AD}^2 + \hat{\sigma}_{AT}^2 + \hat{\sigma}_{AF}^2 + \hat{\sigma}_{DD}^2 + \text{etc.}$$

em que, $\hat{\sigma}_A^2$ é a variância aditiva, $\hat{\sigma}_D^2$, $\hat{\sigma}_T^2$ e $\hat{\sigma}_F^2$ são as variâncias devido aos efeitos bialélicos, trialélicos e quadrialélicos, respectivamente, $\hat{\sigma}_{AA}^2$, $\hat{\sigma}_{AD}^2$, $\hat{\sigma}_{AT}^2$, $\hat{\sigma}_{AF}^2$, $\hat{\sigma}_{DD}^2$, etc são as variâncias devido às interações epistáticas. Os termos bilélicos, trialélicos e quadrialélicos referem-se às interações entre dois, três e quatro alelos, respectivamente. As variâncias aditivas e bialélicas dos autotetraplóides são análogas às variâncias aditivas e de dominância dos diplóides. Por outro lado, não há nenhuma correspondência nos diplóides com relação aos efeitos trialélicos e quadrialélicos. Em relação à autotetraploidia, o termo dominância inclui os efeitos bialélicos, trialélicos e quadrialélicos, portanto abrangendo todo os efeitos que surgem a partir das interações entre alelos. Os coeficientes dos componentes de variância genética, expressos em função da covariância entre parentes e variâncias devido à capacidade geral e específica de combinação, estão apresentados na Quadro 1. É importante ressaltar que o modelo genético proposto supõe pais não endógamos, ausência de efeito materno, equilíbrio de ligação, ausência de redução dupla ($\alpha=0$) e pais escolhidos aleatoriamente (Kempthorne, 1955).

Outras informações a respeito do conteúdo do Quadro 1 podem ser obtidas no artigo de Levings III e Dudley (1963). É oportuno destacar as diferenças entre os componentes de variâncias estimados para espécies diplóides e autotetraplóides. Nota-se, pelo Quadro 1, que não é possível isolar o componente de variância aditiva para organismos autotetraplóides e, como consequência, não é possível estimar a herdabilidade no sentido restrito. Entretanto, se a ação gênica em todos os locos for estritamente aditiva, então as variâncias bialélicas, trialélicas e quadrialélicas poderão ser desprezadas, e a

covariância entre parentes será somente em função da variância aditiva, que será estimada por $4x\hat{\sigma}_{CGC}^2$, conforme relatado por Thompson, Mendoza e Plaisted (1983).

QUADRO 1. Coeficientes dos componentes de variância genética assumindo herança dissômica e tetrassômica expressos em função da covariância entre famílias de meios irmãos ($C\hat{ov}_{MI}$), irmãos germanos ($C\hat{ov}_{IG}$), pais e filhos ($C\hat{ov}_{PF}$) e variâncias devido a capacidade geral de combinação ($\hat{\sigma}_{CGC}^2$) e capacidade específica de combinação ($\hat{\sigma}_{CEC}^2$), (Kempthorne, 1955).

Covariância e variância genética	Níveis de ploidia	Coeficientes dos componentes de variância genética						
		$\hat{\sigma}_A^2$	$\hat{\sigma}_D^2$	$\hat{\sigma}_T^2$	$\hat{\sigma}_F^2$	$\hat{\sigma}_{AA}^2$	$\hat{\sigma}_{AD}^2$	$\hat{\sigma}_{DD}^2$
$C\hat{ov}_{MI} = \hat{\sigma}_{CGC}^2$ **	2n=2x	1/4	0	—*	—	1/16	0	0
	2n=4x	1/4	1/36	0	0	1/16	1/144	1/1296
$C\hat{ov}_{IG}$	2n=2x	1/2	1/4	—	—	1/4	1/8	1/16
	2n=4x	1/2	2/9	1/12	1/36	1/4	1/9	4/81
$C\hat{ov}_{PF}$	2n=2x	1/2	0	—	—	1/4	0	0
	2n=4x	1/2	1/6	0	0	1/4	1/12	1/36
$\hat{\sigma}_{CEC}^2$	2n=2x	0	1/4	—	—	1/8	1/8	1/16
	2n=4x	0	1/6	1/12	1/36	1/8	7/12	31/648

** $\hat{\sigma}_{CGC}^2 = C\hat{ov}_{MI}$ e $\hat{\sigma}_{CEC}^2 = C\hat{ov}_{IG} - 2 C\hat{ov}_{MI}$

*ausente nos diplóides

2.7. Capacidade de combinação e exploração da heterose em batata

A identificação de combinações que produzem populações segregantes promissoras para a seleção clonal é desejável em batata (Caligari e Brown, 1986; Brown et al., 1988). A predição do cruzamento promissor, como descrita acima, envolve a hibridação dos pais escolhidos e a avaliação das progênies resultantes de cada cruzamento para estimar parâmetros que formarão a base da predição. Essa metodologia é bastante eficiente comparada com os métodos convencionais, que utilizam muito empirismo, mas, será tanto mais eficiente quanto a predição puder ser baseada diretamente no desempenho dos genitores (Brown e Caligari, 1989). Nesse sentido, Gopal (1998) avaliou 90 progênies, sendo 72 híbridas e 18 autofecundações, procurando correlacionar o desempenho do genitor per se versus CGC, o desempenho do genitor autofecundado com a média de suas progênies, valor médio do genitor versus média das progênies dos cruzamentos e o valor médio da autofecundação versus a média das suas progênies. O autor concluiu que o valor médio do genitor e o valor médio da autofecundação foram, no geral, os melhores preditores. Contudo, se as CGC's dos genitores forem altamente correlacionadas com seus fenótipos, o valor médio dos genitores poderia ser uma boa alternativa para prever a performance média da progênie, conforme constatado para batata por Brown e Caligari (1989), Neele, Nab e Louwes (1991) e Gopal (1998).

A teoria genética biométrica pressupõe, na maioria dos casos, herança dissômica e que a base da população das quais os genitores serão amostrados está em equilíbrio panmítico ou consiste de linhagens endogâmicas. As cultivares de batata têm herança tetrassômica e a estrutura genética da população (clones propagados vegetativamente e altamente heterozigóticos) usada como pais pelos melhoristas geralmente não é conhecida e, portanto, as técnicas genético-biométricas não seriam aplicáveis a indivíduos autotetraplóides (Brown

e Caligari, 1989). Entretanto, o uso da capacidade combinatória (Sprague e Tatum, 1942; Griffing, 1956b), metodologia que emprega parâmetros estatísticos, independe da estrutura genética da espécie e oferece uma alternativa viável e de grande potencial para os melhoristas de batata (Killick, 1977). Se, contudo, a maior parte da variação for atribuída à capacidade específica de combinação, nenhuma predição poderá ser feita sem a avaliação prévia de cada cruzamento (Brown e Caligari, 1989). Ademais, os cruzamentos dialélicos têm proporcionado a obtenção de informações preciosas sobre o controle genético de importantes características que apresentam baixa herdabilidade (Rumbaugh, Caddel e Rowe, 1988).

Alguns estudos foram feitos empregando os cruzamentos dialélicos em batata (Brown e Caligari, 1989; Maris, 1989; Gopal, 1998). Contudo, em certos casos, nem todas as combinações dos genitores envolvidos puderam ser conseguidas. Isso porque, em batata, são comuns os problemas de falta de fertilidade (Killick, 1977), além da grande demanda por tempo e trabalho necessários para se conseguir obter todos os cruzamentos (Neele, Nab e Louwes, 1991).

O processo de domesticação da batata cultivada apresenta forte implicação nas estimativas de parâmetros genéticos tais como a CGC e a CEC e conseqüentemente no desenvolvimento de estratégias para o melhoramento dessa cultura. Durante o período de domesticação, diversos acontecimentos contribuíram para o estreitamento da base genética da batata (Mendoza e Haynes, 1974b; Bradshaw e Mackay, 1994), o que tem limitado o sucesso de programas de melhoramento desta espécie. Para contornar esse problema, várias tentativas têm sido feitas no sentido de introduzir genes de espécies de *Solanum* no “pool gênico” de *tuberosum* spp. *tuberosum* (Rowe, 1967; Caligari et al., 1988; Maris, 1990; Cunha, 1992; Oliveira, 1994; Morais, 1994).

De modo geral, a utilização desse precioso reservatório de diversidade genética tem contribuído para o desenvolvimento de cultivares. Iwanaga e Schmiediche (1989) citam que uma de cada três cultivares liberadas nos Estados Unidos possui espécies selvagens na sua genealogia. Para o sucesso de tais programas, inúmeros trabalhos têm sido desenvolvidos de forma a gerar conhecimento para o bom desempenho dos melhoristas de batata.

Entre esses estudos, há aqueles que relatam que dentro da spp. *tuberosum* a capacidade produtiva da progênie não pode ser prevista com base no desempenho dos genitores, uma vez que os efeitos gênicos não aditivos têm participação fundamental no controle genético da produção de tubérculos, como verificado pelos efeitos altamente significativos da capacidade específica de combinação (Maris, 1989). Em contraste, tem sido observado a predominância dos efeitos devido à capacidade geral de combinação em trabalhos envolvendo cruzamentos de ssp. *tuberosum* com spp. *andigena*, *S. phureja*, *S. stenotomun* entre outras (Maris, 1989).

A importância relativa da CGC e CEC parece depender da constituição genética dos pais (Mendoza e Haynes, 1974b), bem como do caráter estudado e das condições ambientais (Maris, 1989). Alguns autores citam que a predominância dos efeitos da CEC pode ser reflexo da estreita base genética dessa cultura (Brown e Caligari, 1986 e 1989; Maris, 1989). De fato, nessa condição, pode-se inferir que raramente determinado genitor apresentará uma performance média, quando em cruzamento, muito superior ou inferior em relação aos demais genitores envolvidos nos estudos. É certo supor que, sendo a base genética estreita da ssp. *tuberosum*, os efeitos de CEC prevalecerão, isto é, torna-se muito mais importante haver, na progênie, uma complementariedade dos alelos, os quais se encontram dispersos em ambos os genitores. Por outro lado, pode-se supor também que, nos casos onde a base genética não é restrita, haja predominância dos efeitos de CGC, pois a possibilidade de que determinado

genitor presente, quando em cruzamento, um comportamento médio superior ou inferior a outros genitores é maior em se tratando de um “pool gênico” bastante divergente.

À semelhança da CEC, as estimativas de heterose em batata são influenciadas pelo grau de semelhança entre os pais. Tem sido relatado (Tai, 1974; Maris, 1989) com bastante frequência, para caracteres de produção, estimativas de efeitos heteróticos negativos, fato que Mendoza e Haynes (1974a) atribuem à base genética relativamente estreita da *ssp. tuberosum*. Aliás, Mendoza e Haynes (1974b) apresentaram um estudo relatando que as cultivares de batata utilizadas nos Estados Unidos apresentam um interrelacionamento genético muito maior do que se postulava, confirmando, assim, a temática da falta de variabilidade genética na *ssp. tuberosum*.

A teoria geral da heterose foi primeiramente desenvolvida para espécies diplóides. Conforme a teoria, os efeitos heteróticos aumentariam com a heterozigose, isto é, os efeitos seriam maiores quando pais contrastantes e homozigotos para muito locos fossem cruzados. Em épocas passadas, algumas tentativas foram feitas no melhoramento de batata visando explorar a heterose através do cruzamento de linhagens endogâmicas (Ross, 1986). Tal estratégia não apresentou nenhum sucesso pelo fato desses cruzamentos gerarem certa endogamia nas progênes. Atualmente, a exploração da heterose continua sendo o principal objetivo no melhoramento de batata. Para isso, os melhoristas procuram cruzar genitores não aparentados na tentativa de obter clones heterozigóticos e com boa complementariedade.

Em relação às espécies diplóides, a heterose em autotetraplóides é mais complexa. Para tetraplóides, por exemplo, espera-se o máximo de heterose na condição tetra-alélica, ou seja, quando há quatro alelos diferentes considerando-se um único loco (Mendoza e Haynes, 1973). Entretanto, há evidências de um possível limiar heterótico além do qual mais heterozigose não necessariamente

resultará em maior vigor ou maior produção. A heterose é baseada principalmente nas interações não aditivas dos genes (Mendiburu e Peloquin, 1977), isto é, compreendendo as interações intra-locos (sobredominância) e inter-locos (epistasias) (Ross, 1986). Resultados experimentais têm mostrado que as perdas das interações tri-alélicas e tetra-alélicas resultam em queda de vigor e conseqüentemente menor heterose (Mendoza e Haynes, 1974a).

Nesse contexto, visando explorar a heterose, a busca por cruzamentos interespecíficos tem sido crescente em batata (Darmo e Peloquin, 1991). De fato, estudos com marcadores moleculares (Bonierbale, Plaisted e Tanksley, 1993) têm confirmado as expectativas de maior diversidade genética para *Solanum* ssp. *andigena* em relação a *S. ssp. tuberosum*. Dessa forma, Bingham (1980) sugere que materiais não relacionados deveriam ser preferencialmente combinados.

Assim, para explorar completamente os efeitos positivos da CEC, alguns melhoristas de batata estão desenvolvendo separadamente populações genitoras com diferentes "background" genético ou grupos heteróticos, à semelhança das populações de "flint" e "dent" no melhoramento de milho (Dellaert e Swiezynski, 1989). Entretanto, deve-se ressaltar que a falta de genes para adaptação poderá interferir na boa performance dos cruzamentos, criando problemas na identificação de recombinantes superiores, ou seja, enquanto a variabilidade genética é aumentada, o desempenho médio é reduzido. Portanto, para contornar o problema do uso de germoplasma não adaptado no melhoramento de características complexas, Mendoza e Haynes (1974a) recomendam programas de seleção a longo prazo, eliminando as características indesejáveis e desenvolvendo populações adaptadas com ampla base genética.

2.8. Seleção de clones para múltiplas características

O estudo da natureza e magnitude da relação existente entre caracteres é importante, pois, durante os vários ciclos de seleção clonal procura-se identificar os genótipos que possuem um balanço equilibrado de atributos desejáveis e que justifique o lançamento como uma nova cultivar. Além disso, é sempre importante saber como o melhoramento de uma característica pode causar alterações em outras (Vencovsky e Barriga, 1992).

A associação entre duas características pode ser avaliada no seu modo mais simples, por meio das correlações fenotípica, genética e ambiental (Falconer, 1987). Correlações são apenas medidas de associação e não de causa e efeito (Vencovsky e Barriga, 1992). Para uma análise dessa natureza, pode-se empregar uma metodologia específica denominada de análise de trilha (Wright, 1921 e 1923). Tal método permite estimar coeficientes de trilha que são coeficientes de regressão estandarizados, os quais possibilitam quantificar a influência direta de uma variável sobre outra, independentemente das demais, no contexto das relações de causa e efeito. Permitem, ainda, desdobrar coeficientes de correlação simples em seus efeitos diretos e indiretos (Vencovsky e Barriga, 1992).

Estimativas de correlação entre caracteres em batata têm sido alvo de muitos estudos (Tai, 1975; Pinto, 1979; Brown, Caligari e Mackay, 1987; Bihman e Kang, 1993). O conhecimento de algumas dessas estimativas tem proporcionado aos melhoristas de batata maior eficiência na seleção de clones, pois uma cultivar, além de produtiva, tem de apresentar uma série de características desejáveis do ponto de vista agrônômico e comercial (Lynch e Kozub, 1991).

As correlações são também fundamentais para as estimativas dos índices de seleção. O índice constitui-se num caráter adicional, estabelecido pela

combinação linear ótima de vários caracteres, preferencialmente não correlacionados (Baker, 1986). O valor observado para cada característica é ponderado por um coeficiente representado como $I = b_1P_1 + \dots + b_iP_i$, onde I é o índice de seleção, P_i representa o valor fenotípico observado para a i -ésima característica e b_i é o coeficiente atribuído à i -ésima característica no índice de seleção. Define-se, também, o agregado genotípico representado por $W = a_1G_1 + \dots + a_iG_i$, onde a_i é o peso econômico associado ao valor genotípico G_i . A estimativa dos coeficientes b_i visa maximizar a correlação entre o índice de seleção e o agregado genotípico. Desse modo, torna-se possível efetuar, com eficiência, a seleção simultânea de caracteres com base nos valores genéticos dos indivíduos ou famílias (Cruz e Regazzi, 1994).

Têm sido descritas várias propostas para a obtenção de índices de seleção. De modo geral, há métodos que se caracterizam pela necessidade de estimar variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas e de estabelecer pesos econômicos relativos aos vários caracteres (Hazel, 1943). Por outro lado, Willians (1962) sugeriu ponderar os valores fenotípicos pelos seus respectivos pesos econômicos, evitando, dessa forma, a interferência das imprecisões das matrizes de variâncias e covariâncias. Devido à dificuldade de muitos melhoristas em estabelecer pesos econômicos, Harville (1974) e Tai (1977) propuseram um índice com base nos ganhos desejados e Cruz (1990) sugeriu estimá-los a partir de estatísticas dos próprios dados experimentais. Outros índices (Mulamba e Mock, 1978) identificam-se por eliminar a necessidade de estabelecer pesos econômicos e estimar variâncias e covariâncias.

A superioridade do índice como critério de seleção aumenta à medida que aumenta o número de características sob seleção e diminui quando as características diferem amplamente em importância ou quando a intensidade de seleção é aumentada (Rumbaugh, Caddel e Rowe, 1988). Cochran (1951), citado por Baker (1986), mostra que quanto mais características são incluídas no índice

e menor for a correlação entre o agregado genotípico e o índice ótimo, maior terá de ser o tamanho da amostra populacional, de modo a aumentar a precisão das estimativas dos parâmetros populacionais. Outros fatores que também afetam as estimativas dos índices são o tipo e o número de famílias avaliadas, a importância relativa dos pesos econômicos, os ambientes amostrados, as interações genótipos por ambientes, o efeito materno e a multicolinearidade (Carvalho, 1995)

As alterações nos parâmetros genéticos provocadas pela seleção com base no índice tomam-no uma medida dinâmica, sendo necessário a sua reconstrução a cada ciclo de seleção (Cruz, 1990). Além do mais, o índice de seleção é um atributo específico da população, e tal especificidade tem sido considerada como desvantagem desse método (Lin, 1978). Caldwell e Weber (1965), em trabalhos com soja, sugeriram como estratégia para contornar esse problema, utilizar informações de vários experimentos para obter um índice médio ou geral.

Alguns pesquisadores têm realizado estudos comparativos entre critérios de seleção. Tem sido verificado que a seleção com base no índice é mais eficiente que a seleção pelo método dos níveis independentes de eliminação que, por sua vez, é mais eficiente que o método de seleção em tandem (Baker, 1986; Barbosa, 1996).

Embora seja frequente a utilização dos níveis independentes de eliminação como critério de seleção em batata, Bradshaw e Mackay (1994) têm sugerido o uso do índice de seleção visando aumentar a eficiência do processo seletivo. Entretanto, poucos são os trabalhos relatados na literatura empregando-se essa metodologia com a cultura (Tai, 1977).

Barbosa e Pinto (1997) aplicaram diversos índices de seleção na avaliação de 850 clones e verificaram que o uso de índices viabiliza a seleção simultânea de caracteres agronomicamente importantes, os quais são

normalmente complexos e requerem aplicação de critérios de seleção mais apurados. A seleção em tandem acarretará pouca eficiência para o programa de melhoramento e o uso de níveis independentes de eliminação resulta em ganho inferior aos dos índices de seleção. Os autores chamam a atenção para o índice de soma de postos ou ranks (Mulamba e Mock, 1978), que se caracteriza por eliminar a necessidade de pesos econômicos relativos aos vários caracteres e de estimar as variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas, que muitas vezes provocam distorções no índice clássico em função da baixa precisão a que estão associadas e , ainda assim, fornecer estimativas semelhantes aos demais índices estudados.

Conforme Baker (1986), pode-se também desenvolver índices de seleção, visando resposta correlacionada em um único caráter, baseando-se em outros com alta correlação e maiores herdabilidades relativas ao caráter principal a ser selecionado. Nesse sentido, Gaur, Kishore e Gupta (1978) avaliaram sessenta e sete cultivares de batata e estimaram um índice baseado na produção total, no número de tubérculos por planta e peso médio de tubérculos. Os autores relataram que a seleção de clones baseada no índice proporcionou uma eficiência relativa de 62% superior à seleção direta para produção de tubérculos.

Explorando também a resposta correlacionada, Torres, Galan e Dias (1974), trabalhando com apenas cinco cultivares, estabeleceram um índice combinando os caracteres número de ramos, número de folhas, largura do folíolo terminal e número de tubérculos e obtiveram uma eficiência relativa de 1912% comparada à seleção aplicada diretamente para produção de tubérculos. Segundo os autores, a eficiência dos diferentes índices de seleção investigados visando incremento da produção de tubérculos aumentou à medida que se incluiu no índice caracteres correlacionados com produção, porém não correlacionados entre si.

Baseado nos trabalhos apresentados na literatura, verifica-se que os melhoristas de batata selecionam para múltiplas características de maneira informal. A experiência e o entendimento global das relações entre os caracteres poderá permitir progressos significativos no melhoramento de batata. Deve-se considerar, também, o sucesso já comprovado em programas de melhoramento com outras culturas pelo emprego do índice de seleção.

2.9. Emprego de modelos mistos no melhoramento de batata

O BLUP, Best Linear Unbiased Predictor, é amplamente usado no melhoramento animal e tem, nos últimos anos, sido proposto para o melhoramento vegetal. O BLUP é um procedimento geral de natureza estatística que se baseia na covariância de observações ao invés de ignorá-las como o MQM. No caso da genética, o coeficiente de parentesco é a fonte de informação sobre esta covariância. O procedimento BLUP baseia-se i) na performance dos cruzamentos realizados e ii) no coeficiente de parentesco entre os genitores utilizados (Bernardo, 1996a).

No método dos quadrados mínimos ordinários (MQM) utilizado para avaliação genética, admite-se que o modelo genético seja fixo, quando na realidade não o é, visto que, mesmo admitindo que as observações realizadas sejam fruto de agregados gênicos determinados, e desta forma podendo ser considerados como de efeitos fixos, deve-se considerar a segregação alélica, tratando o indivíduo como um veículo de alelos que segregam e novamente se agregam aleatoriamente formando novos genótipos, cuja observação da expressão se realiza na descendência (Martins, 1995a). Soma-se a isso o fato de que em um determinado experimento, não se avalia todos os descendentes de cada indivíduo, mas apenas uma amostra desse quando cruzado com a

população. A pressuposição errônea de que o valor genético seja fixo induz a distorções nas avaliações e influi nas estimativas dos valores genéticos (Henderson, 1974, 1975, 1984).

Uma metodologia que consiste na avaliação dos valores genéticos tratados como sendo de efeito aleatório, corrigindo-os para os demais efeitos fixos contidos no modelo, sendo também apropriada para graus elevados de desbalanceamentos, foi proposta por Henderson em 1949. Essa técnica foi denominada de Metodologia de Modelos Mistos (MMM), em que pode-se obter a melhor predição linear não tendenciosa (Best Linear Unbiased Prediction – BLUP) dos valores genéticos de cada indivíduo, além da melhor estimativa linear não tendenciosa, (Best Linear Unbiased Estimation – BLUE), dos efeitos fixos (Henderson, 1974 e 1975).

As propriedades pertinentes ao BLUP foram descritas de maneira detalhada por Henderson (1984) e evidenciam a superioridade teórica do BLUP como metodologia de predição de valores reprodutivos. Essa superioridade tem sido confirmada pelas comparações, a partir de dados de campo, e principalmente através de simulações (Sorensen e Kennedy, 1984; Panter e Allen, 1995a e 1995b; Jeyaruban et al., 1995 e Bueno Filho, 1997).

Embora a teoria BLUP tenha sido inteiramente desenvolvida e aplicada com sucesso em programas de melhoramento animal, sua extensão para o melhoramento vegetal também tem sido proposta (White e Hodge, 1989; Resende, 1997 e Bueno Filho, 1997). A predição de valores genéticos se daria em modelos mistos onde todos os parâmetros ambientais fossem tidos como fixos e os valores genéticos tomados como aleatórios.

Uma das principais características do BLUP é a utilização da informação de parentesco genético aditivo entre todos os pares de indivíduos. Os indivíduos aparentados têm uma proporção maior de alelos em comum relacionada ao grau

de parentesco (parentesco genético aditivo entre pai e filho é de 50%, etc), sendo esse parentesco levado em consideração na análise.

O termo definido como parentesco genético aditivo refere-se à proporção de alelos idênticos por ascendência entre dois indivíduos e é equivalente ao dobro do valor do coeficiente de parentesco de Mallécot (Van Vleck, 1993b).

Dado que indivíduos aparentados têm alelos em comum, o uso de suas observações nas avaliações incrementa a precisão das predições. Adicionalmente, a inclusão de parentes permite maior conexão entre os diferentes experimentos, corrigindo parcialmente os ensaios nos quais não existem testemunhas adicionais. De forma similar, a utilização de informações de parentesco também possibilita a comparação de indivíduos pertencentes a gerações distintas de seleção, o que geralmente não é possível na prática (Bueno Filho, 1997).

O BLUP possibilita, além da predição do mérito genético, a obtenção do coeficiente de endogamia para todos os indivíduos avaliados, se toda a informação de parentesco é fornecida (Henderson, 1984). Quando se dispõe de pouca ou nenhuma informação de um indivíduo, informações de parentes podem contribuir para a predição de seu valor genético. A magnitude dessa contribuição é determinada pelo grau de parentesco entre os indivíduos envolvidos na análise, sendo que quanto maior for o grau de relacionamento genético, maior será essa contribuição (Panter e Allen, 1995a).

Bueno Filho (1997) afirma que, para fins de seleção, a utilização do BLUP seria uma excelente estratégia desde que boas estimativas dos componentes de variância estejam disponíveis. Entretanto, na prática do melhoramento vegetal, ainda é dada preferência a métodos de seleção fazendo uso de médias fenotípicas gerais derivadas de um modelo fixo (quadrados

mínimos ordinário), pois esses fazem pressuposições (em geral falsas) sobre a dependência entre os valores genéticos dos indivíduos sob seleção.

Em casos de balanceamento de dados (número igual de observações em cada classe ou subclasse) e ausência de parentesco entre genótipos avaliados, as predições BLUP e de quadrados mínimos ordinários apresentam a mesma ordem de classificação, sendo as predições BLUP as que apresentam menores estimativas do erro padrão de predição (White e Hodge, 1989 e Van Vleck, 1993b).

Até recentemente, a utilização de dados de parentesco pelo método BLUP restringia-se apenas aos casos em que se dispunha de informações confiáveis da genealogia dos indivíduos avaliados, definida como identidade alélica por ascendência, ou seja, a semelhança entre os indivíduos só é levada em consideração para alelos idênticos advindos de um ancestral comum, isto é, identidade por descendência definida por Mallécot (1948). Entretanto, com o avanço das técnicas de amostragem molecular, alguns autores propõem a substituição da matriz de parentesco genético aditivo obtido através de informações de genealogia por valores de similaridade alélica (Euclides, 1996 e Nejati-Javaremi et al., 1997).

Segundo Nejati-Javaremi et al. (1997), a vantagem da utilização de dados de similaridade alélica seria a possibilidade de levar em consideração, para efeito de análise, toda a semelhança alélica existente entre os indivíduos avaliados, sendo até mesmo possível diferenciar graus de similaridade entre diferentes pares de indivíduos irmãos germanos, o que não ocorre com dados de genealogia.

Bernardo (1994) comparou os resultados das predições BLUP obtidos por meio de informações de parentesco por meio de dados de genealogia de dois grupos de linhagens de milho com o uso de dados de marcadores moleculares RFLP. Não foram verificadas alterações significativas nos resultados obtidos

pelos dois procedimentos; dessa forma, a utilização da informação de marcadores moleculares seria uma alternativa viável, desde que não se disponha de informações confiáveis da genealogia das linhagens avaliadas. Uma restrição à utilização dessa abordagem seria a elevação dos custos experimentais decorrente do processo de amostragem molecular.

Euclides (1996), em estudo de seleção por vários procedimentos estatísticos, entre eles duas abordagens do método BLUP: a primeira com informações de parentesco genético aditivo decorrente de genealogia, e a segunda com matriz de parentesco através de marcadores moleculares, simulou 100 ciclos seletivos para situações de alta e baixa herdabilidades com cinco repetições cada. Ao longo das 100 gerações de seleção, não foram observadas diferenças elevadas entre as estimativas de ganho para as duas abordagens do método BLUP, sendo que, em algumas situações, o BLUP, com uso de marcadores moleculares, apresentou uma pequena superioridade.

Uma possível utilização do BLUP em melhoramento vegetal consiste na predição do desempenho genético de híbridos que não estejam presentes ou que porventura tenham sido perdidos. Assim, existindo uma estrutura de covariâncias genéticas entre as linhagens a serem cruzadas, pode-se prever o desempenho genotípico de alguns dos seus cruzamentos, sem que esses sejam avaliados (Bernardo, 1994 e 1995).

Bernardo (1994) cita que a vantagem dessa técnica seria a de prever o desempenho de uma quantidade considerável de combinações híbridas, com um número reduzido de cruzamentos avaliados em campo. Apesar de a correlação entre o desempenho genotípico do cruzamento predito e o seu valor fenotípico ser em muitos casos baixa, no máximo igual à raiz quadrada da herdabilidade da característica, o autor considera relevante o uso de técnicas preditivas como uma alternativa viável para diminuir os custos e também o tempo com a avaliação de híbridos em um programa de melhoramento de grande porte, onde são avaliados

milhares de combinações híbridas anualmente e apenas uma pequena quantidade (<1%) é aproveitada como híbridos comerciais.

White e Hodge (1989) apresentam várias propriedades do BLUP, referentes ao melhoramento vegetal. Dentre elas se destacam:

1. estimação e predição não-viesadas num procedimento linear único;
2. pode levar em conta efeitos de seleção e de endogamia ao longo das gerações, desde que o grau de parentesco genético entre os indivíduos avaliados seja conhecido;
3. a correlação entre os valores genéticos verdadeiros e os preditos é máxima dentre todas as classes de preditores lineares não tendenciosos;
4. pode-se prever o valor genético de indivíduos observados ou não;
5. as variâncias e os erros das predições BLUP são menores em relação a outros métodos;
6. para dados multivariados com distribuição normal, a probabilidade de se selecionar o melhor indivíduo é máxima entre as classes de estimadores lineares não viesados com média zero.

Em soja, a utilização da metodologia BLUP como método de predição do desempenho genotípico de cruzamentos ainda não realizados, comparado com o valor médio dos pais (método "Mid parent value") estimado por quadrados mínimos ordinário, foi investigada em várias situações por Panter e Allen (1995a e 1995b). As predições obtidas pela metodologia BLUP foram sempre mais próximas do desempenho fenotípico dos cruzamentos avaliados em campo; de todos os possíveis cruzamentos, o método BLUP foi o que apresentou a maior proporção de cruzamentos superiores identificados, bem como maior coincidência na classificação dos cruzamentos, mesmo quando o número de observações era restrito.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Foram avaliadas 14 famílias obtidas de cruzamentos em esquema dialélico incompleto não balanceado, envolvendo as cultivares nacionais Apuã, Chiquita e Baronesa e as cultivares introduzidas Atlantic, Baraka e Monalisa, (Quadro 2). As famílias Baraka, Baronesa e Monalisa autofecundadas, Atlantic x Chiquita e Atlantic x Monalisa, Baraka x Monalisa, e Chiquita x Monalisa não foram obtidas.

Quadro 2. Famílias obtidas em esquema dialélico incompleto não balanceado, envolvendo cultivares nacionais e introduzidas. Lavras, UFLA 1995.

Apuã x Apuã	Atlantic x Baraka
Apuã x Atlantic	Atlantic x Baronesa
Apuã x Baraka	Baraka x Baronesa
Apuã x Baronesa	Baraka x Chiquita
Apuã x Chiquita	Baronesa x Chiquita
Apuã x Monalisa	Baronesa x Monalisa
Atlantic x Atlantic	Chiquita x Chiquita

Os cruzamentos foram feitos em casa de vegetação conforme metodologia descrita por Martins e Pinto (1994).

As sementes botânicas foram tratadas com ácido giberélico a 1500 ppm por 24 horas e posteriormente semeadas em bandejas plásticas contendo substrato organo-mineral. Após 30 dias aproximadamente, os “seedlings” foram transplantados para bandejas de isopor de 128 células de formato piramidal contendo o mesmo tipo de substrato. Quando as plântulas apresentaram tamanho

ideal de transplante (6 a 8 folhas), estas foram transplantadas para sacos plásticos (10x10 cm) contendo terra de barranco peneirada e adubada com 250 g da formulação comercial 04-14-08 (N, P₂O₅, K₂O) por aproximadamente 80 Kg de terra. Os mini-tubérculos obtidos (geração S) foram plantados em campo, no espaçamento de 0,8m entre linhas e 0,5m dentro da linha, usando 1,5 t/ha da formulação comercial 04-14-08. Os clones foram colhidos separadamente e multiplicados por mais uma geração em campo utilizando 3 t/ha da formulação comercial 04-14-08 juntamente com 13 Kg/ha do inseticida granulado aldicarb em sua composição comercial de 5%. Por volta dos 30 dias pós-plantio, fez-se a adubação nitrogenada usando 300 Kg/ha de sulfato de amônio juntamente com a operação de amontoa. As capinas, irrigações e controles fitossanitários foram realizadas sempre que necessário, visando manter a cultura livre de plantas invasoras e de danos por pragas e doenças.

3.2. Condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos em Maria da Fé, MG e Lavras, MG, nas safras das águas (novembro) de 1996 e inverno (maio) de 1998, respectivamente.

Em Maria da Fé o ensaio foi instalado na fazenda da Estação Experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), em solo de encosta do tipo silico-argiloso, localizado a 1276m de altitude, 21° 18' S de latitude e 45° 23' W de longitude.

Em Lavras, o ensaio foi conduzido na área experimental do Departamento de Biologia, no campus da UFLA, em solo sob vegetação de cerrado, classificado como latossolo roxo distrófico, localizado a 910m de altitude, 21° 14' S de latitude e 45° 00' W de longitude.

3.2.1. Ensaio de Maria da Fé

Clones de terceira geração foram utilizados para instalação do experimento em Maria da Fé. Foram avaliados 14 tratamentos em delineamento de blocos casualizados com três repetições. As parcelas foram constituídas por trinta plantas distribuídas em três linhas com dez plantas, espaçadas de 0,30m entre plantas e de 0,8m entre linhas. Cada família foi representada por uma amostra aleatória de trinta clones, sendo utilizados três tubérculos de cada clone, um para cada repetição. As cultivares Achat e Monaliza foram utilizadas como testemunhas.

As práticas culturais empregadas neste ensaio foram as mesmas realizadas em lavouras comerciais de batata.

3.2.2. Ensaio de Lavras

Tubérculos de quarta geração clonal foram utilizados para plantio do experimento de Lavras na safra de inverno (maio de 1998), sendo que o número de clones representantes de cada família variou de 15 a 28.

Os cruzamentos Apuã x Baraka e 'Chiquita' autofecundada não foram avaliados no ensaio de Lavras devido a problemas ocorridos com o armazenamento desses materiais.

Visando obter informações dos cruzamentos e ao mesmo tempo avaliar e selecionar clones, empregou-se o delineamento de blocos aumentados (Federer, 1956). Assim, foram avaliados, como tratamentos regulares, 249 clones representando as 12 famílias. Esses tratamentos foram distribuídos em 24 blocos com dez tratamentos regulares cada e um bloco com 9 tratamentos regulares. Como tratamento comum a todos os blocos, utilizaram-se as cultivares Achat e

Monalisa. A parcela foi constituída de uma linha com cinco plantas espaçadas de 0,30m e entre linhas de 0,80m.

Por ocasião do plantio, foi feita uma adubação com 3 t/ha da formulação 04-14-08 e 13 Kg/ha do inseticida granulado aldicarb a 5%. Após a emergência das plantas, foi aplicado o herbicida metribuzin. Por volta dos 35 dias após o plantio, realizou-se a adubação nitrogenada em cobertura com 300 Kg/ha de sulfato de amônio, juntamente com a operação de amontoa. As irrigações e controle fitossanitário foram realizadas todas as vezes que se fizeram necessárias, visando manter a cultura sem danos de pragas e doenças.

3.3. Características avaliadas

- Produção total de tubérculos por planta (g);
- Porcentagem de tubérculos graúdos. Produção em gramas dos tubérculos graúdos (diâmetro transversal > 45 mm) dividido pela produção da parcela;
- Peso médio dos tubérculos (g/tubérculo);
- Densidade relativa dos tubérculos. Os tubérculos foram pesados em balança hidrostática para obtenção dos pesos ao ar e peso em água. Em seguida, determinou-se a densidade relativa dos tubérculos pela expressão:

$$D = \frac{\text{Peso ao ar}}{\text{Peso ao ar} - \text{peso em água}}$$

3.4. Metodologias Estatísticas

3.4.1. Análise de Variância

3.4.1.1. Maria da Fé

Os dados foram submetidos a uma análise de variância, para cada característica separadamente, empregando-se o seguinte modelo para blocos casualizados (Steel e Torrie, 1980):

$$Y_{ij} = \mu + t_i + r_j + e_{ij}$$

Onde,

Y_{ij} é a observação do i -ésimo tratamento na j -ésima repetição;

μ é o efeito fixo da média geral do ensaio;

t_i é o efeito fixo do i -ésimo tratamento ($i = 1, 2, \dots, 14$);

r_j é o efeito aleatório da j -ésima repetição ($j = 1, 2, 3$);

e_{ij} é o efeito aleatório do erro experimental do i -ésimo tratamento na j -ésima repetição admitindo-se que os erros são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ^2 .

3.4.1.2. Lavras

Em Lavras, o modelo estatístico para delineamento em blocos aumentados (Federer, 1956) foi o seguinte:

$$Y_{ij} = \mu + t_{i'} + t_{i(j)} + b_j + e_{ij}$$

onde,

Y_{ij} é a observação do i -ésimo tratamento regular ou i -ésimo tratamento comum no j -ésimo bloco;

μ é o efeito fixo da média geral do ensaio;

$t_{i'}$ é o efeito fixo do i -ésimo tratamento comum ($i' = 1, 2$);

$t_{(ij)}$ é o efeito aleatório do i -ésimo tratamento regular ($i = 1, 2, \dots, 249$) dentro do j -ésimo bloco;

b_j é o efeito aleatório do j -ésimo bloco incompleto ($j = 1, 2, \dots, 25$);

$e_{j(i)}$ é o efeito aleatório do erro experimental do i -ésimo tratamento regular ou i -ésimo tratamento comum dentro do j -ésimo bloco assumindo-se que os erros são independentes e normalmente distribuídos com média zero e variância σ^2 .

De posse das médias ajustadas, obteve-se nova soma de quadrados e novo quadrado médio para clones sendo a esperança matemática equivalente a $\hat{\sigma}^2 + \hat{\sigma}_G^2$, onde $\hat{\sigma}^2$ é a variância do erro efetivo e $\hat{\sigma}_G^2$ é a variância genética.

3.4.2. Análise Dialélica

Após a realização das análises de variância em blocos casualizados e em blocos aumentados, obtiveram-se, respectivamente, as médias e médias ajustadas para tratamentos, as quais foram utilizadas na análise dialélica.

Para ambos os ensaios, utilizaram-se apenas as médias referentes aos híbridos F_1 's, conforme o método IV, descrito por Griffing (1956b):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + e_{ij}$$

Onde,

Y_{ij} é o valor médio do híbrido ij ($i, j = 1, 2, \dots, p, i < j$);

μ é a média geral de todos os cruzamentos;

g_i, g_j são os efeitos da capacidade geral de combinação do i -ésimo e j -ésimo genitor, respectivamente;

s_{ij} é o efeito da capacidade específica de combinação para os cruzamentos entre os genitores de ordem i e j ;

e_{ij} é o erro experimental médio.

Neste modelo, é considerado que $s_{ij} = s_{ji}$.

Por haver falhas nos cruzamentos, empregou-se a metodologia dos quadrados mínimos para calcular as capacidades gerais e específicas de combinação.

No ensaio de Maria da Fé, as somas de quadrados relativas às causas de variação do modelo descrito por Griffing (1956b) foram multiplicadas por três, o que equivale ao número de repetições. Em Lavras, somente as somas de quadrados correspondentes a CGC e CEC foram multiplicadas por 17,88, o que corresponde à média harmônica do número de clones que originaram as médias de cada família. Para as demais somas de quadrados, foi considerado que as médias foram provenientes de uma observação.

No método BLUP, as estimativas dos efeitos fixos e as predições das capacidades de combinação foram obtidas de maneira semelhante à apresentada por Bernardo (1995).

O modelo linear considerado foi:

$$Y = X\beta + Z_1g + Z_2s + Z_3c + e$$

onde,

Y : é o vetor de observações;

X : é a matriz de incidência dos efeitos fixos;

β : é o vetor de efeitos fixos (efeitos de blocos, local e média geral);

Z_1 : é a matriz de incidência dos efeitos da capacidade geral de combinação;

g : é o vetor de efeitos da capacidade geral de combinação;

Z_2 : é a matriz de incidência dos efeitos da capacidade específica de combinação;

Z_3 : é a matriz de incidência dos coeficientes de parentesco dos clones;

c : é o vetor das médias observadas dos clones;

s : é o vetor de efeitos da capacidade específica de combinação;

e : é o vetor de resíduos.

Dado que as estimativas dos efeitos fixos e as predições das capacidades de combinação dependem dos valores atribuídos aos componentes de variância, e estes, por sua vez, dependem das estimativas dos efeitos e das predições dos efeitos aleatórios, não existem soluções explícitas para o sistema. A solução consistiu em atribuir valores iniciais para os componentes de variâncias e obter uma solução para os efeitos fixos e aleatórios. Com esta solução, eram recalculados os componentes de variância, que eram usados na obtenção de uma nova solução para os efeitos fixos e aleatórios. O processo era continuado até que não houvesse mudanças significativas dos componentes de variância (André, 1999).

As médias dos clones foram estimadas pelo modelo $\hat{Y}_{ijk} = \mu + g_i + g_j + s_{ij} + c_{ijk}$, onde μ é a média do bloco, g_i é a capacidade geral de combinação do genitor i, g_j é a capacidade geral de combinação do genitor j, s_{ij} é a capacidade específica de combinação dos genitores ij e c_{ijk} é o valor do clone.

3.4.3. Estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos

3.4.3.1. Herdabilidade

As herdabilidades no sentido amplo para seleção de clones no ensaio de Lavras foram obtidas pela expressão:

$$h_a^2 = \frac{\hat{\sigma}_G^2}{\hat{\sigma}^2 + \hat{\sigma}_G^2} \times 100$$

onde,

$\hat{\sigma}_G^2$: é a variância genética;

$\hat{\sigma}^2$: é a variância residual ou erro efetivo.

3.4.3.2. Ganhos com a seleção

Os ganhos com a seleção direta para os caracteres foram obtidos, para o MQM, pela seguinte expressão:

$$GS (\%) = \frac{d_s \cdot h_a^2}{\bar{\chi}_o} \cdot 100 \text{ (MQM)}$$

$$GS (\%) = \frac{\hat{Y}_{ijk}}{\bar{\chi}_o} \cdot 100 \text{ (BLUP)}$$

em que,

GS (%) : é o ganho com a seleção;

d_s : é o diferencial de seleção, obtido pela diferença entre as médias dos indivíduos selecionados ($\bar{\chi}_s$) e a média da população ($\bar{\chi}_o$);

h_a^2 : é a herdabilidade no sentido amplo, à nível de clones.

\hat{Y}_{ijk} : é a média estimada do clone.

3.4.3.3. Coeficientes de variação genético e ambiental

Para cada caráter estudado, foi obtido o coeficiente de variação genético e ambiental como se segue, bem como o coeficiente entre CVg/CVe representado por b.

$$CVG (\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_G^2}}{\hat{m}} \times 100;$$

$$CVE (\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}^2}}{\hat{m}} \times 100$$

onde,

CVG : é o coeficiente de variação genético em porcentagem;
CVE : é o coeficiente de variação ambiental em porcentagem;
 \bar{m} : é a média geral do ensaio;
 $\bar{\sigma}_G^2$: é a variância genética;
 $\bar{\sigma}^2$: é a variância residual.

3.4.4. Seleção para múltiplas características

3.4.4.1. Índice livre de pesos e parâmetros (Elston, 1963)

Este índice é definido por:

$$I = w_1 \cdot w_2 \dots w_n$$

em que,

$$w_1 = x_j - k_j$$

onde,

n : é o número de caracteres do índice;

w_j : é o peso atribuído ao caráter n para o j -ésimo indivíduo ou família;

x_j : é o valor fenotípico observado para cada caráter;

k_j : é o valor mínimo pré-estabelecido para os n caracteres.

3.4.4.2. Índice com base na soma de postos ou ranks (Mulamba e Mock, 1978)

Este índice consiste em classificar os clones em relação a cada um dos caracteres, em ordem decrescente, ou seja, em ordem favorável ao melhoramento. Uma vez classificados, são somadas as ordens de cada material genético referente a cada caráter, resultando em uma média adicional tomada como índice de seleção (Cruz e Regazzi, 1994).

3.4.5. Estimativa da eficiência de seleção (Hamblin e Zimmermann, 1986).

A estimativa da eficiência de seleção é a proporção de clones que cada metodologia estatística de avaliação consegue identificar e que são coincidentes entre si. A expressão que permite estimar essa eficiência de seleção (ES) é:

$$ES (\%) = \left(\frac{A - D}{B - D} \right) * 100$$

onde:

A: número de clones selecionados que foram coincidentes tanto na metodologia considerada como no metodologia padrão;

B: número de clones selecionados que variam de acordo com a intensidade de seleção utilizada;

D: número de clones esperado por simples coincidência, unicamente devido ao acaso, que é estimado da seguinte forma, Ferreira, citado por Souza (1997):

D = iB, onde **i** é a intensidade de seleção.

4. Resultados e Discussão

4.1. Análise de Variância e Dialética

4.1.1. Ensaio de Maria da Fé

Os resumos das análises de variâncias referentes aos caracteres avaliados encontram-se na Tabela 1. A precisão experimental foi considerada boa para todos os caracteres avaliados, com coeficientes de variação ambiental mais baixos que os normalmente constatados para a cultura da batata (Vermeer, 1990; Bearzoti, 1994; Momenté, 1994; Martins, 1995; Barbosa, 1996).

Pode-se verificar na Tabela 1, diferenças significativas entre médias de tratamentos para todas as características avaliadas. Segundo Vencovsky (1987), a relação CVg/CVe representa uma informação a mais para o melhorista e neste ensaio, produção de tubérculos por planta e densidade de tubérculos apresentaram um quociente maior que a unidade, indicando uma situação favorável para a seleção. As melhores famílias indicam para os melhoristas, que essas têm uma maior probabilidade de possuírem clones superiores para seleção.

A variação genética entre os clones para produção foi alta, mostrando a variabilidade existente entre as famílias testadas.

TABELA 1. Resumo das análises de variância e estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres de produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade de tubérculos, do ensaio de Maria da Fé - MG, 1997.

Causas de Variação	G. L.	Quadrados Médios			
		Produção de tubérculos por planta	Porcentagem tubérculos Graúdos	Peso médio de tubérculos	Densidade tubérculos $\times 10^{-4}$
Blocos	2	13341,973	76,470	24,443	2,43
Tratamentos	13	35620,533**	106,594*	593,186*	0,661**
Resíduo	26	6667,175	50,523	258,092	0,140
Média		519,25	77,18	151,67	1,0732
$\hat{\sigma}_G^2$		9651,12	18,69	111,70	0,17
CVG (%)		18,54	5,60	6,96	0,38
CVE (%)		15,73	9,21	10,59	0,35
B (CVg/Cve)		1,18	0,61	0,66	1,08

*, ** - significativo a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F.

Na Tabela 2, observa-se que as médias das populações híbridas foram relativamente baixas para os caracteres avaliados, destacando-se os cruzamentos Baronesa x Chiquita, Baraka x Chiquita e Apuã x Chiquita por associar níveis considerados ótimos para a produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos e densidade de tubérculos. Embora outros cruzamentos, como por exemplo Atlantic x Baraka, tenham apresentado níveis elevados para porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos e densidade relativa de tubérculos, não o fizeram para produção de tubérculos por planta, com valores inferiores a 500 g/planta.

De maneira geral a densidade de tubérculos para as populações híbridas foram de magnitudes elevadas (Tabela 2). Considerando programas de melhoramento de batata nos países onde essa cultura é mais desenvolvida, existe uma maior exigência quanto ao teor de matéria seca dos tubérculos, sendo o valor de 1,080 considerado necessário para atender a indústria de batata frita (Gould, 1988). Para se ter 20% de matéria seca no

TABELA 2. Médias das famílias avaliadas para produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g/tubérculo) e densidade de tubérculos, do ensaio de Maria da Fé – MG, 1997.

Família	Produção de Tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio de tubérculos	Densidade tubérculos
Apuã x Apuã	476,99	68,12	127,88	1,0728
Apuã x Atlantic	518,00	78,63	144,99	1,0801
Apuã x Baraka	584,84	83,83	157,73	1,0714
Apuã x Baronesa	447,33	70,64	148,46	1,0660
Apuã x Chiquita	662,61	81,93	169,05	1,0754
Apuã x Monalisa	564,34	77,10	166,14	1,0736
Atlantic x Atlantic	365,24	78,47	139,30	1,0834
Atlantic x Baraka	474,86	85,03	162,04	1,0765
Atlantic x Baronesa	394,17	73,36	128,86	1,0695
Baraka x Baronesa	463,08	75,93	155,45	1,0698
Baraka x Chiquita	694,90	87,06	169,65	1,0730
Baronesa x Chiquita	702,36	78,82	161,16	1,0741
Baronesa x Monalisa	508,87	72,76	154,55	1,0674
Chiquita x Chiquita	411,87	68,88	138,08	1,0714
Monalisa	584,69	62,12	129,35	1,0570
Achat	544,23	65,88	136,98	1,0610
Média geral ensaio	519,25	77,18	151,67	1,0732

tubérculo, o mesmo deve apresentar uma densidade relativa de 1,075 conforme Schippers (1976). Tem sido constatado que os fatores ambientais afetam a densidade relativa de tubérculos, com reduções significativas sob temperaturas elevadas (Menezes e Pinto, 1995). Pelo fato deste plantio ter sido realizado no período das “águas”, onde as temperaturas são mais elevadas, era esperado que os valores de densidade relativa de tubérculos para as diferentes populações fossem reduzidos. Esse fato não ocorreu devido às condições climáticas ótimas que ocorrem no município de Maria da Fé, devido principalmente a altitude elevada.

O resumo da análise dialélica, realizada pelo método dos quadrados mínimos, encontra-se na Tabela 3. Pode-se observar ampla variação entre os tratamentos para todos os caracteres avaliados. Nesse caso o efeito de cruzamento é decomposto em capacidade geral e capacidade específica de combinação. Verifica-se na Tabela 3, extensa variação para esses efeitos considerando os caracteres estudados. Nesta mesma tabela é mostrada a contribuição em termos percentuais das causas de variação devido a CGC e CEC em relação à soma de quadrados de cruzamentos através das estimativas dos coeficientes de determinação R^2 . Desta forma, constatou-se baseado nas contribuições relativas, que os efeitos devido a CGC apresentaram estimativas superiores à CEC para os caracteres produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos e peso médio de tubérculos. Contudo, verifica-se um maior efeito da CEC para densidade relativa de tubérculos, indicando que a performance da progênie não pode ser prevista sem a realização dos cruzamentos e avaliação dos híbridos. Estes resultados estão de acordo com os relatados por Neele, Nab e Louwes (1991), estes autores sugeriram que a CEC tende a ser mais importante que a CGC em cruzamentos envolvendo pais relacionados, e Tai (1976), sugeriu o mesmo para caracteres que tem sido submetidos a seleção direcional contínua, como por exemplo produção de tubérculos.

O fato é que as estimativas desses componentes genéticos, têm possibilitado identificar o valor genético das populações, entretanto devem ser considerados de um modo bastante restrito (Bradshaw e Mackay, 1994).

TABELA 3. Resumo das análises dialélica para caracteres de produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos, do ensaio de Maria da Fé – MG, 1997.

Causas da variação	G.L.	QM			
		Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio de tubérculos	Densidade relativa tubérculos
Cruzamentos	10	43177,11**	125,57*	721,14*	1,25**
CGC	6	54837,80**	142,18*	861,32**	0,64**
CEC	4	25186,01 *	90,49	443,80	2,09**
Resíduo	26	6667,17	50,52	258,09	0,14
R^2_{CGC}		76,20	67,94	71,66	30,72
R^2_{CEC}		23,80	32,06	28,34	69,28

** significativo ao nível de 5 e 1% respectivamente pelo teste F.
 R^2 (%) – coeficiente de determinação.

As estimativas de capacidade geral e específica de combinação encontram-se nas Tabelas 4 e 5, destacando-se as significativamente diferentes de zero. Normalmente interessam ao melhorista as combinações híbridas, com estimativas da capacidade específica de combinação mais favorável, que envolvam genitores com os mais favorável efeitos da capacidade geral de combinação, isto é $g_i + g_j + s_{ij}$ (Cruz e Regazzi, 1994).

Entre os genitores nacionais pode-se destacar a cultivar Chiquita, por apresentar estimativas de CGC positivas e significativas para todos os caracteres avaliados (Tabela 4). Em outro extremo, verifica-se o baixo desempenho da cultivar Baronesa no que diz respeito ao seu valor genético como genitor. Entre os materiais introduzidos, a cultivar Atlantic se destaca pelos valores maiores de CGC para densidade relativa de tubérculo, sendo esta característica importante em programas de melhoramento visando a obtenção de cultivares para o processamento industrial, entretanto, a CEC é mais importante para esse caráter. A cultivar Monalisa se destaca, com CGC positiva e significativa para o caráter produção, que é, geralmente, o mais desejado pelos melhoristas.

TABELA 4. Estimativas de capacidade geral de combinação dos genitores para os caracteres de produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos, do ensaio de Maria da Fé - MG, 1997.

Cultivar	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio de tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Apuã	-4,5833	-1,1636*	-0,9098	0,0425*
Atlantic	-63,2574**	1,2597*	-9,9249**	0,4336**
Baraka	-3,9228	4,5312**	7,4405**	-0,0716**
Baronesa	-66,1871**	-6,1917**	-10,6405**	-0,4509**
Chiquita	162,9920**	4,9312**	11,8614**	0,3299**
Monalisa	22,0834**	-0,0701	9,6745**	-0,0062

*, ** significativo ao nível de 5 e 1% respectivamente pelo teste t.

Esses resultados são discordantes dos obtidos por Barbosa e Pinto (1997) onde, a cultivar Baronesa foi considerada o melhor genitor e a cultivar Chiquita ficou em posição intermediária em relação aos materiais testados. Essa diferença pode ser devida aos diferentes genitores utilizados em cada ensaio e/ou à diferenças ambientais. Já os resultados relativos às cultivares importadas são concordantes.

Pela Tabela 5, observa-se boa complementariedade alélica para produção, dos cruzamentos Apuã x Atlantic, Apuã x Baraka, Baronesa x Chiquita. Embora a significância dos valores de CEC destes cruzamentos não possam ser testadas (teste t), devido ao número de equações do modelo ser menor que o número de parâmetros a serem estimados, isto é, não existe grau de liberdade para fazer o teste, observam-se valores positivos e elevados. Mesmo assim, esses valores de CEC não apresentam sentido prático se não estiverem associados às médias superiores dos híbridos.

Numa interpretação conjunta das Tabelas 2, 4 e 5, o cruzamento Baronesa x Chiquita mostrou-se bastante promissor para o caráter produção. Neste caso, verificou-se que este cruzamento apresentou uma boa associação alélica refletida pelos elevados valores de CEC, médias superiores da família para os caracteres de produção de

TABELA 5. Estimativas de capacidade específica de combinação dos híbridos para caracteres de produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos, do ensaio de Maria da Fé – MG, 1997.

Cruzamentos	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Apuã x Atlantic	35,91	-0,14	-0,61	0,27
Apuã x Baraka	43,42	1,78	-5,25	-0,09
Apuã x Baronesa	-31,83	-0,67	3,58	-0,25
Apuã x Chiquita	-45,73	-0,52	1,65	-0,09
Apuã x Monalisa	-3,08	-0,34	0,93	0,06
Atlantic x Baraka	-7,88	0,55	8,08	0,04
Atlantic x Baronesa	-26,31	-0,38	-7,00	-0,29
Baraka x Baronesa	-16,73	-1,09	2,21	0,24
Baraka x Chiquita	-14,09	-1,10	-6,11	-0,22
Baronesa x Chiquita	55,63	1,40	3,50	0,27
Baronesa x Monalisa	3,05	0,35	-0,92	-0,06

tubérculos por planta, embora apenas a cultivar Chiquita apresente valores positivos de CGC para todos os caracteres avaliados.

Correlacionando as médias das famílias com as médias estimadas a partir do modelo $\hat{Y}_{ij} = \bar{m} + \hat{g}_i + \hat{g}_j$, excluindo-se do mesmo os efeitos de CEC, obteve-se os valores de 95% para produção de tubérculos por planta, 98,42% para porcentagem de tubérculos graúdos, 92,32% para peso médio de tubérculos e 86,69% para densidade de tubérculos. Esses valores mostram que a exclusão de CEC do modelo não reduziu de forma pronunciada as correlações, indicando que a CEC apresenta em termos relativos, menor importância na variação dos caracteres avaliados, corroborando com os resultados obtidos pelas estimativas dos coeficientes parciais de determinação. Por estes resultados e também por resultados encontrados em diferentes trabalhos (Bradshaw e Mackay, 1994; Barbosa, 1996), verifica-se a importância de novos estudos visando a escolha de populações para seleção de clones de batata, para orientar os programas de melhoramento, especialmente nas condições nacionais, onde a falta de informação é limitante.

4.1.2. Ensaio de Lavras

O delineamento de blocos aumentados em Lavras, permitiu a obtenção simultânea de informações a nível de clones, para seleção, e a nível de famílias, para as análises dialélicas. O resumo das análises de variância para as características avaliadas a nível de clones estão apresentadas na Tabela 6.

De forma geral, constatou-se neste ensaio uma menor precisão experimental em relação aos mesmos caracteres avaliados em Maria da Fé com o delineamento de blocos casualizados (Tabelas 1 e 6). Um fator que deve ter contribuído para elevação dos coeficientes de variação ambiental no ensaio de Lavras, foi o delineamento experimental utilizado. Contudo, a sanidade da batata semente pode também ter contribuído para reduzir a precisão experimental, uma vez que as testemunhas comuns apresentaram sintomas de viroses e os clones avaliados eram de quarta geração clonal.

Com base nos resultados das análises de variância, foram estimadas, para cada um dos caracteres, a variância genética ($\hat{\sigma}_G^2$), herdabilidade no sentido amplo a nível de clone (\hat{h}_{clone}^2) e o quociente (b) entre os coeficientes de variação genético (CVg) e ambiental (CVe) (Tabela 6). Observou-se que alguns caracteres apresentaram herdabilidade elevadas e b superior à unidade, indicando uma situação bastante favorável à seleção (Vencovsky, 1987). Entre eles, destacam-se a produção de tubérculos por planta e percentagem de tubérculos graúdos.

As produções médias dos híbridos neste ensaio foram, de forma generalizada, inferiores àquelas obtidas em Maria da Fé (Tabelas 2 e 7), o que pode ser explicado em parte pela degenerescência dos materiais e em maior proporção pelas diferenças ambientais entre os dois locais.

Os resumos das análises dialélicas, realizadas pelo método dos quadrados mínimos, para os caracteres em estudo encontram-se na Tabela 8. Pode-se observar ampla variação entre médias de famílias para todos os caracteres. Os efeitos de CGC e CEC foram importantes causas de variação para a maioria dos caracteres avaliados, com exceção para peso médio de tubérculos onde a CGC foi não significativa e para densidade relativa de tubérculos onde a CEC foi não significativa.

TABELA 6. Resumo das análises de variância e estimativas de parâmetros genéticos para caracteres de produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade de tubérculos, do ensaio de Lavras - MG, 1998.

Causas da Variação	G.L.	QM			
		Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio de tubérculos	Densidade de tubérculos $\times 10^{-4}$
Tratamentos	248	47859,38**	967,09**	2598,49	0,9588**
Erro efetivo	24	9683,59	234,41	2197,75	0,5224
Erro intra		6394,34	154,79	1451,24	0,3450
$\hat{\sigma}_G^2$		38175,79	732,68	400,74	0,4364
\hat{h}_{clone}^2		79,76	75,76	15,42	45,51
CVg (%)		49,38	62,58	19,33	0,6173
Cve (%)		20,21	28,76	36,79	0,5488
b (CVg/CVe)		1,985	1,768	0,427	0,914

** significativo ao nível de 1% pelo teste F.

TABELA 7. Médias dos híbridos e das testemunhas para caracteres de produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos, do ensaio de Lavras-MG, 1998.

Família	Produção de tubérculos Por planta	Porcentagem tubérculos graúdos	Peso médio tubérculos	Densidade de tubérculos
Apuã x Apuã	299,96	20,50	53,49	1,0713
Apuã x Atlantic	394,19	54,41	93,76	1,0721
Apuã x Baronesa	304,93	29,52	70,56	1,0695
Apuã x Chiquita	404,00	40,51	102,56	1,0699
Apuã x Monalisa	410,21	40,72	127,85	1,0669
Atlantic x Atlantic	256,25	49,12	76,33	1,0808
Atlantic x Baraka	443,34	45,05	97,2	1,0705
Atlantic x Baronesa	314,21	34,35	83,83	1,0743
Baraka x Baronesa	387,20	44,69	111,03	1,0650
Baraka x Chiquita	574,97	55,23	112,94	1,0696
Baronesa x Chiquita	355,50	47,00	82,46	1,0707
Baronesa x Monalisa	283,11	27,62	90,17	1,0649
Achat (ajustada)	472,17	52,32	108,34	1,0651
Monalisa (ajustada)	484,99	43,41	122,67	1,0664
Média geral ajustada	395,65	43,25	103,54	1,0702

Para os caracteres produção de tubérculos por planta e densidade relativa de tubérculos, os efeitos de CGC foram mais importantes, ao passo que para porcentagem de tubérculos graúdos e peso médio de tubérculos os efeitos da CEC foram mais importantes (Tabela 8). Isso quer dizer que para os dois primeiros caracteres os efeitos aditivos são mais importantes e para os outros há uma maior importância dos efeitos não aditivos. Embora as estimativas tenham caráter de uso restrito, o mais importante para definição de estratégias na condução dos programas de melhoramento, seria considerar o comportamento médio dos caracteres quantitativos em função das informações acumuladas na literatura. Todavia, como já mencionado anteriormente, Bradshaw e Mackay (1994) mostraram que a resposta para a questão da predominância de CGC e/ou CEC para caracteres herdados quantitativamente nem sempre foi a mesma. Conforme discutido por Veilleux e Lauer (1981) e Maris (1989), essas diferenças poderiam estar sendo causadas pelos tipos de materiais empregados nos estudos, delineamentos experimental e/ou condições ambientais.

Considerando apenas as informações dos híbridos por meio das estimativas das correlações entre a média observada e a média estimada conforme o modelo $\hat{Y}_{ij} = \hat{m} + \hat{g}_i + \hat{g}_j$, nota-se que houve correlações entre as médias, com valores de 0,87 para produção de tubérculos por planta, 0,39 para porcentagem de tubérculos

TABELA 8. Resumo das análises dialélicas para caracteres de produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos, do ensaio de Lavras - MG, 1998.

Causas da variação	G.L.	Q.M.			
		Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Cruzamentos	9	139836,16**	1093,47**	9092,73**	1,41*
CGC	6	195152,44**	713,82**	4866,97	1,87**
CEC	3	29536,69*	1852,78**	17544,27**	0,49
Resíduo	24	9683,59	234,41	2197,75	0,52
R^2_{CGC}		93,04	43,52	35,68	88,43
R^2_{CEC}		6,96	56,48	64,32	11,57

*** significativo ao nível de 5 e 1% respectivamente pelo teste F.
 R^2 (%) - coeficiente de determinação

grãos, 0,22 para peso médio de tubérculos e 0,93 para densidade relativa de tubérculos. Onde as correlações são altas, produção e densidade de tubérculos, os R^2 para CGC predominam, isto é, os efeitos aditivos predominam, e onde as correlações são baixas, peso médio e porcentagem de grãos, os R^2 para CEC predominam, ou seja, os efeitos não aditivos. As diferenças obtidas entre os dois locais são possivelmente devidas às condições ambientais diferentes e/ou ao delineamento experimental utilizado.

As Tabelas 9 e 10 apresentam as estimativas dos efeitos de CGC e CEC. Verifica-se que as cultivares Baraka e Chiquita se destacam pelos efeitos positivos e significativos para caracteres de produção. Por outro lado as cultivares Apuã e Baronesa, apresentaram estimativas negativas indicando a possibilidade de redução na produtividade das famílias quando em cruzamento com os demais materiais.

Para características de indústria se destacaram os cultivares Atlantic e Chiquita com estimativas positivas e significativas para densidade relativa de tubérculos. Embora os valores de CEC não possam ser testados, por fatos já comentados anteriormente, pela Tabela 10 pode-se observar que algumas combinações híbridas mostraram-se promissoras para seleção de indivíduos superiores, considerando principalmente o caráter produção.

Entre elas destacou-se a combinação Baraka x Chiquita, onde além da boa CEC, corresponde a genitores com alta capacidade geral de combinação e média superior às testemunhas. A família Apuã x Atlantic apresenta boa combinação híbrida para densidade de tubérculos, com média superior às testemunhas, sendo indicado para

TABELA 9. Efeitos das CGC estimadas pelo MQM para produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos grãos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos. Lavras - MG, 1998.

Cultivar	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos de grãos	Peso médio de tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Apuã	-26,0760*	0,3623	-9,2200	-0,1079
Atlantic	-15,8446	-0,5904	-8,5199	0,3989**
Baraka	78,6251**	3,2147	13,2899	-0,2862**
Baronesa	-93,0066**	-0,4585	8,8882	-0,0608
Chiquita	55,1985**	2,1270	-0,8328	0,1870*
Monalisa	17,4494	-10,3188**	-13,4007	-0,3297*

*,** significativo ao nível de 5 e 1% respectivamente pelo teste de t.

TABELA 10. Efeito das CEC estimadas pelo MQM para os caracteres produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos. Lavras - MG, 1998.

Cruzamentos	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio de tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Apuã x Atlantic	24,66	8,46	7,20	-0,05
Apuã x Baronesa	12,56	-7,92	-9,94	0,15
Apuã x Chiquita	-24,12	-3,75	11,86	-0,06
Apuã x Monalisa	7,38	1,38	-53,82	0,15
Atlantic x Baraka	-30,83	-0,62	2,22	-0,03
Atlantic x Baronesa	11,61	-11,99	-14,60	0,13
Baraka x Baronesa	-9,87	-0,20	4,35	-0,12
Baraka x Chiquita	29,32	0,59	-3,81	0,08
Baronesa x Chiquita	-4,14	3,93	-10,21	-0,02
Baronesa x Monalisa	-3,91	-0,73	28,49	-0,08

programas de melhoramento visando a produção de batata para a indústria.

As melhores famílias no ensaio de Lavras não foram as melhores no ensaio de Maria da Fé, devido a interação dos genótipos x ambientes. Mas pode-se observar nas Tabelas 4 e 9 que o comportamento das cultivares Chiquita e Baronesa foram coincidentes nos dois locais.

4.2. Seleção de múltiplas características

De posse das herdabilidades no sentido amplo a nível de clones (Tabela 6), estimaram-se os ganhos com a seleção direta e indireta considerando os caracteres produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos e densidade relativa de tubérculos. Na Tabela 11 encontram-se essas estimativas, considerando as proporções 5; 10 e 20% de clones selecionados. Observa-se para todos os caracteres que, o ganho percentual por meio da seleção indireta foi sempre inferior ao obtido pela seleção direta. De fato, segundo Falconer (1987), a seleção indireta somente seria superior à seleção direta se o caráter secundário apresentasse herdabilidade maior do que o caráter principal, se a intensidade de seleção no caráter

TABELA 11. Estimativas da herdabilidade (h^2), ganhos percentuais com seleção (GS%) e média dos clones seleccionados (\bar{X}_s) para os caracteres produção de tubérculos por planta (g), percentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos obtidas pela seleção direta e indireta de 5, 10 e 20% de 250 clones de batata, do ensaio de Lavras – MG, 1998.

Variável sob seleção	h^2 (%)	Proporção de clones seleccionados	Produção/planta		Porcentagem		Peso Médio		Densidade		Total geral GS (%)
			GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS(%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	
Produção tubérculos por planta	79,76	5 %	102,12	902,18	36,25	63,95	0,07	104,03	-0,02	1,0696	138,42
		10 %	85,05	817,53	33,96	62,64	1,17	111,36	-0,05	1,0690	120,13
		20 %	63,82	712,23	32,48	61,79	1,40	112,96	-0,05	1,0689	97,65
Porcentagem tubérculos Graúdos	75,76	5 %	40,91	598,55	83,38	90,85	3,25	125,41	-0,004	1,0701	127,54
		10 %	41,76	602,79	76,18	86,74	3,97	130,22	-0,004	1,0701	121,91
		20 %	31,34	551,12	64,95	80,33	2,72	121,81	0,047	1,0713	99,06
Peso médio Tubérculos	15,42	5 %	7,03	430,54	-0,84	42,77	11,35	179,75	-0,119	1,0674	17,42
		10 %	26,65	527,86	10,74	49,38	8,84	162,92	-0,123	1,0673	46,11
		20 %	24,96	519,47	21,42	55,48	6,87	149,68	-0,145	1,0668	53,11
Densidade relativa de tubérculos	45,51	5 %	-37,93	207,47	-28,06	27,23	-8,26	48,06	0,95	1,0925	-73,30
		10 %	-33,78	228,06	-27,38	27,62	-6,23	61,72	0,84	1,0899	-66,55
		20 %	-22,79	282,61	-13,70	35,43	-4,56	72,89	0,65	1,0854	-40,40
Critério Elston		10%	58,10	678,24	52,68	74,25	17,54	133,45	-0,03	1,0701	128,31
Soma de postos (rank) ¹		5%	68,02	733,06	66,38	81,14	4,90	136,44	0,17	1,0741	139,47
		10%	53,41	660,54	61,43	78,32	4,82	135,93	0,13	1,0732	119,79
		20%	39,99	594,04	52,27	73,09	3,87	129,52	0,17	1,0742	96,30

Ganho de seleção baseado no critério de Mulamba e Mock (1978).

secundário pudesse ser bem maior do que no caráter primário e se a correlação genética entre os dois fosse alta.

Pelos resultados da Tabela 11 fica evidente que a busca de um equilíbrio entre os quatro caracteres sob seleção direta não foi a melhor estratégia para estas famílias. Verifica-se que quando se seleciona os 10% de clones mais produtivos a média da densidade relativa de tubérculos foi de 1,0690 que é inferior à média da população de 1,0702. Por outro lado os 10% dos clones com maior densidade relativa de tubérculos, com média de 1,0899, apresentaram uma produção média de 228,06g/planta que é 33,78% inferior à média da população. A seleção em tandem, isto é, a seleção de um caráter por vez, resultará em pouca eficiência no programa de melhoramento.

Na prática, o que tem sido usado é empregar o método dos níveis independentes de eliminação, que se baseia no estabelecimento de níveis mínimos ou máximos para cada caráter e, posterior seleção dos clones cuja performance se enquadra dentro dos limites pré-estabelecidos (Barbosa, 1996). Procedendo dessa forma, estabeleceu-se para a seleção os seguintes limites mínimos: produção de tubérculos por planta acima de 500 g; porcentagem de tubérculos graúdos acima de 70%; peso médio de tubérculos acima de 100g e densidade relativa de tubérculos acima de 1,075. Seguindo esses critérios, selecionaram-se doze clones cujas médias dos caracteres anteriormente mencionados foram respectivamente, 707,55 g/planta; 82,79 % de tubérculos graúdos; 127,54 g/tubérculo e 1,0738 de densidade relativa dos tubérculos. Verificou-se ser possível selecionar clones dentro dos limites almejados, sendo a população inicial reduzida.

Tem sido verificado para batata, que a seleção em tandem é menos eficiente que a seleção pelo método dos níveis independentes de eliminação, que por sua vez é menos eficiente que a seleção com base em índices (Cruz, 1990). O emprego de índices de seleção viabiliza a seleção simultânea de caracteres agronomicamente importantes os quais normalmente são complexos e requerem a aplicação de critérios de seleção mais apurados. Os ganhos obtidos pelo emprego de índices de seleção constam na Tabela 11. Pode-se verificar que, embora a seleção direta tenha proporcionado a maximização dos ganhos individuais, a mesma não possibilitou a obtenção de ganhos em níveis satisfatórios para os demais caracteres. De acordo com Cruz (1990) os índices propostos por Elston (1963) e Mulamba e Mock (1978) caracterizam-se por eliminar a necessidade

de se estabelecer pesos econômicos relativos aos vários caracteres e de estimar as variâncias e covariâncias fenotípicas e genotípicas que, muitas vezes, provocam distorções no índice clássico, em função da baixa precisão a que estão associadas. Baseando-se nestas vantagens, verifica-se que o índice de Mulamba e Mock (1978) pode ser considerado bastante promissor para uso em programas de melhoramento de batata por ter apresentado ganhos percentuais bem distribuídos para cada caráter sem incorrer em ganhos negativos, como na seleção indireta. O índice de Elston (1963), na prática, seria apenas um algoritmo para o método dos níveis independentes de eliminação, principalmente quando se assume que w_j é nulo nos casos em que x_j está abaixo (ou acima) do nível mínimo (ou máximo) preestabelecido (Cruz, 1990). Isso levaria, novamente, à redução da população inicial num único ciclo seletivo. Este fato é inconveniente, visto que, altas intensidades de seleção nas primeiras avaliações poderiam eliminar clones com adaptação ampla em decorrência da seleção daqueles com adaptação específica. Uma alternativa para contornar esta situação seria a de aumentar o número de clones selecionados diminuindo os limites mínimos de seleção.

Em programas de melhoramento de batata sugere-se combinar a seleção em tandem com a aplicação do índice. Em tais programas cerca de 10 a 60 mil clones são avaliados na primeira geração clonal (Brown et al. 1984; Maris, 1988) e frequentemente mais de 90% desta população é eliminada baseando-se apenas em discriminações visuais (aparência geral de tubérculos) no próprio campo, sob o critério de seleciona ou descarta. A população remanescente é avaliada com melhor precisão nas gerações subsequentes, e neste caso a aplicação do índice de seleção seria de muita utilidade.

A utilização do índice soma de postos ou ranks, possibilitou uma melhor distribuição percentual dos ganhos para os caracteres sob seleção. Estes resultados são concordantes com os resultados de Barbosa e Pinto (1997) onde os autores encontraram resultados semelhantes entre a soma de postos ou rank e outros índices de seleção. O autor ainda comenta que esse procedimento pode ser de grande ajuda para os melhoristas na seleção de várias características simultâneas. Os clones selecionados, com base no índice soma de postos ou ranks, são mostradas na Tabela 12.

TABELA 12. Clones selecionados com base no índice soma de postos ou ranks e suas médias observadas. Lavras - MG, 1998.

Família	Número do clone	Produção tubérculos por planta	Porcentagem tubérculos graúdos	Peso médio tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Apuã x Apuã	08	463,58	63,28	119,37	1,0763
Apuã x Atlantic	03	661,08	84,00	123,00	1,0798
Apuã x Atlantic	08	763,58	91,90	134,07	1,0702
Apuã x Atlantic	16	435,25	81,67	140,00	1,0756
Apuã x Atlantic	11	520,25	75,15	138,37	1,0728
Apuã x Atlantic	05	512,33	68,31	116,02	1,0812
Apuã x Atlantic	09	366,08	79,92	112,09	1,0798
Apuã x Atlantic	21	611,08	74,53	117,14	1,0698
Apuã x Atlantic	01	520,25	81,00	160,00	1,0579
Apuã x Baronesa	07	650,25	57,29	147,44	1,0761
Apuã x Baronesa	05	371,08	70,01	131,13	1,0728
Apuã x Chiquita	18	593,58	52,09	120,33	1,0801
Apuã x Chiquita	09	567,96	47,19	124,80	1,0777
Apuã x Chiquita	23	618,58	65,66	111,68	1,0710
Apuã x Chiquita	28	451,08	62,00	108,36	1,0755
Apuã x Monalisa	08	772,33	67,50	181,71	1,0678
Atlantic x Alantic	20	361,92	78,32	103,62	1,0939
Atlantic x Atlantic	02	355,25	82,00	121,25	1,0776
Atlantic x Atlantic	11	624,42	89,77	116,03	1,0678
Atlantic x Atlantic	10	291,08	69,79	111,04	1,0916
Atlantic x Atlantic	01	516,08	51,34	96,46	1,0883
Atlantic x Atlantic	04	316,08	91,07	90,92	1,0887
Atlantic x Baraka	06	933,58	84,74	141,16	1,0754
Atlantic x Baraka	10	1061,08	83,34	145,33	1,0722
Atlantic x Baraka	11	787,34	66,40	133,12	1,0769
Atlantic x Baraka	17	676,08	79,00	150,92	1,0707
Atlantic x Baraka	24	493,58	74,45	113,40	1,0792

Tabela 12. Continuação

Famílias	Número do clone	Produção tubérculos por planta	Porcentagem tubérculos graúdos	Peso médio tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Atlantic x Baronesa	12	446,08	60,50	104,78	1,0804
Baraka x Baronesa	01	823,58	90,64	114,07	1,0597
Baraka x Baronesa	03	331,92	87,34	137,37	1,0708
Baraka x Chiquita	17	976,08	89,50	131,57	1,0732
Baraka x Chiquita	02	701,08	82,43	109,74	1,0743
Baraka x Chiquita	04	847,75	47,67	134,25	1,0759
Baraka x Chiquita	14	611,71	82,25	134,52	1,0698
Baraka x Chiquita	18	513,58	75,99	115,86	1,0775
Baraka x Chiquita	27	531,08	86,00	141,89	1,0697
Baraka x Chiquita	09	883,58	92,22	114,98	1,0616
Baraka x Chiquita	26	852,96	56,02	151,64	1,0703
Baraka x Chiquita	01	896,08	72,77	111,91	1,0669
Baraka x Chiquita	20	601,08	47,47	146,61	1,0703
Baraka x Chiquita	03	602,75	50,81	93,68	1,0834
Baranose x Chiquita	03	517,75	83,00	177,50	1,0576
Baronesa x Chiquita	17	631,08	98,35	142,52	1,0713
Baronesa x Chiquita	25	292,33	98,40	114,11	1,0871
Baronesa x Chiquita	19	353,58	71,37	121,46	1,0828
Baronesa x Chiquita	01	413,58	67,92	152,86	1,0690
Baronesa x Monalisa	04	740,25	88,87	148,33	1,0599
Baronesa x Monalisa	15	542,75	72,15	110,83	1,0727
Baronesa x Monalisa	01	570,25	73,21	140,00	1,0636

Pode-se observar (Tabela 12) que 22% dos clones selecionados, pertencem à família Baraka x Chiquita, cujos genitores apresentam pelo menos uma CGC positiva e significativa para os caracteres produção de tubérculos por planta e densidade relativa de tubérculos (Tabela 9). Em seguida a família Apuã x Atlantic, apresentou 16% dos clones selecionados, sendo que a cultivar Apuã apresenta CGC significativa apenas para o

caráter produção de tubérculos por plantas, e a cultivar Atlantic apresenta uma CGC significativa somente para o caráter densidade relativa de tubérculos (Tabela 9). Os clones selecionados das demais famílias aparecem em porcentagens menores. Vale ressaltar que da família Atlantic autofecundada foram selecionados seis clones, correspondendo à 12% do total.

4.2. Interação genótipos x ambientes

A interação genótipos x ambientes é um fenômeno importante na definição de estratégias de seleção e indicação de cultivares em programas de melhoramento. Identificar cruzamentos promissores baseando-se na média de locais poderá melhorar as perspectivas para seleção de clones com melhor estabilidade fenotípica. Para avaliar a magnitude das interações dos componentes genéticos devido a CGC e CEC por ambientes, faz-se necessário proceder uma análise conjunta. Para tanto, as variâncias residuais para as variáveis analisadas nos diferentes ensaios deverão ser homogêneas, conforme Gomes (1985). Contudo, espera-se também que os locais onde as famílias são avaliadas representem o ambiente ou região para qual os novos cultivares poderiam ser indicados. Neste trabalho considerou-se que os locais utilizados não constituem uma amostra representativa da região Sul de Minas Gerais e portanto o modelo foi considerado fixo. Por outro lado, como foram utilizados delineamentos experimentais bastantes diferentes nos dois locais e também o objetivo do experimento em cada local foi distinto, optou-se por não realizar a análise conjunta e discutir a interação genótipos x ambientes usando como referência a correlação entre as médias das famílias nos dois ambientes. Segundo Ramalho (1989), a inferência a respeito da interação genótipos x ambientes baseado na correlação pode ser feita sem maiores problemas, uma vez que a interação do tipo complexa é devido à falta de correlação entre as médias nos dois locais.

O quadrado médio da interação é desdobrado na expressão $1/2 (QM_1 - QM_2)^2 + \sqrt{QM_1 \cdot QM_2} (1 - r)$, sendo o primeiro termo referente à parte simples e o segundo à parte complexa da interação (Cruz e Regazzi, 1994). Nota-se que quanto maior a

correlação (r), menor é o valor referente à parte complexa da interação. Para a interação ser do tipo simples ou complexa, basta observar a concordância da magnitude relativa das médias com sinais positivos ou negativos nos dois locais, que conduzem à coeficientes de correlação elevados e de sinal positivo. Dessa forma, se considerarmos valores acima de 0,7 como correlação alta, a interação de famílias x ambientes para os caracteres produção de tubérculos por planta e densidade relativa de tubérculos são do tipo complexas e para porcentagem de tubérculos graúdos e peso médio de tubérculos são do tipo simples (Tabela 13).

A melhor alternativa seria realizar a seleção na média dos dois locais, visando minimizar o efeito dessa interação. Contudo, no ensaio de Maria da Fé cada clone foi representado por um tubérculo e todos os clones foram colhidos misturados, representando assim a média da família enquanto em Lavras, cada clone foi colhido separadamente possibilitando assim, a avaliação e seleção dos melhores clones. Esse fato impede a seleção dos clones na média dos dois locais.

TABELA 13. Correlação da média das famílias, da CGC e da CEC nos dois locais, considerando os caracteres produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos. Maria da Fé - MG, 1997 e Lavras - MG, 1998.

Fator correlacionado	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio de tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Média	0,64*	0,82**	0,75**	0,67*
CGC	0,63	0,31	-0,05	0,66
CEC	-0,12	0,31	0,05	-0,62

4.3. Melhor Preditor Linear Não Tendencioso (BLUP)

Os resultados obtidos pelo método BLUP e pelo método dos quadrados mínimos podem ser vistos na Tabela 14.

TABELA 14. Resumo dos componentes quadráticos e das variâncias obtidas pelos métodos MQM e BLUP respectivamente, para produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos. Lavras - MG, 1998.

	Produção de		Porcentagem de		Peso médio de		Densidade relativa	
	tubérculos por planta		tubérculos graúdos		tubérculos		de tubérculos	
	MQM	BLUP	MQM	BLUP	MQM	BLUP	MQM	BLUP
	ϕg	σ_G^2	ϕg	σ_G^2	ϕg	σ_G^2	ϕg	σ_G^2
Tratamento comum	0	0,4931	836,37	29,4280	806,522	439,1040	0	0,0001
CGC	46367,21	3775,26	119,85	0,26	667,30	1,77	1,34	0,00001
CEC	19853,09	211,65	1618,38	21,06	15346,52	208,16	0	0,00003
CLONE	38175,79	30705,91	732,68	493,06	400,74	433,17	0,4364	0,0048
CEC/CGC+CEC	0,299	0,053	0,93	0,98	0,96	0,99	0	0,75
Erro	9683,59	7926,78	234,20	169,07	2197,75	1491,93	0,522	0,019

Pode-se observar que as variâncias calculadas pelo método BLUP são inferiores aos componentes quadráticos do MQM, devido o modelo do BLUP ser considerado aleatório e o MQM fixo. Além disso, o método BLUP leva em consideração o coeficiente de parentesco entre os clones avaliados, tornando a estimativa mais confiável. Outro fato que chama a atenção é a proporção da variância total que é explicada pela variância da capacidade específica de combinação. Vale ressaltar que para produção de tubérculos por planta os métodos BLUP e MQM são coincidentes em mostrar a maior importância da variância aditiva, já para densidade relativa de tubérculos os métodos apontam resultados contrastantes, isto é, para o MQM os efeitos aditivos são mais importantes e já para o BLUP os efeitos de dominância são os mais importantes. Fica bem evidente a superioridade do BLUP quando se compara a variância do erro entre os métodos. Em todos os caracteres avaliados o BLUP apresentou estimativas de variância do erro inferiores ao MQM, apresentando maior confiabilidade dos resultados.

Os valores da capacidade geral de combinação estimados pelo método BLUP encontram-se na Tabela 15. Verifica-se que os valores obtidos, embora relativamente altos, são não significativos pelo teste t, devido, provavelmente, a valores muito baixos na diagonal da matriz inversa, que são usados para calcular o desvio padrão do teste t. Esperava-se que os valores de CGC fossem significativos, uma vez que o quadrado médio do erro calculado pelo método BLUP é inferior ao do MQM.

Pelo exposto na Tabela 15, o melhor cruzamento seria Baraka x Chiquita pois ambos genitores apresentaram valores positivos de CGC, embora estes valores sejam não significativos pelo teste t. Esse cruzamento citado acima, é concordante com o melhor cruzamento estimado pelo MQM. Essa igualdade de métodos pode ser devido a correlação entre as CGC dos dois métodos serem positivas e altas.

TABELA 15. Efeitos das CGC estimada pelo método BLUP para produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos. Lavras - MG, 1998.

Parentais	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio de tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Apuã	-48,32130	-0,04840	-0,22260	-0,00038
Altantic	-58,99790	0,00770	-0,19890	-0,00100
Baraka	30,38910	0,02240	0,16100	0,00004
Baronesa	-77,13700	-0,05000	-0,13630	-0,00001
Chiquita	9,74290	0,01980	0,05390	0,00027
Monalisa	-28,28703	-0,02980	0,05540	-0,00024

As CEC estão apresentadas na Tabela 16. Nota-se que as correlações entre as CEC calculadas por ambos os métodos não são tão altas quanto para a CGC, embora para produção de tubérculos por planta essa correlação seja superior a 0,80. Os valores apresentados na Tabela 16 são baixos, como os da Tabela 15, e também foram não significativos pelo teste de t. Nesse trabalho, o BLUP não permitiu uma diferenciação entre os genitores (CGC) que auxiliasse o melhorista na escolha das melhores combinações híbridas. Por outro lado o BLUP permite ao melhorista estimar um valor para cada clone, possibilitando assim a seleção dos melhores clones, com base nesse valor estimado, independente do cruzamento realizado.

Não é possível determinar os melhores cruzamentos pelos dois métodos utilizados, uma vez que os valores da CEC não puderam ser testados pelo MQM e foram não significativos pelo método BLUP.

Na Tabela 17 estão apresentados os ganhos com a seleção e as médias dos indivíduos selecionados. Comparando a Tabela 17 com a Tabela 11, podemos observar que os ganhos diretos para produção de tubérculos por planta e porcentagem de tubérculos graúdos são maiores considerando o MQM e os ganhos diretos para peso médio de tubérculos e densidade relativa de tubérculos são maiores considerando o BLUP. Com base nessas duas tabelas, ainda podemos dizer que os ganhos com o BLUP, para os caracteres peso médio de tubérculos e densidade relativa de tubérculos, são duas vezes maiores que os ganhos com o MQM.

TABELA 16. Efeito das CEC estimadas pelo método BLUP para os caracteres produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos. Lavras - MG, 1998.

Cruzamentos	Produção de tubérculos por planta	Porcentagem de tubérculos graúdos	Peso médio de tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Apuã x Atlantic	3,53123	4,14623	3,60040	0,00067
Apuã x Baronesa	0,62380	-1,34465	-7,48032	-0,00005
Apuã x Chiquita	-3,45981	-1,99505	7,99510	0,00026
Apuã x Monalisa	0,32727	0,73051	13,17652	-0,00001
Atlantic x Baraka	-2,92513	-1,45502	2,11507	0,00021
Atlantic x Baronesa	2,18411	-0,85357	1,40423	0,00012
Baraka x Baronesa	-2,29835	0,48588	7,58557	-0,000006
Baraka x Chiquita	6,92709	2,80246	9,23903	-0,00011
Baronesa x Chiquita	-2,92106	0,80387	-10,88689	0,00042
Baronesa x Monalisa	-1,91314	-3,15735	-6,65800	-0,00051

No que diz respeito aos ganhos indiretos (Tabelas 11 e 17) as estimativas do BLUP, no geral, levam pequena vantagem em relação ao MQM. Por exemplo, quando se seleciona para produção, no MQM, quaisquer que sejam as intensidades de seleção, o ganho para densidade de tubérculos é praticamente nulo. Já para o método BLUP quando se seleciona para produção o ganho para densidade é negativo na intensidade de 20%, quer dizer que para as demais intensidades de seleção (5 e 10%) pode-se usar o BLUP para selecionar clones mais produtivos sem deteriorar a qualidade de tubérculos.

Nas Tabelas 11 e 17 pode-se observar que a média do caráter peso médio de tubérculos é inferior para o BLUP e mesmo assim o ganho com a seleção é de maior magnitude. Isso se deve a alguns fatores, tais como os modelos estatísticos são diferentes para os dois métodos, isto é, o BLUP considera os clones como efeito aleatório ao passo que o MQM considera a média da família como efeito fixo. Um outro fator é que a magnitude das herdabilidades são diferentes para os dois métodos, isto é, para o BLUP usa-se uma herdabilidade para cada clone e para o MQM usa-se uma única herdabilidade para todos os clones, e isso está diretamente relacionado com o ganho de seleção.

TABELA 17. Estimativas dos ganhos percentuais com seleção (GS%) e média dos clones selecionados (\bar{X}_s) pelo método BLUP, para os caracteres produção de tubérculos por planta (g), porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos (g) e densidade relativa de tubérculos obtidas pela seleção direta e indireta de 5, 10 e 20% de 250 clones de batata. Lavras - MG, 1998.

Variável sob seleção	Proporção de clones selecionados	Produção/planta		Porcentagem graúdo		Peso Médio		Densidade		Total geral GS (%)
		GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	GS (%)	\bar{X}_s	
Produção de tubérculos por planta	5 %	63,48	775,94	33,63	59,88	12,74	107,31	0,45	1,0712	110,30
	10 %	52,15	722,17	34,02	60,05	9,88	104,58	0,30	1,0695	96,35
	20 %	37,34	651,86	27,92	57,32	8,12	102,91	-0,11	1,0652	73,27
Porcentagem tubérculos graúdos	5 %	16,58	553,36	61,57	72,40	5,12	100,05	-0,99	1,0558	82,28
	10 %	23,09	584,26	54,37	69,17	7,47	102,29	-0,78	1,0581	84,15
	20 %	13,51	538,78	45,93	65,39	4,96	99,90	-0,69	1,0590	63,71
Peso Médio Tubérculos	5 %	12,14	532,28	16,00	51,98	22,45	116,55	-0,61	1,0599	49,98
	10 %	16,30	552,01	11,90	50,14	19,17	113,43	0,06	1,0671	47,43
	20 %	11,18	527,71	16,22	52,08	16,11	110,51	0,065	1,0670	43,57
Densidade relativa de tubérculos	5 %	-15,95	398,92	-10,56	40,08	8,27	103,05	2,52	1,0932	-15,73
	10 %	-5,66	447,80	-1,54	44,12	4,54	99,50	2,05	1,0882	-0,61
	20 %	-11,63	419,47	-3,55	43,22	1,12	96,25	1,45	1,0819	-12,61
Soma de postos (rank) ¹	5%	58,34	751,55	58,47	71,00	19,42	113,66	0,65	1,0716	136,88
	10%	41,76	672,87	44,25	64,63	16,44	110,83	0,49	1,0700	102,94
	20%	24,21	589,57	41,64	63,46	12,55	107,12	0,35	1,0685	78,75

¹ Ganho de seleção baseado no critério de Mulamba e Mock (1978).

Na tentativa de comparar diretamente os dois métodos fez-se a estimativa da eficiência de seleção, ou seja, a proporção de clones que cada metodologia estatística consegue identificar e que são coincidentes entre si. Valores elevados da eficiência de seleção (superiores a 90%) indicam que os melhores clones selecionados por uma metodologia também o seriam pela outra. Para todos os caracteres avaliados, produção de tubérculos por planta, porcentagem de tubérculos graúdos, peso médio de tubérculos e densidade relativa de tubérculos o índice de coincidência entre as metodologias foi muito baixo, inferior a 2% e em alguns casos com valores iguais a zero, indicando que, os clones selecionados por uma metodologia não o seriam pela outra. Esse fato ocorreu provavelmente devido ao índice de seleção que foi utilizado para as duas metodologias.

Na Tabela 18 são apresentados os clones selecionados, onde as médias desses clones foram estimadas pela metodologia BLUP, usando para a seleção o índice soma de postos ou ranks. Verifica-se nessa tabela, que 16% dos clones selecionados pertencem à família Apuã autofecundada, seguidos por 14% dos clones da família Apuã x Chiquita e 12% dos clones das famílias Atlantic autofecundada, Atlantic x Baraka e Baronesa x Chiquita. Esses resultados, indicam que as cultivares Apuã e Atlantic possuem carga genética baixa, e as demais famílias supracitadas, possuem boa complementariedade, isto é, boa capacidade específica de combinação para as características avaliadas.

Tabela 18. Clones selecionados com base no índice soma de postos ou ranks e suas médias estimadas pelo método BLUP. Lavras - MG, 1998.

Família	Número do clone	Produção tubérculos por planta	Porcentagem tubérculos graúdos	Peso médio tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Apuã x Apuã	20	646,65	66,27	117,83	1,0765
Apuã x Apuã	13	820,74	72,08	117,30	1,0757
Apuã x Apuã	14	826,52	74,31	99,58	1,0777
Apuã x Apuã	17	621,27	69,72	110,89	1,0736
Apuã x Apuã	07	553,04	71,70	98,67	1,0856
Apuã x Apuã	04	503,43	73,82	103,74	1,0061
Apuã x Apuã	05	637,91	63,47	117,58	1,0078
Apuã x Apuã	02	569,96	63,56	120,15	1,0012
Apuã x Atlantic	22	874,05	65,22	120,22	1,0778
Apuã x Atlantic	02	737,91	64,35	118,13	1,0707
Apuã x Atlantic	14	401,43	62,28	95,64	1,0917
Apuã x Atlantic	12	475,94	57,04	109,21	1,0905
Apuã x Atlantic	23	360,64	66,62	96,92	1,0798
Apuã x Baronesa	07	530,43	76,93	122,31	1,0772
Apuã x Baronesa	02	663,25	73,78	109,87	1,0696
Apuã x Chiquita	03	875,25	74,63	110,23	0,9999
Apuã x Chiquita	29	844,19	72,44	126,54	1,0069
Apuã x Chiquita	10	351,70	56,96	126,53	1,0842
Apuã x Chiquita	19	504,18	67,14	115,43	1,1225
Apuã x Chiquita	15	361,99	37,32	137,92	1,0840
Apuã x Chiquita	25	360,69	67,99	114,60	1,1107
Apuã x Chiquita	04	545,40	69,66	103,17	0,9992
Apuã x Monalisa	06	799,31	54,94	121,53	1,0725
Apuã x Monalisa	07	675,12	54,40	105,96	1,0670
Atlantic x Atlantic	01	681,50	71,32	121,71	1,0815
Atlantic x Atlantic	08	667,75	68,54	100,49	1,0839
Atlantic x Atlantic	11	704,14	56,91	109,06	1,0826

Tabela 18. Continuação.

Famílias	Número do clone	Produção tubérculos por planta	Porcentagem tubérculos graúdos	Peso médio tubérculos	Densidade relativa de tubérculos
Atlantic x Atlantic	20	638,18	53,18	120,25	1,0040
Atlantic x Atlantic	18	507,97	61,70	101,75	1,0033
Atlantic x Atlantic	24	555,84	55,90	113,75	1,0780
Atlantic x Baraka	01	819,39	77,70	113,90	1,0685
Atlantic x Baraka	23	688,35	57,45	96,59	1,0781
Atlantic x Baraka	11	682,34	53,15	83,86	1,0819
Atlantic x Baraka	21	312,19	55,75	99,63	1,0777
Atlantic x Baraka	08	520,18	45,30	85,03	1,0823
Atlantic x Baraka	04	479,63	73,83	108,28	1,0692
Baraka x Baronesa	05	351,79	62,12	96,43	1,0120
Baraka x Baronesa	14	552,87	63,01	76,12	1,0780
Baraka x Baronesa	03	371,58	58,10	104,04	1,0031
Baraka x Chiquita	11	694,26	68,26	95,71	1,0826
Baraka x Chiquita	17	588,95	58,57	110,07	1,0842
Baronesa x Chiquita	15	664,45	54,48	97,85	1,0867
Baronesa x Chiquita	01	553,75	69,11	95,16	0,9982
Baronesa x Chiquita	14	520,72	60,62	92,51	1,1330
Baronesa x Chiquita	08	494,18	61,23	105,99	1,1461
Baronesa x Chiquita	10	595,81	61,56	99,99	1,1452
Baronesa x Chiquita	11	488,01	72,11	95,77	1,1348
Baronesa x Monalisa	06	609,28	50,96	101,94	1,0814
Baronesa x Monalisa	04	604,78	62,04	103,02	1,0716

5. CONCLUSÕES

Os métodos MQM e BLUP são concordantes no que diz respeito às estimativas da CGC.

As cultivares Chiquita, Baraka e Monalisa se destacam pelos valores elevados de CGC para o caráter produção, enquanto a cultivar Atlantic se destaca para o caráter densidade relativa de tubérculos.

O uso do índice de seleção proposto por Mulamba e Mock (1978) auxiliou na seleção dos melhores clones, sendo de fácil utilização.

Dentre as famílias avaliadas, as mais promissoras em gerar clones superiores foram Atlantic x Baraka e Baraka x Chiquita, que contribuíram cada uma, com 28,6% dos clones selecionados.

Há necessidade de mais estudos sobre o método BLUP, uma vez que não houve diferenças significativas para com o MQM e, na literatura existem vários relatos de sua superioridade.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉ, C. M. G. Avaliação da melhor predição linear não tendenciosa (BLUP) associada ao uso de marcadores moleculares na análise dialélica. Lavras: UFLA, 1999. 62 p. (Dissertação de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- Anuário da Agricultura Brasileira. NAKAMAE, I. J.; PASTRELLO, C. P. (eds). Argos Comunicações. São Paulo, 1999.
- BAKER, R. J. Selection indices in plant breeding. Flórida: CRC Press, 1986. 218p.
- BARBOSA, M. H. P. Capacidade combinatória e comparação entre critérios de seleção de clones de batata (*Solanum tuberosum* L.). Lavras: UFLA, 1996. 141 p. (Tese Doutorado em Fitotecnia).
- BEARZOTI, E. Comparação entre métodos estatísticos na avaliação de clones de batata em um programa de melhoramento. Lavras: ESAL, 1994. 128p. (Dissertação-Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- BEARZOTI, E.; PINTO, C. A. B. P. Dimensionamento de parcela em experimentos de seleção de batata (*Solanum tuberosum* L.). *Ciência e Prática*, v. 20, n. 2, p. 151-159, 1995.
- BERNARDO, R. Best linear unbiased prediction of maize single-cross performance. *Crop Science*, Madison, v. 36, n. 1, p. 50-56, 1996a.
- BERNARDO, R. Genetic models for predictiong maize performance in unbalanced yield trial data. *Crop Science*, Madiso, v. 35, n. 1, p. 141-147, 1995.
- BERNARDO, R. Prediction of maize single-cross performance using RFLP's and information from related hybrids. *Crop Science*, Madison v. 34, n. 1, p. 20-25, 1994.

- BEZERRA, F. M. L.** Coeficientes de cultura e efeitos de déficits hídricos nos diferentes estádios fenológicos sobre a produção da batata (*Solanum tuberosum*). Piracicaba: ESALQ, 1995. 131p. (Tese-Doutorado em Irrigação e Drenagem).
- BINGHAM, E. T.** Maximizing heterozygosity in autopolyploids. In: LEWIS, W. H. (ed). **POYPLOIDY: BIOLOGICAL RELEVANCE**, Plenum Press, New York, 1980. p. 471-489.
- BIRHMAN, R. K.; KANG, G. S.** Analysis of variation and interrelationships in potato germplasm. *Euphytica*, Wageningen, v. 68, p. 17-26, 1993.
- BONIERBALE, M. W.; PLAISTED, R. L.; TANKSLEY, S. D.** A test of the maximum heterozygosity hypothesis using molecular markers in tetraploid potatoes. *Theoretical and Applied Genetics*, Viena, v. 86, p. 481-491, 1993.
- BRADSHAW, J. E.; MACKAY, G. R.** Breeding strategies for clonally propagated potatoes. In: BRADSHAW, J. E.; MACKAY, G. R. (eds). **Potato genetics**. Wallingford: CAB INTERNATIONAL, 1994. P.467-497.
- BROWN, J.; CALIGARI, P. D. S.; MACKAY, G. R.; SWAN, G. E. L.** The efficiency of seedling selection by visual preference in a potato breeding programme. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, v.103, p. 339-346, 1984.
- BROWN, J.; CALIGARI, P. D. S.** Cross prediction in a potato breeding programme by evaluation of parental material. *Theoretical and Applied Genetics*, Viena, v. 77, p. 246-252, 1989.
- BROWN, J.; CALIGARI, P. D. S.** Cross prediction in a potato breeding programme. In: KEARSEY, M. J.; WERNER, C. P. (eds). **Biometrics in plant breeding**, Birmingham: EUCARPIA, 1986. p.348-355.
- BROWN, J.; CALIGARI, P. D. S.; DALE, M. F. B.; SWAN, G. E. L.; MACKAY, G. R.** The use of cross prediction methods in a practical potato breeding programme. *Theoretical and Applied Genetics*, Viena, v. 76, p. 33-38, 1988.
- BROWN, J.; CALIGARI, P. D. S.; MACKAY, G. R.** The repeatability of progeny in the early generations of a potato breeding programme. *Annals of Applied Biology*, London, v. 110, p. 365-370, 1987.

- BRUNE, S.; MELO, P. E de; LIMA, M. F. Resistência a *Alternaria solani*, características agrônômicas e qualidade de fritura em clones de batata imunes a PVY e PVX. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 12, n. 2, p. 125-130, 1994.
- BUENO FILHO, J. S. de S. Modelos mistos na predição de valores genéticos aditivos em testes de progênies florestais. Piracicaba: ESALQ, 1997. 118p. (Tese de Doutorado).
- BULMER, M. G. Inbreeding depression and heterosis, the diallel cross. In: _____. *The mathematical theory of quantitative genetics*. New York: Oxford University Press, 1980. Cap. 7, p. 105-120.
- BUSO, J. A. Os programas de melhoramento genético de batata no Brasil. In: HIDALGO, O. A. ; RINCÓN, H. R. (eds). *Avances en el mejoramiento genetico de la papa en los países del cono sur*. Lima: CIP, 1990. P-31-34.
- BUSO, J. A.; AVILA, A. C.; BEEK, M. A.; PUENTE, F.; REIFSCHNEIDER, F. J. B. Melhoramento para resistência a viroses em batata no Brasil: Metodologia de avaliação e resultados. In: HIDALGO, O. A.; RINCÓN, H. R. (eds). *Avances en el mejoramiento genetico de la papa en los países del cono sur*. Lima: CIP, 1990. p. 95-99.
- CALDWELL, B. E.; WEBER, C. R. General, average and specific selection indices for yield in F₄ and F₅ soybean populations. *Crop Science*, Madison, v. 5, p. 223-226, 1965.
- CALIGARI, P. D. S.; BROWN, J. The use of univariate cross prediction methods in the breeding of a clonally reproduced crop (*Solanum tuberosum*). *Heredity*, Essex, v. 57, p. 395-401, 1986.
- CALIGARI, P. D. S.; POWELL, W.; LIDDELL, K.; DE MAINE, M. J.; SWAN, G. E. L. Methods and strategies for detecting *Solanum tuberosum* dihaploids in interspecific crosses with *S. phureja*. *Annals of Applied Biology*, London, v. 112, p. 323-328, 1988.
- CAMARGO FILHO, W. P.; SUEYOSHI, M. L. S.; CAMARGO, A. M. M. P.; MAZZEI, A. R. Produção e mercado de batata no Brasil, no período 1971-90. *Agricultura em São Paulo*, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 183-204, 1993.

- CARVALHO, S. P. Métodos alternativos de estimação de coeficientes de trilha e índices de seleção. Viçosa: UFV, 1995. 163p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- CRUZ, C. D. Aplicação de algumas técnicas multivariadas no melhoramento de plantas. Piracicaba: ESALQ, 1990. 188p. (Tese - Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. Modelos Biométricos Aplicados ao Melhoramento Genético. Viçosa: UFV, 1994. 390p.
- CRUZ, C. D.; VENCOSKY, R. Comparação de alguns métodos de análise dialélica. Revista Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, v. 12, n. 2, p. 425-438, 1989.
- CUNHA, A. L. Caracterização agronômica e produção de pólen $2n$ de híbridos de dihaplóides de *Solanum tuberosum* x *S. chacoense*. Lavras: ESAL, 1992. 83p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- DARMO, E.; PELOQUIN, S. J. Use of $2x$ *tuberosum* haploid-wild species hybrids to improve yield and quality in $4x$ cultivated potato. Euphytica, Wageningen, v. 53, p. 1-9, 1991.
- DE JONG, H.; BURNS, V. J. Inheritance of tuber shape in cultivated diploid potatoes. American Potato Journal, Orono, v. 70, p. 267-283, 1993.
- DELLAERT, L. M. W.; SWIEZYNSKI, K. M. The importance of parental line breeding and the selection of superior parents in potato breeding: an introduction of the conference theme. In: LOUWES, K. M.; TOUSSAINT, H. A. J. M.; DELLAERT, L. M. W. (eds). PARENTAL LINE BREEDING AND SELECTION IN POTATO BREEDING. PROCEEDINGS OF THE JOINT CONFERENCE OF THE EAPR BREEDING SECTION AND THE EUCARPIA POTATO SECTION, Wageningen: EAPR/EUCARPIA, 1989. p. 5-11.
- ELSTON, R. C. A weight-free index for the purpose of ranking or selection with respect to several traits at a time. Biometrics, Tucson, v. 19, p. 85-97, 1963.
- ENCONTRO NACIONAL DE PRODUÇÃO E ABASTECIMENTO DE BATATA. 7, Araucária, 1993. Anais... Araucária, SOB, 1994. 78p.

- EUCLYDES, R. F.** Uso do sistema para simulação *Genesys* na avaliação de métodos de seleção clássicos e associados a marcadores moleculares. Viçosa: UFV, 1996. 150p. (Tese de Doutorado).
- EWING, E. E.** Heat stress and the tuberization stimulus. *American Potato Journal*, Orono, v. 58, n. 1, p. 31-49, 1981.
- FALCONER, D. S.** Introdução à Genética Quantitativa. Viçosa: UFV, 1987. 279p.
- FEDERER, W. T.** Augmented (or hoonuiaku) designs. *Hawaiian Planters Record*, Honolulu, v. 55, p. 191-208, 1956.
- FERREIRA, D. F.; REZENDE, G. D. S. P.; RAMALHO, M. A. P.** An adaptation of Griffing's method IV of complete diallel cross analysis for experiments repeated in several environments. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 16, n. 2, p. 357-366, 1993.
- GARDNER, C. O.** Teoria de genética estatística aplicable a las medias de variedades, sus cruces y poblaciones afines. *Fitotecnia Latinoamericana*, Bogotá, v. 2, p. 11-12, 1965.
- GARDNER, C. O.; EBERHART, S. A.** Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. *Biometrics*, Tucson, v. 22, p. 439-452, 1966.
- GAUR, P. C.; KISHORE, H.; GUPTA, P. K.** Studies on character association in potatoes. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v. 90, p. 215-219, 1978.
- GERALDI, I. O.; MIRANDA FILHO, J. B.** Adapted models for the analysis of combining ability of varieties in partial diallel crosses. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 11, n. 2, p. 419-430, 1988.
- GOLMIRZAIE, A. M.; ORTIZ, R.; SERQUÉN, F.** Genética e mejoramiento de la papa mediante semilla (sexual). Lima: CIP, 1990. 35p.
- GOMES, F. P.** Curso de estatística experimental. 11 ed., Piracicaba, ESALQ/USP, 1985. 466p.

- GOPAL, J.** Identification of superior parents and crosses in potato breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Viena, v. 96, p. 287-293, 1998.
- GOULD, W. A.** Quality of potatoes for chip manufacture. In: **THE POTATO ASSOCIATION OF AMERICA SYMPOSIUM POTATO QUALITY INDUSTRY NEEDS FOR GROWTH**. Grand Forks, 1988. P. 10-20.
- GRIFFING, B.** A generalised treatment of the use of diallel crosses in quantitative inheritance. **Heredity**, Essex, v. 10, p. 31-50, 1956a.
- GRIFFING, B.** Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. **Australian Journal Biological Science**, Melbourne, v. 9, p. 463-493, 1956b.
- HAMBLIN, J.; ZIMMERMANN, M. J. de O.** Breeding common bean for yield mixtures. **Plant Breeding Reviews**, Connecticut, v. 4, p. 245-272, 1986.
- HARVILLE, D. A.** Optimal procedures for some constrained selection problems. **Journal of the American Statistical Association**, Washington, v. 69, p. 446-456, 1974.
- HAYMAN, B. I.** The analysis of variance of diallel tables. **Biometrics**, Tucson, v. 10, p.235-244, 1954a.
- HAZEL, L. N.** The genetic basis for constructing selection indexes. **Genetics**, Baltimore, v. 28, p. 476-490, 1943.
- HENDERSON, C. R.** **Aplications of linear models in animal breeding**. Ontario, University of Guelph, 1984. 462p.
- HENDERSON, C. R.** Best Linear Unbiased Estimation and Prediction under a selection model. **Biometrics**, Raleigh, v. 31, n. 2, p. 423-447, 1975a.
- HENDERSON, C. R.** General flexibility of linear models for sire evaluation. **Journal Dairy Science**, Champaing, v. 57, n. 8, p. 963-972, 1974.
- IWANAGA, M.; SCHMIEDICHE, P.** **Uso de espécies silvestres para mejorar los cultivares de papa**. Lima: CIP Circular, v. 17, n. 2, p. 1-7, 1989.

- JEYARUBAN, M. G.; GIBSON, J. P.; GOWE, R. S. Comparison of index selection and Best Linear Unbiased Prediction for simulated layer poultry data. *Poultry Science*, V. 74, n. 7, p. 1566-1576, 1995.
- JINKS, J. L.; HAYMAN, B. I. The analysis of diallel crosses. *Newsletter. Maize Genetics Cooperative, Urbana*, v. 27, p. 48-53, 1953.
- KEMPTHORNE, O. The theoretical values of correlations between relatives in random mating populations. *Genetics*, Baltimore, v. 40, p. 153-167, 1955.
- KEMPTHORNE, O.; CURNOW, R. N. The partial diallel cross. *Biometrics*, Tucson, v. 17, p. 229-250, 1961.
- KILLICK, R. J. Genetic analysis of several traits in potatoes by means of a diallel cross. *Annals of Applied Biology*, London, v. 86, p. 279-289, 1977.
- LEVINGS III, C. S.; DUDLEY, J. W. Evaluation of certain mating designs for estimation of genetic variance in autotetraploid alfalfa. *Crop Science*, Madison, v. 3, n. 6, p. 532-535, 1963.
- LIN, C. Y. Index selection for genetic improvement of quantitative characters. *Theoretical and Applied Genetics*, Viena, v. 52, p. 49-56, 1978.
- LYNCH, D. R.; KOZUB, G. C. The association between potato tuber yield and the components of yield in irrigated and dryland environments in the prairies. *Canadian Journal of Plant Science*, Ottawa, v. 71, p. 279-287, 1991.
- MACKAY, G. R. Selecting and breeding for better potato cultivars. In: ABBOT, A. J.; ATKIN, R. K. (eds). *Improving vegetatively propagated crops*. New York: Academic Press, 1987. P. 181-196.
- MALÉCOT, G. *Les mathématiques de l'hérédité*. Masson, Paris, 1948. 80p.
- MARIS, B. Analysis of an incomplete diallel cross among three spp. *tuberosum* varieties and seven long-day adapted ssp. *andigena* clones of the potato (*Solanum tuberosum* L.). *Euphytica*, Wageningen, v. 41, p. 163-182, 1989.
- MARIS, B. Comparison of diploid and tetraploid potato families derived from *Solanum phureja* x dihaploid *S. tuberosum* hybrids and their vegetatively doubled counterparts. *Euphytica*, Wageningen, v. 46, p. 15-33, 1990.

- MARIS, B. Correlations within and between characters and generations as a measure for the early generation selection in potato breeding. *Euphytica*, Wageningen, v, 37, p. 205-224, 1988.
- MARTINS, P. R. Capacidade de combinação de cultivares de batata para reação à pinta-preta e outros caracteres agronômicos. Lavras: UFLA, 1995a. 64p. (Dissertação de Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- MARTINS, E. N. Desenvolvimento de uma estratégia computacional para seleção de coelhos, usando a melhor predição não viesada. Viçosa: UFV, 1995b. 117p. (Tese de Doutorado).
- MARTINS, P. R.; PINTO, C. A.B. P. Indução de florescimento e pegamento de frutos em polinizações controladas em batata. *Ciência e Prática*, Lavras, v. 18, n. 4, p. 370-377, 1994.
- MENDIBURU, A. O.; PELOQUIN, S. J. Bilateral sexual polyploidization in potatoes. *Euphytica*, Wageningen, v. 26, p. 573-583, 1977.
- MENDOZA, H. A.; HAYNES, F. L. Genetic basis of heterosis for yield in the autotetraploid potato. *Theoretical and Applied Genetics*, Viena, v. 45, p. 21-25, 1974a.
- MENDOZA, H. A.; HAYNES, F. L. Genetic relationship among potato cultivars grown in the United States. *HortScience*, Alexandria, v. 9, p. 328-330, 1974b.
- MENDOZA, H. A.; HAYNES, F. L. Some aspects of breeding and inbreeding in potatoes. *American Potato Journal*, Orono, v. 50, p. 216-222, 1973.
- MENEZES, C. B. de; PINTO, C. A. B. P. Efeitos de temperaturas altas na produção da batata e escolha de parentais para o melhoramento visando seleção de clones tolerantes. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFLA, 8, e SEMINÁRIO DE AVALIAÇÃO DO PIBIC/CNPq, 3, Lavras, 1995. Resumos ... Lavras: UFLA, 1995. 222p.
- MIRANDA FILHO, J. B.; GERALDI, I. O. An adapted model for the analysis of partial diallel crosses. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v. 3, p. 677-688, 1984.

- MOMENTÉ, V. G. Comparação entre diferentes tipos de famílias clonais para o melhoramento genético da batata (*Solanum tuberosum* L.). Lavras: ESAL, 1994. 83p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- MORAIS, O. M. Seleção de clones híbridos de dihaplóides de *Solanum tuberosum* L. x *S. chacoense* Bitt para produção, peso específico dos tubérculos e alta frequência de pólen 2n. Lavras: ESAL, 1994. 70p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).
- MORAIS, A. R.; OLIVEIRA, A. C.; GAMA, E. E. G.; SOUZA JÚNIOR, C. L. A method for combined analysis of the diallel crosses repeated in several environments. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, p. 371-381, 1991.
- MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potential of the Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Egyptian Journal of Genetics and Cytology**, Alexandria, v. 7, p. 40-51, 1978.
- NEELE, A. E. F. Study on the inheritance of potato tuber yield by means of harvest index components and its consequences for choice of parental material. **Euphytica**, Wageningen, v. 48, p. 159-166, 1990.
- NEELE, A. E. F.; NAB, H. J.; LOUWES, K. M. Identification of superior parents in a potato breeding programme. **Theoretical and Applied Genetics**, Viena, v. 82, p. 264-272, 1991.
- NEJATI-JAVAREMI, A.; SMITH, C.; GIBSON, J. P. Effect of total allelic relationship on accuracy of evaluation and response to selection. **Journal Animal Science**, Menasha, v. 75, n. 7, p. 1267-1273, 1997.
- OLIVEIRA, A. C.; MORAIS, A. R.; SOUZA JUNIOR, C. L.; GAMA, E. E. G. Análise de cruzamentos dialélicos parciais repetidos em vários ambientes. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v. 10, n. 3, p. 517-533, 1987.
- OLIVEIRA, M. N. Mecanismos de produção de pólen não reduzidos em híbridos de dihaplóides de *Solanum tuberosum* x *S. chacoense* Bitt. Lavras: ESAL, 1994. 66p. (Dissertação - Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas).

- PANTER, D. M.; ALLEN, F. L. Using best linear unbiased predictions to enhance breeding for yield in soybean: II Selection of superior crosses from a limited number of yield trials. *Crop Science*, Madison, v. 35, n. 2, p. 405-410, 1995b.
- PANTER, D. M.; ALLEN, F. L. Using best linear unbiased predictions to enhance breeding for yield in soybean: I Choosing Parents. *Crop Science*, Madison, v. 35, n. 2, p. 397-405, 1995a.
- PIKA, M. A.; BOIKO, K. D. Genetic differentiation of potato cultivars for economically important characters. *Kartoplyarstvo*, n. 21, p. 3-7, 1980. In: PLANT BREEDING ABSTRACT, Wallingford, v. 61, n. 7, p. 808, 1991. (Abst. 6332).
- PINTO, C. A. B. P.; OLIVEIRA, A. F.; PINTO, J. E. B. P.; BARBOSA, M. H. P.; PÁDUA, J. G. Produtividade de clones de batata (*Solanum tuberosum* L.) na região sul de Minas Gerais. *Ciência e Prática*, Lavras, v. 18, n.2, p. 158-164, 1994.
- PINTO, C. A. B. P.; VALVERDE, I. R. V.; 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, 1994.
- PINTO, L. R. M. Correlações entre vários caracteres agrônômicos em batateira (*Solanum tuberosum* L.). Viçosa: UFV, 1979. 34p.
- POPP, P. R. A industrialização de batatas no Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE PRODUÇÃO E ABASTECIMENTO DE BATATA, 7. Anais ... Araucária, 1994. P. 60-61.
- 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, 1990.
- RAMALHO, M. A. P. Cruzamentos dialélicos. Lavras: ESAL,, 1989. 66p. (Apostila do curso de Genética e Melhoramento de Plantas).
- RAMALHO, M. A. P.; SANTOS, J. B. dos; ZIMMERMANN, M. J. O. Genética quantitativa em plantas autógamas. Goiânia: UFG, 1993. 271p.

- RESENDE, L. M. A. de; MASCARENHAS, M. H. T.; PAIVA, B. M. de
Aspectos econômicos da produção e comercialização de batata. In: Informe
Agropecuário, Belo Horizonte, v. 20, n. 197, p. 9-19, 1999.
- RESENDE, M. D. V. Melhoramento genético de essências florestais. In:
Simpósio sobre atualização em genética e melhoramento de plantas.
Lavras, MG. P. 59-93, 1997.
- REX, B. L.; MAZZA, G. Cause, control and detection of hollow heart in
potatoes: a review. *American Potato Journal*, Orono, v. 66, n. 3, p.
165-183, 1989.
- ROSS, H. *Potato Breeding - Problems and Perspectives*. Berlin and
Hamburg: Verla Paul Parey, 1986. 132p.
- ROWE, P. R. Performance and variability of diploid and tetraploid potato
families. *American Potato Journal*, Orono, v. 44, p. 263-271, 1967.
- RUMBAUGH, M. D.; CADDEL, J. L.; ROWE, D. E. Breeding and quantitative
genetics. In: HANSON, A. A.; BARNES, D. K.; HILL, R. R. Jr. (eds).
Alfafa and alfafa improvement. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1988. p. 777-
808.
- SCHAALJE, G. B.; LYNCH, D. R.; KOZUB, G. C. Field evaluation of a
modified augmented design for early stage selection involving a large
number of test lines without replication. *Potato Research*, Wageningen, v.
30, p. 35-45, 1987.
- SCHIPPERS, P. A. The relationship between specific gravity and percentage
dry matter in potato tubers. *American Potato Journal*, Orono, v. 53, p. 111-
122, 1976.
- SORENSEN, D. A.; KENNEDY, B. W. Estimation of response to selection
using least-square and mixed model methodology. *Journal of Animal
Science*, Menasha, v. 58, n. 4, p. 1097-1106, 1984.
- SOUZA, E. A. Alternativas experimentais na avaliação de progênies em
programas de melhoramento genético vegetal. Piracicaba: ESALQ, 1997.
122p. (Tese Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas).

- SOUZA JUNIOR, C. L. de Componentes da variância genética e suas implicações no melhoramento vegetal. Piracicaba: ESALQ, FEALQ, 1989. 134p.
- SPRAGUE, G. F.; TATUM, L. A. General versus specific combining ability in single crosses of corn. *Journal of the American Society of Agronomy*, Washington, v. 34, n. 10, p. 923-932. 1942.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. Principles and procedures of statistics. 2 ed. New York: Mcgraw-Hill, 1980. 633p.
- TAI, G. C. C. A method for quantitative genetic analysis of early clonal generation seedlings of an asexual crop with special application to a breeding population of the potato (*Solanum tuberosum* L.). *Theoretical and Applied Genetics*, Viena, v. 45, p. 150-156, 1974.
- TAI, G. C. C. Effectiveness of visual selection for early clonal generation seedlings of potato. *Crop Science*, Madison, v. 15, p. 15-18, 1975.
- TAI, G. C. C. Estimation of general and specific combining abilities in potato. *Canadian Journal of Genetics and Cytology*, Ottawa, v. 18, p. 463-470, 1976.
- TAI, G. C. C. Index selection with desired gains. *Crop Science*, Madison, v. 17, p. 182-183, 1977.
- THOMPSON, P. G.; MENDOZA, H. A.; PLAISTED, R. L. Estimation of genetic parameters for characters related to potato propagation by true seed (TPS) in *andigena* population. *American Potato Journal*, Orono, v. 60, p. 393-401, 1983.
- TORRES, G. J.; GALAN, J. M.; DIAS, E. C. Correlaciones genéticas e índices de seleccion en la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Agrociencia*, Chapingo, v. 16, p. 21-37, 1974.
- TUNG, P. X. Genetic variation for bacterial wilt resistance in population of tetraploid potato. *Euphytica*, Wageningen, v. 61, p. 73-80, 1992.
- VAN LOON, C. D. The effect of water stress on potato growth, development, and yield. *American Potato Journal*, Orono, v. 58, n. 1, p. 51-69, 1981.

- VAN VLECK, L. D. **Selection index an introduction to mixed model methods for genetic improvement of animals: the green book.** CRC Press. Boca Raton, Flórida. 1993b. 481p.
- VEILLEUX, R. E.; LAUER, F. I. **Breeding behavior of yield components and hollow heart in tetraploid-diploid vs. conventionally derived potato hybrids.** *Euphytica*, Wageningen, v. 30, p. 547-561, 1981.
- VENCOVSKY, R. **Alguns aspectos teóricos e aplicados relativos a cruzamentos dialélicos de variedades.** Piracicaba: ESALQ, 1970. 59 p. (Tese livre docência - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).
- VENCOVSKY, R. **Herança Quantitativa.** In: PATERNIANI, E. (coord.) **Melhoramento e produção de milho no Brasil.** Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 137-214.
- VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Erro da estimativa de coeficiente de correlação genética.** In: _____. **Genética Biométrica no Fitomelhoramento.** Ribeirão Preto: SBG, 1992. p. 444-446.
- VERMEER, H. **Optimising potato breeding. I. The genotypic, enviromental and gentype-enviromental coefficients of variation for tuber yield and other traits in potato (*Solanum tuberosum* L.) under different experimental conditions.** *Euphytica*, Wageningen, v. 49, p. 229-236, 1990.
- WHITE, T. L.; HODGE, G. R. **Predicting breeding values with applications in forest tree improvement.** Kluwer Academic Publishers: Netherlands. 1989. 367p.
- WILLIAMS, J. S. **The evaluation of selection index.** *Biometrics*, Madison, v. 18, p. 375-393, 1962.
- WRIGHT, S. **Correlation and causation.** *Journal of Agricultural Research*, Washington, v. 20, p. 557-585, 1921.
- WRIGHT, S. **The theory of path coefficients - a replay to Niles' criticism.** *Genetics*, Baltimore, v. 8, p. 239-255, 1923.
- YATES, F. **Analysis of data from all possible reciprocal crosses between a set of parental lines.** *Heredity*, Essex, v. 1, n. 3, p.287-301, 1947.