



BRUNA LINE CARVALHO

**ESTRATÉGIA PARA AVALIAÇÃO DO
COZIMENTO DOS GRÃOS DE PROGÊNIES DE
FEIJOEIRO E ESTIMATIVAS DE
PARÂMETROS GENÉTICOS E FENOTÍPICOS**

LAVRAS - MG

2013

BRUNA LINE CARVALHO

**ESTRATÉGIA PARA AVALIAÇÃO DO COZIMENTO DOS GRÃOS DE
PROGÊNIES DE FEJJOEIRO E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS
GENÉTICOS E FENOTÍPICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

LAVRAS - MG

2013

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

Carvalho, Bruna Line.

Estratégia para avaliação do cozimento dos grãos de progênies
de feijoeiro e estimativas de parâmetros genéticos e fenotípicos /
Bruna Line Carvalho. – Lavras : UFLA, 2013.

71 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Magno Antonio Patto Ramalho.

Bibliografia.

1. *Phaseolus vulgaris*. 2. Seleção recorrente. 3. Índice de ΣZ . 4.
Qualidade culinária. 5. Melhoramento de plantas. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.523

BRUNA LINE CARVALHO

**ESTRATÉGIA PARA AVALIAÇÃO DO COZIMENTO DOS GRÃOS DE
PROGÊNIES DE FEJJOEIRO E ESTIMATIVAS DE PARÂMETROS
GENÉTICOS E FENOTÍPICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação Genética e Melhoramento de Plantas, área de concentração em Genética e Melhoramento de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 26 de abril de 2013.

Dr^a. Ângela de Fátima Barbosa Abreu EMBRAPA

Dr^a. Priscila Zaczuk Bassinelo EMBRAPA

Dr. Magno Antonio Patto Ramalho
Orientador

LAVRAS - MG

2013

A Deus.

OFEREÇO

A toda minha família pelo carinho, apoio e suporte.

Ao meu afilhado, João Vitor, pela grande alegria que trouxe ao nascer.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Deus, acima de tudo, pela força, benção e oportunidades que me asforam dadas na vida.

À Universidade Federal de Lavras e ao programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela oportunidade da realização de um sonho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos, tornando possível a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, professor Magno A. P. Ramalho, por toda atenção, ajuda e dedicação. Por compartilhar sua experiência de vida e ser exemplo em dedicação, trabalho e estudos. E por acreditar em mim.

À minha coorientadora Dr^a. Ângela F. B. Abreu, por toda amizade, carinho, apoio e ajuda sempre concedida.

Aos professores de Pós-Graduação, especialmente a Prof^a. Édila V. R. Von Pinho, pelos ensinamentos e concelhos que muito ajudaram.

Aos membros da banca, Priscila e Heider, pela disposição e contribuições.

Aos meus pais, Edna e Custódio, pelo imenso amor e carinho e por estarem sempre presentes. Aos meus irmãos, Fábria e Eduardo, e ao meu afilhado, João Vítor, pelos momentos especiais que passamos juntos.

Aos familiares, pelo apoio e incentivo.

Aos companheiros do “feijão”, pelo trabalho em equipe e união.

Aos estudantes de Iniciação Científica, especialmente Indalécio, Carranca e Breno, que ajudaram com prazer na realização do trabalho.

Aos colegas de Pós-graduação por tornarem mais agradável os momentos de estudo.

A todos os amigos do Programa de Pós-Graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, especialmente Scheila, Lala, Samira, Suellen, Camilinha, Keiko, Letícia, Kejim, Vavá, Istalone, Bráulio, Zé Maria, Vi, Sementes e Luiz Paulo pela diversão, convivência, aprendizado e amizade.

Aos funcionários Léo, Zé Carlinho, Lindolfo, Vera, Zélia, Rafaela, Lilian, Dona Iron e Dú, por estarem sempre dispostos a ajudar.

Às amigas de Lavras, Susu, Camila, Lú, Caca, Cissa, Lívia e Mariana pelos momentos de distração, conselhos e companheirismo.

Ao GEN, por facilitar o acesso à informação pela disponibilização de livros e outros.

A todos, que de algum modo, contribuíram para que fosse possível a realização deste trabalho, meus sinceros agradecimentos.

Muito obrigada!

*“The heights by great men reached and kept, were not
obtained by sudden flight. But they, while their
companions slept, were toiling upward in the night.”*

Henry Wadsworth Longfellow

RESUMO

Um programa de seleção recorrente (SR) de feijoeiro visando à produtividade e o aspecto de grãos tipo carioca vem sendo conduzido desde 1990. O que se questiona é se ainda existe variabilidade genética após o ciclo treze (CXIII) para a continuidade do programa. Além disso, nos últimos anos, grande atenção tem sido voltada para a qualidade culinária e nutricional dos alimentos. Adicionalmente, a rotina das famílias modernas está cada vez mais agitada e o tempo para o preparo dos alimentos tem reduzido substancialmente. Por isso é importante que novas cultivares de feijão apresentem, além de características agronômicas vantajosas, boas propriedades culinárias. A metodologia disponível para avaliação da capacidade de cozimento de grãos tem como restrição o tempo despendido em cada avaliação, o que inviabiliza a sua utilização na avaliação de grande número de progênies em curto espaço de tempo. Assim, objetivou-se com este trabalho, propor uma nova metodologia para avaliação do caráter cozimento de grãos, que fosse mais ágil; e estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos do CXIII do programa de SR que permitam inferir sobre a possibilidade de continuar tendo sucesso não apenas para produtividade e tipo de grãos, mas também para tempo de cozimento. Foram avaliadas 252 progênies $S_{0,2}$ e quatro testemunhas, no delineamento em látice 16 x 16, em três locais (Lavras, Patos de Minas e Lambari), semeadura em novembro de 2012. Os caracteres avaliados foram produtividade, capacidade de cozimento e aspecto de grãos do tipo carioca. Constatou-se que a nova estratégia de avaliação do cozimento é eficiente, pois possibilita avaliar grande número de progênies rapidamente. Após treze ciclos de SR, ainda existe variabilidade genética na população para os caracteres avaliados. A ausência de associação entre a produtividade de grãos e a porcentagem de cozimento ou tipo de grãos, mostra que é possível selecionar progênies com alta produtividade, com grãos de excelente aspecto e boa capacidade de cozimento, utilizando um índice de seleção. Ressalta-se também que, para todos os três caracteres, a média das progênies é maior que a das testemunhas, o que mostra o potencial das mesmas em substituir com vantagem as cultivares comercializadas em um futuro próximo.

Palavras-chave: Melhoramento de plantas. *Phaseolus vulgaris*. Seleção recorrente. Qualidade culinária. Índice de ΣZ .

ABSTRACT

A common bean recurrent selection (SR) program with a view toward yield and the carioca type grain aspect (beige with brown stripes) has been conducted since 1990. The question is whether there is still genetic variability after cycle thirteen (CXIII) for continuity of the program. In addition, in recent years, a great deal of attention has been directed toward the cooking and nutritional quality of foods. Furthermore, the modern family routine is increasingly hectic and time for food preparation has decreased substantially. Therefore, in addition to favorable agronomic traits, it is important that new common bean cultivars have good cooking properties. The methodology available for evaluating the cooking suitability of grains presents the restriction of the time spent on each evaluation, which makes it unviable for use in evaluating a large number of progenies in a short time. Thus, the aim of this study was to propose a new, more efficient methodology for evaluating the cooking trait of grains, and estimate the genetic and phenotypic parameters of CXIII of the SR program that allow inferences regarding the possibility of continuing to have success not only for yield and grain type, but also for cooking time. A total of 252 $S_{0.2}$ progenies and four controls were evaluated in a 16 x 16 lattice design in three locations (Lavras, Patos de Minas and Lambari) sown in November 2012. The traits evaluated were yield, cooking suitability and carioca type grain aspect. The new cooking evaluation strategy proved to be efficient because it allowed a large number of progenies to be evaluated rapidly. After thirteen SR cycles, there is still genetic variability in the population for the traits evaluated. The lack of association between grain yield and cooking percentage or type of grains shows that it is possible to select progenies with high yield, with excellent grain aspect and good cooking capacity by using a selection index. It is also noteworthy that for all three traits, the mean value of the progenies is greater than that of the controls, which shows their potential for advantageously replacing the currently traded cultivars in the near future.

Keywords: Plant breeding. *Phaseolus vulgaris*. Recurrent selection. Cooking quality. ΣZ index.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Evolução da área cultivada e da produção de grão de feijão no Brasil no período de 1976 a 2013.....	19
Figura 2	Equação da regressão linear da produtividade de grão do feijoeiro em dois períodos, de 1961 a 1975 e 1975 a 2010.	20
Figura 3	Consumo de feijão no Brasil e no mundo no período de 1961 a 2009.	21
Figura 4	Cozedor de Mattson. A) Visão geral e da haste da primeira versão. B) Visão geral da versão modificada por Proctor.....	27
Figura 5	Representação esquemática do cozedor de Mattson automatizado. a) Computador; b) cartão de entrada/saída; c) caixa interfásica; d) placa de circuito; e) atuador; f) pistão; g) cozedor de Mattson; h) cápsula do pistão; i) sonda de aço inoxidável.	28
Figura 6	Esquema do procedimento adotado no programa de seleção recorrente com a cultura do feijoeiro, conduzido na Universidade Federal de Lavras, desde 1990.....	33
Figura 7	Escala de notas para tipo de grãos. Da esquerda para direita, 9 muito bom e 1 muito ruim	35

Figura 8	<p>Etapas do procedimento para avaliação da porcentagem de grãos cozidos. A) Preparo das amostras em saquinhos de filó. B) Embebição em água destilada. C) Cozimento. D) Retirada das amostras da panela de pressão. E) Resfriamento dos grãos. F) Grãos sendo dispostos no cozedor de Mattson. G) Abaixamento dos pinos. H) Contagem dos pinos que perfuraram os grãos.....</p>	37
Figura 9	<p>Distribuição de frequências das médias das progênies $S_{0.2}$ avaliadas em três locais. A) Produtividade de grãos - g/parcela. B) Nota de tipo de grãos, sendo 1 muito ruim e 9 muito bom. C) Porcentagem de grãos cozidos</p>	52
Figura 10	<p>Amostra de grãos da cultivar Carioca (esquerda) e da progênie classificada em primeiro posto quando utilizado o índice de ΣZ, 60 dias após a colheita</p>	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Linhagens de feijoeiro utilizadas na obtenção da população base do programa de seleção recorrente da UFLA e suas respectivas características. Adaptado de Ramalho, Abreu e Santos (2005).....	31
Tabela 2	Coordenadas geográficas e altitudes dos três locais onde os experimentos foram avaliados.....	34
Tabela 3	Resumos das análises de variância das porcentagens de grãos cozidos. Dados obtidos na avaliação de progênies S _{0.2} do CXIII de seleção recorrente. Análise realizada com ou sem o emprego de tratamentos comuns. Lavras, MG, 2013	45
Tabela 4	Porcentagem média de grãos cozidos das dez melhores e piores progênies S _{0.2} . Análise com e sem o emprego de tratamentos comuns. Lavras, MG, 2013.....	46
Tabela 5	Resumo da análise de variância da porcentagem de grãos cozidos. Análise realizada no delineamento em látice 16 x 16, com e sem o uso de tratamentos comuns. Emprego de progênies S _{0.2} . Patos de Minas, MG, 2013.....	47
Tabela 6	Resumo da análise de variância da porcentagem de grãos cozidos. Análise realizada no delineamento em látice 16 x 16, com e sem o uso de tratamentos comuns. Emprego de progênies S _{0.2} . Lambari, MG, 2013	47
Tabela 7	Porcentagem média de grãos cozidos das dez melhores e piores progênies S _{0.2} . Análise com e sem o emprego de tratamentos comuns. Patos de Minas, MG, 2013.....	48

Tabela 8	Porcentagem média de grãos cozidos das dez melhores e piores progênies $S_{0.2}$. Análise com e sem o emprego de tratamentos comuns. Lambari, MG, 2013	49
Tabela 9	Resumos das análises de variância conjuntas dos locais das avaliações de progênies $S_{0.2}$. Dados obtidos para produtividade de grãos (g/parcela), nota de tipo de grão e porcentagem de grãos cozidos	51
Tabela 10	Média dos caracteres produtividade de grãos (g/parcela), nota de tipo de grãos e porcentagem de grãos cozidos para cada local e na média dos locais, considerando progênies e testemunhas separadamente.	51
Tabela 11	Estimativas para produtividade de grãos (g/parcela) da variância genética (V_P), fenotípica (V_F), da interação progênies x locais (V_{PL}) e da herdabilidade (h^2) entre progênies $S_{0.2}$. Dados obtidos por local e na média dos locais.	53
Tabela 12	Estimativas para nota de tipo de grãos da variância genética (V_P), fenotípica (V_F), da interação progênies x locais (V_{PL}) e da herdabilidade (h^2) entre progênies $S_{0.2}$. Dados obtidos por local e na média dos locais.	53
Tabela 13	Estimativas para porcentagem de grãos cozidos da variância genética (V_P), fenotípica (V_F), da interação progênies x locais (V_{PL}) e da herdabilidade (h^2) entre progênies $S_{0.2}$. Dados obtidos por local e na média dos locais.	54

Tabela 14	Estimativas das correlações fenotípicas de Pearson entre os caracteres produtividade de grãos, nota de tipo de grão e porcentagem de grãos cozidos. Dados obtidos de progênies $S_{0:2}$, em três locais e na média dos locais.....	55
Tabela 15	Estimativa do ganho com a seleção (GS), considerando os três caracteres simultaneamente, utilizando a produtividade de grãos e o índice Z	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Feijão, sua importância econômica e na alimentação humana .	18
2.2	Propriedades culinárias	21
2.3	Metodologia de avaliação do tempo de cozimento	24
2.4	Controle genético de caracteres associados à qualidade culinária	29
2.5	Programa de seleção recorrente da UFLA	30
3	MATERIAL E MÉTODOS	34
4	RESULTADOS	43
4.1	Comparações das estratégias de análise dos dados de cozimento	43
4.2	Avaliação das progênies S_{0.2} do ciclo XIII de seleção recorrente	50
5	DISCUSSÃO	58
6	CONCLUSÃO	66
	REFERÊNCIAS	67

1 INTRODUÇÃO

Até recentemente no Brasil, a recomendação de novas cultivares de feijão era realizada principalmente em função de suas características agronômicas, como produtividade, resistência a pragas e doenças (RAMALHO, 2005). Contudo, uma espécie de consumo humano, como o feijão, deve ser aprovada não só pelos produtores, mas também pelos consumidores. Por isso, além dos caracteres agrônômicos, deve haver maior preocupação com a aparência e, principalmente, com o tempo de cocção dos grãos nos programas de melhoramento, o que acarreta também em melhoria da qualidade culinária e nutricional (BATISTA; PRUDÊNCIO; FERNANDES, 2010; WANG; DAUN, 2005).

Vários métodos têm sido aplicados para avaliação do tempo de cozimento de grãos de feijão. Os primeiros métodos eram baseados na sensibilidade tátil do homem e, por isso, eram subjetivos e consumiam muito tempo dos avaliadores (MUNETTA, 1964; TAKAYAMA; MUNETA; WIESE, 1965; VINDIOLA; SEIB; HOSENEY, 1986). Outros trabalhos utilizaram um analisador de textura, onde era mensurada a resistência à compressão dos grãos cozidos (BLACK; SINGH; MEARES, 1998). A principal desvantagem é que nesse método a avaliação é realizada de grão em grão, e por isso, quando se tem muitas amostras, despende-se muito tempo. O método mais adotado atualmente utiliza o cozedor de Mattson (ARRUDA et al., 2012; GARCIA et al., 2012; PROCTOR, 1987; TORGA et al., 2010), o qual tem sido recomendado pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Por isso, ele é empregado na avaliação final das linhagens, antes da recomendação para o cultivo. Contudo, como o tempo gasto no processo também é elevado, quando se tem grande número de progênies para serem avaliadas em curto espaço de tempo nos programas de melhoramento do feijoeiro, a metodologia utilizada para

avaliação desse caráter pode ser inviabilizada. Seria importante ter outras alternativas para avaliar o cozimento de progênies de feijoeiro que fossem mais ágeis e semelhantes ao processo utilizado nos lares das famílias brasileiras, ou seja, cocção com panela de pressão.

Um programa de seleção recorrente, visando produtividade e aspecto dos grãos do tipo carioca, vem sendo conduzido pela Universidade Federal de Lavras (UFLA) desde 1990 (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005; SILVA et al., 2010). Até o momento foram realizados treze ciclos seletivos. É importante verificar se ainda existe variabilidade para os caracteres sob seleção e principalmente para o tempo de cozimento, que não foi utilizado como critério seletivo no passado e, ao mesmo tempo, mostrar a viabilidade de uma nova estratégia de avaliação da capacidade de cozimento, considerando grande número de progênies.

Do exposto foi realizado o presente trabalho com o objetivo de propor uma nova metodologia de avaliação do tempo de cozimento de grãos de feijão que viabilize o uso desse caráter nos programas de melhoramento, e estimar os parâmetros genéticos e fenotípicos que permitam inferir sobre a possibilidade de continuar tendo sucesso com a seleção recorrente na cultura do feijoeiro.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Feijão, sua importância econômica e na alimentação humana

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivado e consumido praticamente no mundo todo, é uma fonte relativamente barata de proteínas de alta qualidade (20-30%), lipídios (1-3%), carboidratos (60-70%), vitaminas e minerais (THE BEAN INSTITUTE, 2010; VARGAS-TORRES et al., 2004), e por isso é considerada uma das leguminosas mais importantes no consumo humano, principalmente para países em desenvolvimento (BROUGHTON et al., 2003; WANDER, 2005).

O Brasil se destaca mundialmente na produção dessa leguminosa (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2011). É conveniente salientar que a estatística da produção do feijoeiro (*P. vulgaris*) é dificultada porque, normalmente, ela vem associada ao feijão produzido nas regiões Norte e Nordeste do país, onde predomina o plantio e consumo do caupi (*Vigna unguiculata*). Estima-se, contudo, que 70% do feijão produzido e consumido no país é da espécie *P. vulgaris* (FIGUEIRAS et al., 2009).

Na safra de 2011/12, a produção total foi de 2,9 milhões de toneladas e estima-se que seja de 3,4 milhões de toneladas em 2012/13. O Estado de Minas Gerais é o segundo maior produtor do país, com área cultivada superior a 400 mil ha por ano, distribuída nas três safras: “das águas” (semeadura em novembro), “da seca” (semeadura em fevereiro), e “de outono-inverno” (semeadura em julho) (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2013). Apesar do aumento em produção total nos últimos 35 anos no Brasil, a área cultivada vem reduzindo (Figura 1). Isso ocorreu devido ao aumento da produtividade de grãos, em função da melhoria do manejo e do melhoramento genético.

Nesse contexto, pode ser observado na figura 2 o que ocorreu com a cultura em dois subperíodos, de 1961 a 1974 e 1974 a 2012. Nota-se que a produtividade até 1974 estava decrescendo, devido à baixa tecnologia empregada no seu cultivo. A partir de 1974, com a criação dos programas de pós-graduação e das empresas de pesquisa agrícola os estudos se intensificaram e, conseqüentemente, a produtividade cresceu e continua crescendo (RAMALHO; DIAS; CARVALHO, 2012). A contribuição do melhoramento genético pode ser confirmada pela estimativa do progresso genético obtida em vários trabalhos (CHIORATO et al., 2010; FARIA et al., 2013; SILVA et al., 2010), o que comprova sua importância.

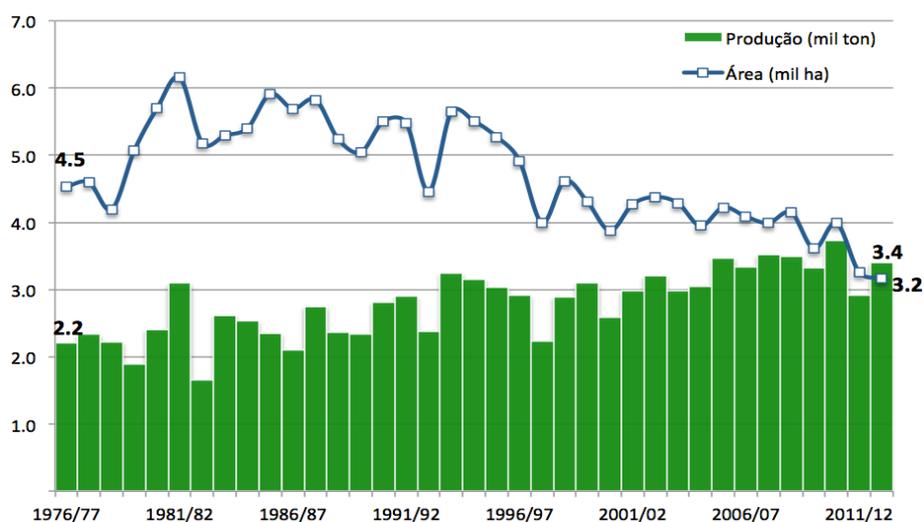


Figura 1 Evolução da área cultivada e da produção de grãos de feijoeiro no Brasil no período de 1976 a 2013

Fonte: Adaptado de CONAB (2013)

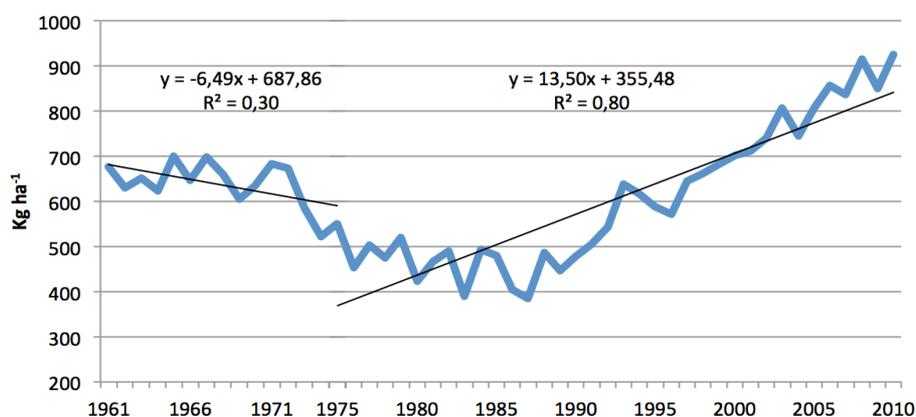


Figura 2 Equação da regressão linear da produtividade de grãos do feijoeiro em dois períodos, de 1961 a 1975 e 1975 a 2010

Fonte: Adaptado de Ramalho, Dias e Carvalho (2012)

O consumo *per capita* de feijão nos últimos 50 anos no mundo apresentou poucas mudanças. No Brasil, nota-se que o consumo é bem superior em comparação a média mundial (Figura 3), atingindo 16,3 kg/capita/ano em 2009, ou seja, cada habitante consome em média 45 gramas por dia (FAO, 2009). Verifica-se também que houve redução no consumo no período de 1961 a 1976, mas esse manteve-se relativamente estável posteriormente, com pequenos incrementos a partir de 1995. Projeções revelam que o consumo deve atingir 22 kg por habitante em 2020 (FRANCO, 2013). Deve ser mencionado que a exigência do consumidor aumentou, tornando-se necessário o lançamento de cultivares não somente com boas características agrônômicas e produtivas, mas também com boas propriedades culinárias.

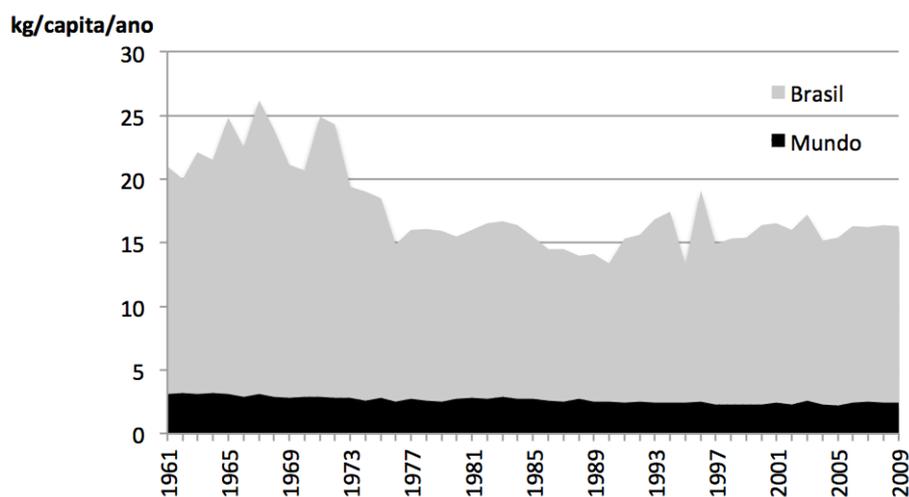


Figura 3 Consumo de feijão no Brasil e no mundo no período de 1961 a 2009
Fonte: Adaptado de FAO (2009)

2.2 Propriedades culinárias

Como o feijão é um alimento de consumo humano, as pesquisas realizadas com essa cultura têm focado nas características que aumentam sua aceitabilidade. Entre elas citam-se: valor nutritivo, tempo de cozimento, cor e brilho do tegumento, formato e tamanho dos grãos, entre outras.

O valor nutritivo tem sido alvo de muitas pesquisas recentes no Brasil e no mundo (CASAÑAS et al., 2013; PINHEIRO et al., 2010; RIBEIRO et al., 2012; WHITE; BROADLEY, 2009), mas não será enfatizado nesta revisão.

Outras propriedades culinárias, especialmente o tempo de cozimento, vêm sendo pesquisadas há longo tempo. Burr (1972a), no Primeiro Simpósio Brasileiro de Feijão, fez um relato do que existia a esse respeito até aquela época. Mais recentemente, no Brasil, intensificaram-se as pesquisas visando à caracterização das cultivares com relação a esse caráter (CHIORATO et al., 2010; GARCIA et al., 2012; PERINA et al., 2010). Nesse contexto, alguns

aspectos são considerados. Entre eles, as questões ambientais que influenciam o tempo de cozimento, tais como estação de cultivo, manejo, forma de beneficiamento e armazenamento, idade dos grãos, umidade, temperatura, entre outras (ARRUDA et al., 2012; BERTOLDO et al., 2009b; COELHO et al., 2008; RODRIGUES et al., 2005).

O cozimento dos grãos depende, além das condições ambientais, das propriedades químicas e físicas dos cotilédones e do tegumento dos grãos. O processo inicia-se pela absorção de água através dos tegumentos para o interior dos cotilédones. A hidratação dos grãos anterior ao cozimento auxilia na redução do tempo de cocção pela ativação de enzimas polissacaridases (MARTÍNEZ-MANRIQUE et al., 2011). Alguns tegumentos absorvem menos água, o que pode dificultar ou atrasar o processo de amolecimento dos cotilédones (HINCKS; STANLEY, 1987; LIU, 1995), mas a quantidade de água absorvida nem sempre está relacionada à capacidade de cozimento (GARCIA et al., 2012).

Em nível molecular, o amolecimento dos cotilédones durante o cozimento não está totalmente esclarecido e deve estar ligado a diversos fatores. Alguns autores afirmam que o processo está associado à solubilização da pectina (LIU, 1995; SHOMER et al., 1990), que é o principal composto responsável pela rigidez da parede celular (HARHOLT; SUTTANGKAKUL; VIBE SCHELLER, 2010). Por isso, o tempo de cocção também deve estar relacionado às propriedades de solubilidade térmica desses compostos (BE MILLER, 1986).

Os teores de taninos e fitatos mais elevados também influenciam o tempo de cozimento após o armazenamento de grãos (COELHO et al., 2007). Os taninos são encontrados principalmente no tegumento das sementes, que, em alta temperatura, podem se deslocar para os cotilédones, onde se ligam às proteínas da parede celular formando compostos estáveis, dificultando o amolecimento dos grãos e a disponibilização das mesmas ao consumo humano (REYES-MORENO; PAREDEZ-LOPEZ, 1993). Em consequência ocorre redução no

valor nutritivo dos grãos. Já os fitatos liberam íons de cálcio e magnésio com o tempo de armazenamento, podendo causar a insolubilidade da pectina (REYES-MORENO; PAREDEZ-LOPEZ, 1993), que, como já comentado, deve ser a principal responsável pelo amolecimento do interior dos grãos durante o cozimento.

Com relação à cor do grão, o mercado brasileiro apresenta diferentes exigências e preferências de acordo com a região (FERREIRA et al., 2011). O tipo carioca, que apresenta cor creme com rajas marrons claras, é o mais cultivado e consumido no país, correspondendo a 71,7% do consumo total (ARAÚJO, 2012). Por isso, ele recebeu maior atenção, como não poderia ser diferente.

O que mais se procura nesse tipo de feijão é que a cor clara dos grãos permaneça por maior tempo possível. Isso porque, o comprador de feijão associa o escurecimento dos grãos com a idade dos mesmos e, conseqüentemente, com o maior tempo necessário para cozimento. Já foram identificadas algumas linhagens que se mantêm claras por um longo tempo, como por exemplo, a cultivar BRSMG Madrepérola (CARNEIRO, 2011). A partir da identificação dessas linhagens, trabalhos foram realizados visando obter informações a respeito do controle genético e propor alternativas para avaliação do aspecto dos grãos (ARAÚJO; RAMALHO; ABREU, 2012; ELSADR et al., 2011; JUNK-KNIEVEL; VANDENBARG; BETT, 2008; LAURENT et al., 2010; SILVA et al., 2008).

A velocidade de escurecimento dos grãos depende não somente do genótipo das linhagens, mas também das condições de armazenamento. Alta umidade, temperatura e luz aceleram o processo (PARK; MAGA, 1999). A exposição aos raios ultravioletas e à luz branca também está ligada ao maior grau de escurecimento (BRACKMANN et al., 2002; JUNK-KNIEVEL; VANDENBERG; BETT, 2007). Por outro lado, foi verificado por Sartori (1982)

que N atmosférico evita o escurecimento durante o armazenamento. Em sua pesquisa, esse autor encontrou que após seis meses de armazenamento a 24°C, 75% de umidade relativa e atmosfera rica em N, os grãos não apresentaram mudanças visíveis a olho nu na coloração dos grãos. Enquanto que quando os grãos foram armazenados nas mesmas condições de temperatura e umidade, porém em condições normais de atmosfera, o escurecimento foi significativo.

Bioquimicamente, durante o armazenamento, compostos presentes no tegumento da semente podem sofrer oxidação ou mudanças químicas, o que leva a formação de outros compostos responsáveis pela mudança de coloração dos tegumentos dos grãos. Polifenóis presentes na casca dos grãos de feijão, como por exemplo, as proantocianidinas (taninos condensados), são incolores, mas podem ser convertidos a pigmentos visíveis pela sua desidratação e oxidação (MARLES; VANDENBERG; BETT, 2008; STAFFORD, 1990). Em feijões do tipo pinto e carioca foi detectado que altas concentrações de polifenóis estão associadas ao escurecimento de grãos (ARAÚJO; RAMALHO; ABREU, 2012; BENINGER et al., 2005). A ação de enzimas polifenol oxidases e peroxidases também foram relacionadas a esse fenômeno (RIOS; ABREU; CORRÊA, 2002; ROCHA; VELLO, 1999). É importante mencionar que compostos fenólicos, principalmente os taninos, também são responsáveis por outra característica indesejável nos grãos de feijão, que é a flatulência causada pelo seu consumo (BURR, 1972b).

2.3 Metodologia de avaliação do tempo de cozimento

Como já mencionado, o tempo de cozimento é um caráter cuja importância se intensificou com a mudança no cotidiano das famílias. Há alguns anos, as mulheres normalmente não realizavam nenhum trabalho fora do lar e, por isso, tinham mais tempo disponível para se dedicarem às atividades

domésticas, especialmente no preparo dos alimentos. No final do século XX, esse cenário começou a mudar. Hoje, muitas mulheres trabalham fora de casa, e essa proporção aumenta cada vez mais. Evidentemente, o tempo despendido no preparo dos alimentos reduziu. Assim, para continuar sendo um dos alimentos básicos das famílias brasileiras, o feijão deve tomar o menor tempo possível para seu cozimento. Além disso, a energia tornou-se um recurso caro e, portanto, a redução no seu consumo, uma prioridade.

Hoje, grande importância é dada também à manutenção da qualidade dos alimentos após o processamento. E por isso, deve ser mencionado que tempos de cocção prolongados acarretam em mudanças estruturais ao nível celular e perda de nutrientes dos grãos, com conseqüente redução da qualidade dos mesmos (RIBEIRO et al., 2007). Depreende-se, então, a importância de se estudar esse caráter.

Vários métodos de avaliação do tempo de cozimento dos grãos foram propostos. Porém, devido à precisão, poucos têm sido adotados. Como já comentado, um relato de como era realizada a avaliação do cozimento foi apresentado por Burr (1972a). As linhagens eram inicialmente avaliadas em poucos locais ou estações de cultivo, normalmente dois (MUNETTA, 1964; TAKAYAMA; MUNETA; WIESE, 1965). Para cada ambiente, os grãos das linhagens eram embebidos em água por uma noite (“*overnight*”) e submetidos a vários tempos de cozimento. Posteriormente, alguns avaliadores definiam quais amostras estavam adequadamente cozidas. O tempo de cozimento cujo 50% dos avaliadores julgavam adequado ou inadequado era chamado de CT₅₀. Essa metodologia era muito subjetiva e sujeita a erros acentuados e, por isso, não conferia boa discriminação entre as linhagens, apenas entre os locais/safras (BURR, 1972a).

A discriminação entre os locais/safras é facilitada, pois a amplitude de variação é maior. Assim, fatores como menor umidade e não ocorrência de

precipitação durante a colheita interferem positivamente no tempo de cozimento. Enquanto que temperatura noturna elevada, alta umidade, chuvas frequentes e atraso na colheita interferem negativamente. Esta última condição ambiental é típica da safra das águas, o que explica a menor qualidade dos grãos quando o feijão é cultivado nessa época.

Posteriormente, para aumentar a confiabilidade e repetitividade dos dados, foi proposto o uso de um equipamento, o cozedor de Mattson (BURR, 1972a), nas avaliações para esse caráter. Com isso, foi possível detectar maiores diferenças entre as linhagens, assim como os efeitos de ambiente. A repetitividade entre experimentos também aumentou, assim como a representatividade.

O equipamento foi inventado por S. Mattson, um pesquisador escocês que trabalhou com capacidade de cozimento em ervilhas amarelas (MATTSON, 1946) (Figura 4A). Posteriormente, um pesquisador canadense propôs uma modificação do aparelho, que é utilizada como modelo até os dias atuais (PROCTOR, 1987) (Figura 4B). A base desse equipamento apresenta pequenos compartimentos onde são dispostos os grãos (Figura 4A). Acima de cada grão há um pistão de aço inoxidável de 90 gramas, com uma ponta de 1,6 mm de diâmetro apontada para a base. Quando o cozimento do grão é atingido, a haste penetra através dos mesmos (Figura 4B). Isso possibilita contabilizar facilmente o número de grãos perfurados pela quantidade de hastes caídas. O peso da haste, 90 gramas, é equivalente a força exercida pela cozinheira(o) quando coloca os grãos de feijão entre os dedos indicador e polegar, exercendo força para verificar se o cozimento foi atingido.

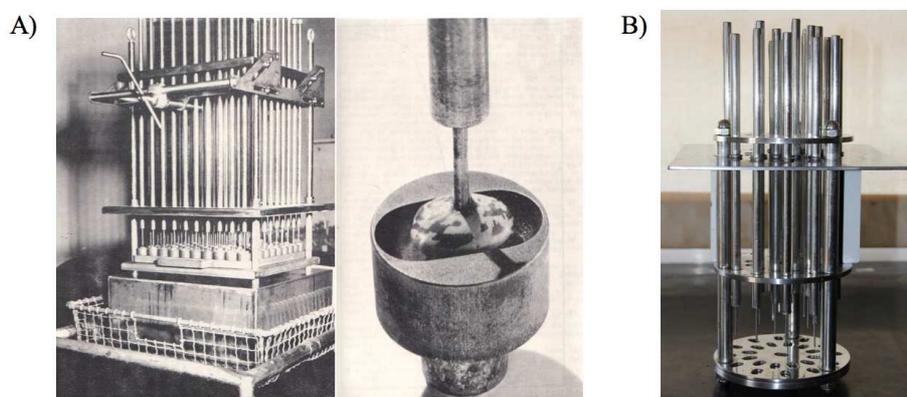


Figura 4 Cozedor de Mattson. A) Visão geral e da haste da primeira versão.
B) Visão geral da versão modificada por Proctor
Fonte: Adaptado de Burr (1972a)

Na avaliação experimental utilizando esse equipamento, primeiramente os grãos são embebidos em água por 24 horas em temperatura ambiente. Um grão de cada linhagem é disposto no compartimento do equipamento com a haste sobre ele. O cozedor é mantido em um recipiente com água a 98°C. A cada minuto, o avaliador contabiliza o número de grãos perfurados e o tempo requerido para perfurar 50% dos grãos é anotado. Esse procedimento é repetido por algumas vezes (BURR, 1972a). Uma das desvantagens dessa metodologia é a atenção máxima requerida pelo operador durante as avaliações.

Mais recentemente foi proposto um sistema automático de contabilização do tempo quando a porcentagem pré-determinada de grãos perfurados for atingida (WANG; DAUN, 2005) (Figura 5). Nesse sistema, não é necessária a presença constante do operador. Entretanto, o tempo despendido nas avaliações continua longo. Além disso, o aparato não é encontrado facilmente.

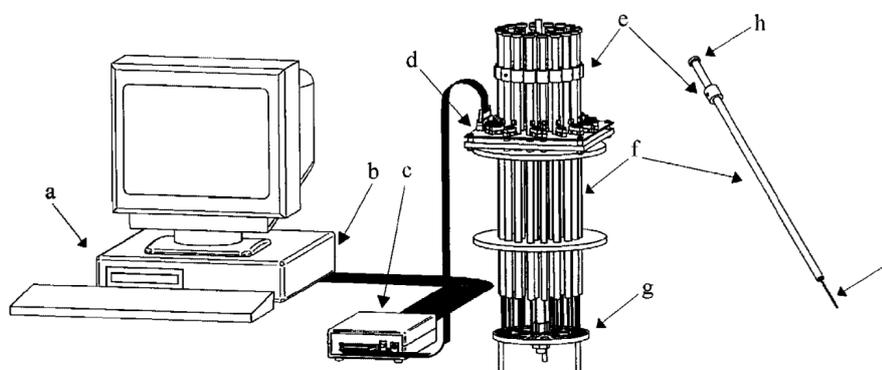


Figura 5 Representação esquemática do cozedor de Mattson automatizado.
 a) Computador; b) cartão de entrada/saída; c) caixa interfásica; d) placa de circuito; e) atuador; f) pistão; g) cozedor de Mattson; h) cápsula do pistão; i) sonda de aço inoxidável

Fonte: Adaptado de Wang e Daun (2005)

Alguns trabalhos foram publicados também utilizando um analisador de textura ou texturômetro. Nesse método, as sementes são cozidas por um tempo pré-determinado e avaliadas quanto à resistência à pressão (VINDIOLA; SEIB; HOSENEY, 1986). Porém, nesse método a avaliação é realizada de grão em grão, e por isso quando se tem muitas amostras o tempo despendido é enorme, tornando difícil seu uso em programas de melhoramento como os outros métodos descritos.

Pelas razões comentadas, até recentemente, a maior parte dos trabalhos foi publicada utilizando o cozedor de Mattson com poucas modificações. Deve ser enfatizado que a principal limitação no seu uso é que a avaliação de muitas linhagens ou progênies é limitada devido ao número de pinos presente no aparelho e ao tempo despendido nas avaliações (ARAÚJO; RAMALHO; ABREU, 2012; SILVA et al., 2010). É importante mencionar que nas fases iniciais dos programas de melhoramento, existe uma grande quantidade de progênies a serem avaliadas por população, tornando essa metodologia inviável.

Nesse sentido, é necessário que uma nova estratégia de avaliação seja proposta, para permitir a avaliação de um grande número de progênies.

2.4 Controle genético de caracteres associados à qualidade culinária

Estudos mostram que existe grande variação no tempo de cozimento de grãos entre linhagens de feijoeiro (SAHA et al., 2009). Acredita-se que no controle genético da capacidade de cozimento devem estar envolvidos vários genes (JACINTO-HERNANDEZ et al., 2003), que expressam dominância no sentido de aumentar o tempo necessário à cocção dos grãos (SILVA, 2009).

Como já comentado, embora o tempo de cozimento tenha enorme importância, estudos genéticos sobre esse caráter são restritos devido à falta de metodologia viável para avaliação de grande número de progênies. A associação entre padrões de cor e facilidade de cozimento não é bem esclarecida, pois pode ocorrer confusão com o envelhecimento dos grãos. Não há informações se alguns dos genes que afetam o tempo de cozimento também controlam o escurecimento e vice-versa.

Análise genética da associação entre marcadores moleculares do tipo RAPD e o tempo de cozimento foi realizada com o objetivo de identificar marcas para se realizar seleção assistida (GARCIA et al., 2012). Entretanto, apesar da herdabilidade relativamente alta desse caráter, essa técnica não se mostrou eficiente como uma ferramenta de seleção indireta. Isso sugere que a seleção deve ser realizada pela avaliação direta do tempo de cozimento.

É importante atentar que o tempo de cozimento deve depender do tegumento da semente e dos cotilédones. Sabe-se que esses tecidos são formados em momentos diferentes. Assim, na geração F_1 , o tegumento é tecido materno e o embrião, que irá formar os cotilédones, é originado da fecundação da oosfera com o núcleo reprodutivo do grão de pólen, ou seja, é híbrido (RAMALHO et

al., 2012b). A mesma observação é válida para a geração F_2 , o tegumento é F_1 e o embrião F_2 . Evidentemente, esse é um sério entrave no uso dessas gerações. A opção é o emprego de progênies, principalmente no sentido de melhorar a precisão experimental. Entretanto, foram encontrados poucos relatos na literatura do emprego de progênies no estudo do controle genético (GARCIA et al., 2012). Provavelmente em função da dificuldade de se avaliar, com o equipamento disponível (cozedor de Mattson), número representativo de progênies.

Muitos trabalhos associam a absorção de água pelos grãos à capacidade de cozimento para estimativa dos parâmetros genéticos e fenotípicos (COELHO et al., 2008; RODRIGUES et al., 2005). Contudo, nem sempre a correlação entre a absorção de água e tempo de cozimento é alta (BALDONI; SANTOS, 2005; GARCIA et al., 2012). Portanto, essa metodologia de avaliação, apesar de muito utilizada, não é indicada.

2.5 Programa de seleção recorrente da UFLA

A seleção recorrente é um processo cíclico de seleção que visa associar a maior quantidade possível de alelos favoráveis dos diversos genes envolvidos no controle genético de caracteres quantitativos. Dessa forma, é possível obter médias do caráter sob seleção superiores a cada ciclo, mantendo a variabilidade da população (HALLAUER; CARENA; MIRANDA FILHO, 2010).

Com esse intuito, em 1990, iniciou-se na Universidade Federal de Lavras (UFLA) um programa de seleção recorrente com o feijoeiro, visando maior produtividade e melhor aspecto de grãos do tipo carioca. A população base foi obtida a partir do cruzamento de dez linhagens, as quais são detalhadas na tabela 1. Porém, outras linhagens, que se destacaram em relação às

características agronômicas, foram incluídas em ciclos subsequentes (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005).

Até o oitavo ciclo, a partir de plantas F_2 dos cruzamentos, eram obtidas progênies $S_{0.1}$, para avaliação em um local (Lavras-MG), devido ao número limitado de sementes. As melhores progênies $S_{0.2}$ para produtividade e tipo de grãos eram avaliadas em três locais, com três repetições. Nesse ponto, eram identificadas as 20 melhores progênies $S_{0.3}$ para serem recombinadas e iniciar-se um novo ciclo. O processo de recombinação era semelhante ao proposto por Bearzoti (1997 citado por RAMALHO et al., 2012a). Concomitantemente, o processo de avaliação e avanço de gerações das progênies recombinadas continuava até a geração $S_{0.8}$, quando eram obtidas linhagens. As melhores eram então avaliadas em ensaios de “linhagens elites” e, posteriormente, de Valor de Cultivo e Uso (VCU).

Tabela 1 Linhagens de feijoeiro utilizadas na obtenção da população base do programa de seleção recorrente da UFLA e suas respectivas características

Linhagem	Origem	Raças	Hábito de crescimento	Tipo de grão	
				Cor	Tamanho
BAT 477	CIAT	Mesoamérica	II	Beje	Pequeno
IAPAR 14	IAPAR	Mesoamérica	III	Carioca	Pequeno
FT 84-292	FT Sementes	Mesoamérica	II	Carioca	Pequeno
Jalo	EPAMIG	Nova Granada	III	Amarelo	Grande
A-252	CIAT	Mesoamérica	III	Carioca	Pequeno
A-77	CIAT	Mesoamérica	I	Carioca	Pequeno
Ojo de Liebre	CIAT	Durango	III	Carioca	Médio
ESAL 645	UFLA	Mesoamérica	II	Carioca	Pequeno
Pintado	UFLA	Nova Granada	III	Rajado	Grande
Carioca	IAC	Mesoamérica	III	Carioca	Pequeno

Fonte: Adaptado de Ramalho, Abreu e Santos (2005)

O esquema de condução do programa até o ciclo XIII é mostrado na figura 6. Após cinco ciclos seletivos, as cinco melhores linhagens identificadas em cada um deles foram avaliadas com relação a produtividade e tipo de grãos. O ganho com a seleção estimado foi de 5,7% para produtividade e de 10,5% para tipo de grãos. Nenhuma evidência de redução foi constatada na variabilidade da população. Silva et al. (2010) utilizando testemunhas comuns, obtiveram as médias ajustadas das linhagens elites avaliadas em cada ciclo. A partir desses dados foi estimado o progresso genético da produtividade de grãos de 3,3% por ciclo do CI ao CVIII.

Após o CIX, a recombinação passou a ser realizada utilizando um esquema semelhante a um “*topcross*”. Isto é, cada progênie $S_{0:3}$ passou a ser cruzada com todas as demais, normalmente 19 outras. Nesse caso, para cada “*topcross*” tem-se uma mistura de híbridos, ou seja, cada semente “ F_1 ” obtida é um híbrido simples. Como são obtidas várias sementes “ F_1 ’s”, a mistura equivale à S_0 . A mistura de sementes híbridas é semeada e obtida uma progênie $S_{0:1}$ de cada planta. Essas são avaliadas e identificadas as melhores progênies $S_{0:2}$ para outro ciclo de avaliação. E o processo se repete como já descrito (Figura 6). As progênies utilizadas neste trabalho são $S_{0:2}$ do CXIII.

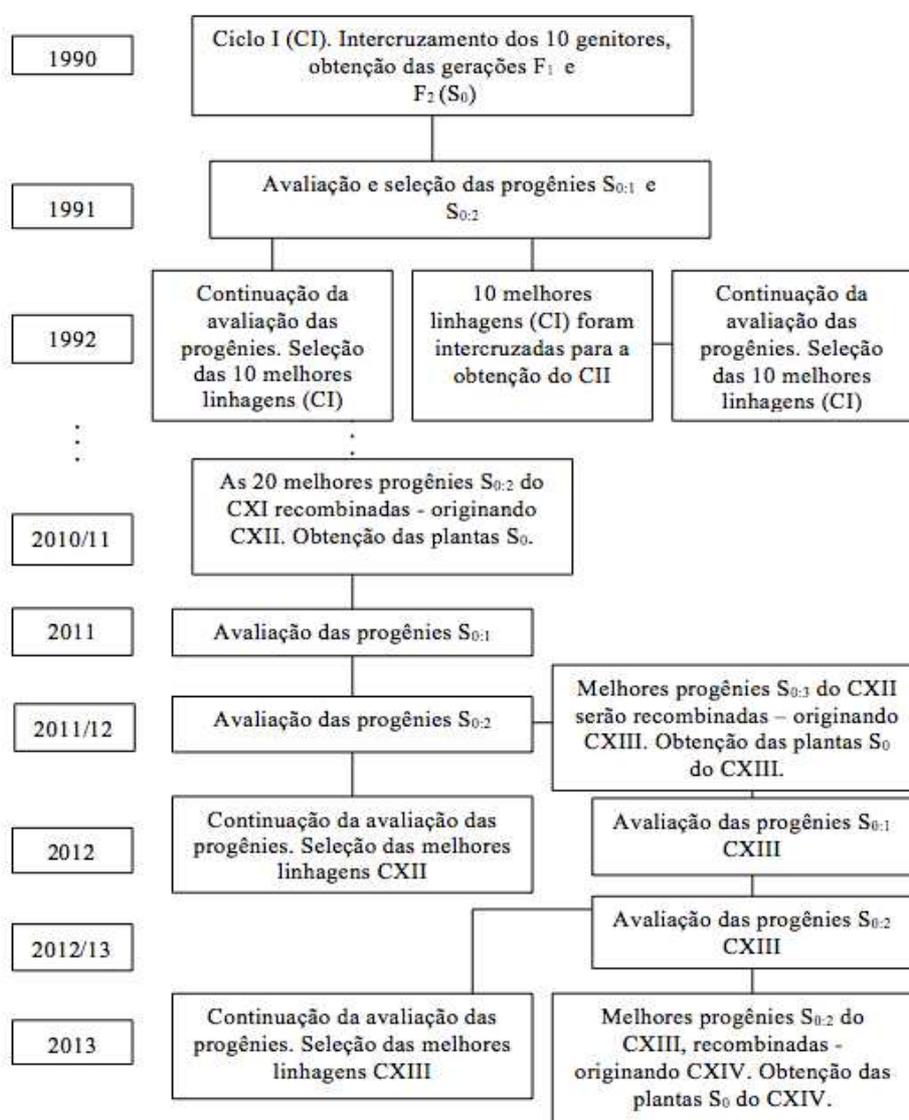


Figura 6 Esquema do procedimento adotado no programa de seleção recorrente para produtividade de grãos com a cultura do feijoeiro, conduzido na Universidade Federal de Lavras, desde 1990

3 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas 252 progênies $S_{0,2}$ selecionadas do ciclo XIII do programa de seleção recorrente, que vem sendo conduzido na Universidade Federal de Lavras (UFLA) desde 1990. A obtenção da população e a condução do programa foram descritos no item 2.5.

As progênies $S_{0,2}$ e mais quatro testemunhas (Carioca, Pérola, BRSMG Talismã e BRSMG Majestoso) comuns a todos os ciclos de seleção recorrente, as quais foram escolhidas por sua importância econômica no Estado, foram avaliadas em três municípios do Estado de Minas Gerais. Em Lavras, no Centro de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da UFLA; em Patos de Minas e em Lambari, os dois na área experimental da Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). As coordenadas geográficas, altitudes e tipo de clima, segundo a classificação de Köppen-Geiger, estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2 Coordenadas geográficas e altitudes dos três locais onde os experimentos foram avaliados

Local	Latitude	Longitude	Altitude	Clima
Lavras/MG	21°14'S	44°59'O	919 m	Cwa
Patos de Minas/MG	18°34'S	46°31'O	832 m	Aw
Lambari/MG	21°58'S	45°21'O	887 m	Cwa

A semeadura foi realizada no início de novembro de 2012. Foi utilizado o delineamento em látice triplo 16 x 16. As parcelas se constituíram de duas linhas de dois metros, espaçadas de 50 centímetros, com 15 sementes/m. O manejo e os tratamentos culturais foram realizados de acordo com os preconizados para a cultura no Estado. A colheita foi feita em fevereiro de 2013 em Lavras e Patos de Minas, e meados de março de 2013 em Lambari. Em seguida, as parcelas foram pesadas para obtenção dos dados de produtividade de grãos.

Aproximadamente 30 dias após a colheita, as progênies foram avaliadas com relação ao tipo de grãos. Uma amostra de 60g de cada progênie $S_{0:2}$ foi colocada em saco plástico transparente, de tamanho 4 x 23 cm, e identificadas. Uma escala de notas de 1 a 9 foi adotada para classificação dos grãos quanto ao aspecto geral, sendo 1 muito ruim e 9 muito bom (Figura 7). Foram considerados na avaliação: formato, tamanho e cor dos grãos, especialmente o escurecimento precoce. Sendo este último de maior peso para a nota final. Deve ser esclarecido que não foi utilizado escala de referência. A classificação foi realizada por três avaliadores independentemente, os quais foram considerados como repetições.



Figura 7 Escala de notas para tipo de grãos. Da esquerda para direita, 9 muito bom e 1 muito ruim

Para avaliação da capacidade de cozimento, foi proposta uma nova metodologia. Primeiro, uma amostra de 50 grãos sadios de cada progênie foi colocada em saquinhos de filó com a respectiva identificação e esses amarrados (Figura 8A). Foram feitos dois saquinhos por progênie, ou seja, duas replicatas.

Os saquinhos foram colocados para embeber em água destilada por 90 minutos (Figura 8B). Esse tempo foi determinado para que o período mínimo de cocção indicado pelo fabricante, ou seja, 20 minutos de pressão, pudesse ser

utilizado obtendo uma boa discriminação entre as progênies. Posteriormente, para o cozimento, eles foram dispostos no fundo de uma panela de pressão elétrica, marca comercial Mondial capacidade de 3,5 litros, a fim de evitar possíveis variações devido ao posicionamento. O nível de água foi preenchido para $\frac{3}{4}$ do volume da panela, que é o máximo permitido, utilizando a mesma água em que eles foram embebidos. O tempo foi ajustado para 20 minutos sob pressão (Figura 8C). Porém, gasta-se 20 minutos adicionais para atingir a pressão, totalizando em 40 minutos para o cozimento dos grãos. Após esse tempo, as amostras foram imediatamente retiradas da panela, e os grãos dispostos em bancada para resfriamento por cinco minutos em temperatura ambiente para que não houvesse grandes diferenças na temperatura dos grãos no processo de perfuração (Figura 8D e 8E).

A avaliação da porcentagem de grãos cozidos foi realizada com auxílio do cozedor de Mattson. Como há maior dificuldade em se colocar os grãos na parte central do equipamento, para cada amostra foram utilizados aleatoriamente 20 grãos, ao invés de 25, retirando-se apenas aqueles em que o tegumento já estava danificado, onde há o contato entre o pino e o grão (Figura 8F e 8G). Os pinos foram dispostos sobre os grãos simultaneamente e, em seguida, foi contado o número de hastes que perfuraram completamente os grãos de imediato (Figura 8H). A porcentagem foi obtida dividindo-se os grãos perfurados por 20 e multiplicando por 100.

Os dados referentes à produtividade e nota de tipo de grãos foram submetidos à análise de variância por local, considerando todos os efeitos do modelo como aleatórios, exceto a média. Para análise estatística dos dados, foi utilizado como auxílio o *software* estatístico SAS (STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS, 2001).

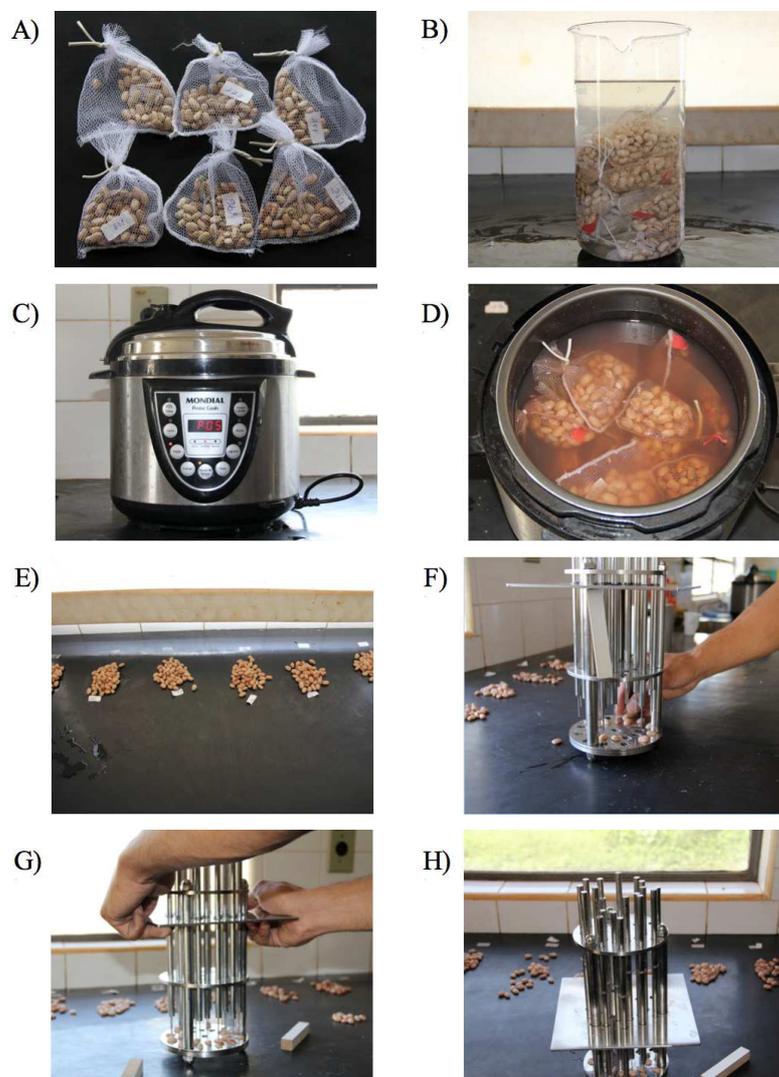


Figura 8 Etapas do procedimento para avaliação da porcentagem de grãos cozidos. A) Preparo das amostras em saquinhos de filó. B) Embebição em água destilada. C) Cozimento. D) Retirada das amostras da panela de pressão. E) Resfriamento dos grãos. F) Grãos sendo dispostos no cozedor de Mattson. G) Abaixamento dos pinos. H) Contagem dos pinos que perfuraram os grãos

Para o caráter porcentagem de grãos cozidos, o delineamento variou de acordo com o local, para que fosse testado o delineamento mais adequado para esse tipo de avaliação. Em Lavras, as progênies foram dispostas em grupos de experimentos em blocos casualizados com tratamentos adicionais comuns aos blocos (recipiente), Carioca e Pérola. Eles foram escolhidos por estarem entre as cultivares mais utilizadas no Estado de Minas Gerais. A análise de variância foi realizada sem e com o uso de tratamentos comuns, utilizando o PROC GLM e PROC MIXED do SAS de acordo com Wolfinger, Federer e Cordero-Brana (1997).

Em Patos de Minas e Lambari, foi utilizado o delineamento látice simples 16 x 16 com inclusão de tratamentos comuns aos blocos (Carioca e Pérola). As análises foram realizadas de acordo com o procedimento proposto por Oliveira (1990) e, também, sem a inclusão de tratamentos comuns.

As análises conjuntas dos locais para os três caracteres foram efetuadas utilizando as médias por local para o caráter tipo de grãos, e as médias ajustadas por local para a produtividade e porcentagem de cozimento de grãos. Os efeitos de progênie e o erro foram considerados aleatórios e os efeitos de local e a média como fixos. O modelo adotado para análise conjunta foi:

$$Y_{ik} = m + t_i + l_k + tl_{ik} + \bar{e}_{ik}$$

em que:

Y_{ik} : é a observação do tratamento i no local k ;

m : é a média geral;

t_i : é o efeito do tratamento i , com $i = 1, 2, 3, \dots, 256$;

l_k : é o efeito do local k , em que $k = 1, 2$ e 3 ;

tl_{ik} : é o efeito da interação entre o tratamento i e o local k ;

\bar{e}_{ik} : erro médio.

Com base nas esperanças dos quadrados médios das análises de variância por local e análise conjunta foram estimados os seguintes parâmetros genéticos e fenotípicos:

a) Variância genética entre progênes

- Para o local k :

$$V_{P_k} = \frac{Q_1 - Q_2}{r}$$

em que:

V_{P_k} : estimativa da variância genética entre progênes no local k ;

Q_1 : quadrado médio entre progênes da análise por local;

Q_2 : quadrado médio do erro associado às estimativas da análise por local;

r : número de repetições.

- Na média dos locais:

$$V_P = \frac{Q'_1 - Q_3}{kr}$$

em que:

Q'_1 : quadrado médio entre progênes das análises conjuntas;

Q_3 : quadrado médio da interação progênes x local;

k : número de locais.

Foi estimado também o intervalo de confiança para esses componentes, a 5% de probabilidade, por meio da estimativa de suas variâncias como proposto por Baker (1986), utilizando as seguintes expressões:

$$\frac{v_P V_P}{\chi^2_{\alpha/2}} < V_P < \frac{v_P V_P}{\chi^2_{1-\alpha/2}}$$

em que:

v_D : número de graus de liberdade associados à estimativa, o qual pode ser obtido pela expressão proposta por Satterthwaite (1946);

$\chi^2_{\alpha/2}$ e $\chi^2_{1-\alpha/2}$: valores da distribuição teórica de χ^2 para v_D graus de liberdade, no nível de probabilidade igual a 5%.

b) Variância fenotípica entre média de progênes

- Para o local k ;

$$V_{F_k} = \frac{Q_1}{r}$$

- Na média dos locais;

$$V_{\bar{F}} = \frac{Q'_1}{kr}$$

c) Variância da interação progênes x locais;

$$V_{PL} = \frac{Q_3 - Q_4}{kr}$$

em que:

V_{PL} : variância da interação progênes x ambiente;

Q_4 : quadrado médio do erro efetivo das análises conjuntas.

d) Herdabilidade para seleção na média das progênes:

- Para o local k ;

$$h^2_k = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Foram obtidos os limites inferiores e superiores a 5% de probabilidade com base nos erros associados a essa estimativa, utilizando as seguintes expressões apresentadas por Knapp, Stroup e Ross (1985):

$$LI = \left[\left(\frac{Q_1}{Q_2} \right) \chi^2_{1-\frac{\alpha}{2}; v_D; v_1} \right]^{-1}$$

$$LS = \left[\begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{pmatrix} \times F \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{v_2 v_1}{2}} \right]^{-1}$$

em que:

LI e LS : limites inferior e superior das estimativas de herdabilidade;

F : valor tabelado a $1 - \alpha/2$ e $\alpha/2$, em que $\alpha = 0,05$;

v_1 e v_2 : graus de liberdade de Q_1 e Q_2 , respectivamente.

- Na média dos locais

$$h^2 = \frac{Q'_1 - Q_3}{Q'_1}$$

Os limites inferiores e superiores da estimativa foram estimados de modo semelhante ao anterior, apenas substituindo Q_1 por Q'_1 e Q_2 por Q_3 , assim como seus respectivos graus de liberdade.

As estimativas das correlações fenotípicas de Pearson entre os caracteres dois a dois, por local e na média dos locais foram obtidas pela expressão:

$$r_{\bar{F}_{XY}} = \frac{COV_{XY}}{\sqrt{V_{\bar{F}_X} \cdot V_{\bar{F}_Y}}}$$

em que:

$r_{\bar{F}_{XY}}$: correlação fenotípica entre os caracteres X e Y ;

COV_{XY} : covariância fenotípica entre os caracteres X e Y ;

$V_{\bar{F}_X}$: variância fenotípica entre médias de progênies do caráter X ;

$V_{\bar{F}_Y}$: variância fenotípica entre médias de progênies do caráter Y ;

O ganho com a seleção foi estimado para cada caráter isoladamente, na média dos locais, com intensidade de seleção de 5%, utilizando a expressão:

$GS = ds \cdot h^2$, em que:

GS : ganho com a seleção na média das progênies;

ds : diferencial de seleção, ou seja, diferença entre a média dos indivíduos selecionados e a média geral;

h^2 : herdabilidade para seleção na média dos locais.

Estimou-se também o ganho esperado com a seleção realizada na produtividade de grãos (Y) e a resposta correlacionada nos outros caracteres (X) pela expressão: $GS_{X(Y)} = ds_{X(Y)} \cdot h_X^2$, em que:

$ds_{X(Y)}$: obtido pela expressão $M'_s - M_s$, em que M'_s é a média das progênes do caráter X e que foram identificadas como sendo as melhores para produtividade de grãos (Y).

Obteve-se o ganho para seleção simultânea para os três caracteres, utilizando o índice de seleção da somatória das variáveis padronizadas (ΣZ). Para isso, as médias das progênes de cada caráter, por local, foram padronizadas segundo a expressão:

$$Z_{ij} = \frac{Y_{ij} - \bar{Y}_j}{s_j}$$

em que:

Z_{ij} : variável padronizada do tratamento i para o caráter j , onde $i = 1, 2, 3, \dots, 256$ e $j = 1, 2$ e 3 ;

Y_{ij} : observação da variável do tratamento i para o caráter j ;

\bar{Y}_j : média geral da variável dos 256 tratamentos do caráter j ;

s_j : desvio padrão fenotípico da variável do caráter j .

Como a variável Z_{ij} assume valores negativos e positivos, foi somado o valor sete as suas estimativas, para que não ocorram valores negativos. Nesse caso, a média populacional, em vez de zero, passou a ser sete.

Posteriormente, obteve-se a média de ΣZ dos três caracteres por local, os quais foram submetidos à análise de variância, considerando cada local como repetição. Estimou-se a herdabilidade de ΣZ , o ganho esperado com a seleção,

considerando as 12 melhores progênies, ou seja, intensidade de seleção de 5%, e a resposta correlacionada esperada em cada caráter isoladamente.

4 RESULTADOS

4.1 Comparações das estratégias de análise dos dados de cozimento

No experimento conduzido em Lavras, a avaliação do cozimento não utilizou o mesmo delineamento de campo. As análises foram realizadas considerando o delineamento de grupos de experimentos em blocos casualizados com tratamentos comuns às repetições. Posteriormente, foi realizada uma análise desconsiderando que cada avaliação fosse um experimento distinto. Na tabela 3, estão representados os resultados obtidos. Observa-se que a precisão experimental avaliada pelo coeficiente de variação (CV) foi semelhante nos dois casos. Coerente com essa observação houve sobreposição dos intervalos de confiança da herdabilidade (h^2), portanto, as duas estimativas podem ser consideradas iguais. Vale salientar que apesar da precisão semelhante, a classificação das dez melhores ou piores linhagens não foi coincidente (Tabela 4). Ressalta-se também que, devido ao ajuste dos dados utilizando os tratamentos comuns, podem ocorrer valores negativos para porcentagem de cozimento, como apresentado na tabela 4.

Quando se avaliaram os experimentos de Patos de Minas e Lambari, adotou-se o mesmo delineamento experimental de campo, látice 16 x 16. Em Patos de Minas, o látice foi eficiente somente quando tratamentos comuns não foram utilizados. Em Lambari, o látice foi eficiente com e sem o uso de tratamentos comuns. Nota-se, pela estimativa da h^2 e do CV, que nesses locais o uso de tratamentos comuns, como já comentado anteriormente, não foi vantajoso

(Tabelas 5 e 6). Assim, possíveis variações entre as painéis, “blocos dentro de repetições”, podem ser atenuadas com o emprego do delineamento em látice.

Nesses dois locais visualiza-se que, embora ocorresse pequena mudança na classificação, 100% das progênies consideradas superiores ou inferiores foram coincidentes com e sem o uso de tratamentos comuns (Tabelas 7 e 8). Portanto, o uso do delineamento em látice deve ser preferido ao grupo de experimentos. Além disso, em início de programas de melhoramento, quando é necessária a avaliação de grande número de progênies, os experimentos de campo são normalmente conduzidos em blocos incompletos, para se ter maior controle ambiental (FU et al., 1998; RESENDE, 2007). Nesse caso, recomenda-se que o delineamento da avaliação para porcentagem de grãos cozidos siga o mesmo delineamento, o que pode facilitar, posteriormente, o manejo dos dados na realização das análises estatísticas.

Tabela 3 Resumos das análises de variância das porcentagens de grãos cozidos. Dados obtidos na avaliação de progênies S_{0,2} do CXIII de seleção recorrente. Análise realizada com ou sem o emprego de tratamentos comuns. Lavras, MG, 2013

DBC sem tratamentos comuns			DBC com tratamentos comuns		
FV	GL	QM	FV	GL	QM
Repetição	1	597,76**	Repetição (Exp)	12	607,43**
Tratamentos	255	233,20**	Tratamentos (Aj.)	257	319,99**
Progênies	251	227,79**	Regulares	255	229,60**
Testemunhas	3	44,07	Progênies	251	222,26**
Progênies vs Testemunhas	1	2160,68**	Testemunhas	3	596,82**
Erro	255	105,53	Progênies vs Testemunhas	1	971,68**
			Comuns	1	2710,06**
			Comuns vs Regulares	1	20978,25**
			Erro médio	279	85,78
Média (%)		42,80			37,37
CV (%)		20,25			24,78
h ² (%)		53,67			61,41
(LI – LS) ¹		(40,70 – 63,82)			(59,89 – 69,71)

** Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste de F

¹/ Limites do intervalo de confiança da h²

Tabela 4 Porcentagem média de grãos cozidos das dez melhores e piores progênes S_{0:2}. Análise realizada com e sem o emprego de tratamentos comuns. Lavras, MG, 2013

Classificação	Com trat. comum		Sem trat. comum	
	Progênie	Média	Progênie	Média
1	78	79,48	78	67,50
2	168	68,69	168	63,92
3	243	67,24	91	62,00
4	129	67,07	105	62,00
5	150	65,21	129	60,47
6	91	64,74	185	60,11
7	166	64,31	231	60,11
8	233	64,31	66	58,99
9	225	64,13	214	58,58
10	110	63,47	223	58,39
...	
247	25	5,78	65	18,43
248	90	5,61	198	18,43
249	183	4,43	102	17,85
250	65	3,66	27	17,23
251	124	2,46	31	17,23
252	31	2,45	199	15,68
253	176	-0,19	245	15,68
254	52	-0,87	52	13,91
255	45	-1,72	41	12,92
256	22	-3,32	59	12,02

Tabela 5 Resumo da análise de variância da porcentagem de grãos cozidos. Análise realizada no delineamento em látice 16 x 16, com e sem o uso de tratamentos comuns. Emprego de progênies S_{0,2}. Patos de Minas, MG, 2013

FV	Sem tratamento comum		Com tratamento comum	
	GL	QM	GL	QM
Progênies	251	189,80**	251	188,16**
Erro efetivo	225	67,94	287	78,34
ER (%)		112,27		97,40
Média (%)		36,55		34,88
CV (%)		22,55		25,37
h ² (%)		64,20		58,37
(LI - LS) ¹		(53,76 - 72,24)		(47,12 - 67,28)

** Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste de F.

^{1/} Limites do intervalo de confiança da h²

Tabela 6 Resumo da análise de variância da porcentagem de grãos cozidos. Análise realizada no delineamento em látice 16 x 16, com e sem o uso de tratamentos comuns. Emprego de progênies S_{0,2}. Lambari, MG, 2013

FV	Sem tratamento comum		Com tratamento comum	
	GL	QM	GL	QM
Progênies	251	179,59**	251	184,22**
Erro efetivo	225	69,69	287	73,78
ER (%)		115,19		108,80
Média (%)		33,75		32,08
CV (%)		24,74		26,78
h ² (%)		61,19		59,95
(LI - LS) ¹		(49,87 - 69,90)		(49,13 - 68,53)

** Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste de F.

^{1/} Limites do intervalo de confiança da h²

Tabela 7 Porcentagem média de grãos cozidos das dez melhores e piores progênies S_{0:2}. Análise realizada com e sem o emprego de tratamentos comuns. Patos de Minas, MG, 2013

Classificação	Sem tratamento comum		Com tratamento comum	
	Progênie	Média	Progênie	Média
1	235	62,96	153	63,10
2	153	62,94	235	62,88
3	88	59,55	88	58,83
4	91	57,54	143	57,53
5	143	56,49	91	56,74
6	64	55,96	64	56,63
7	78	55,77	78	55,41
8	168	55,34	168	55,29
9	201	54,31	201	54,92
10	79	54,09	79	54,78
...	
247	20	20,46	20	20,29
248	149	20,04	149	20,11
249	190	19,56	190	19,52
250	108	19,34	147	19,02
251	37	18,99	37	18,98
252	147	18,71	108	18,68
253	54	18,12	54	18,31
254	175	15,10	175	16,11
255	212	11,26	212	10,68
256	198	10,82	198	9,99

Tabela 8 Porcentagem média de grãos cozidos das dez melhores e piores progêneses S_{0:2}. Análise realizada com e sem o emprego de tratamentos comuns. Lambari, MG, 2013

Classificação	Sem tratamento comum		Com tratamento comum	
	Progênie	Média	Progênie	Média
	44	58,32	44	59,95
2	166	56,81	166	57,22
3	153	56,53	215	56,16
4	30	56,27	153	55,83
5	215	55,62	30	55,60
6	235	55,02	230	54,69
7	230	54,64	235	54,16
8	84	53,94	33	54,14
9	33	52,38	84	53,72
10	167	51,65	167	52,35
...	
247	155	16,32	117	16,58
248	117	15,98	155	15,81
249	255	14,63	255	14,85
250	253	14,11	253	13,63
251	256	13,44	256	12,93
252	254	13,22	254	12,42
253	198	10,12	198	9,51
254	227	9,18	227	9,47
255	95	8,14	95	8,57
256	175	1,92	175	2,14

4.2 Avaliação de progênies $S_{0:2}$ do ciclo XIII de seleção recorrente

Ocorreu diferença significativa ($P < 0,01$) entre os locais para a produtividade de grãos, nota de grãos e porcentagem de grãos cozidos (Tabela 9). A maior produtividade média de grãos foi obtida em Lambari. Já para a nota de grãos e porcentagem de cozimento a maior média foi obtida em Lavras (Tabela 10).

A fonte de variação progênies foi significativa ($P < 0,01$) para produtividade de grãos, nota do tipo de grãos e porcentagem de cozimento (Tabela 9). Isso mostra que existe variação genética entre as progênies para os três caracteres; condição essa favorável à seleção.

As distribuições de frequência das médias comprovam a existência de variabilidade entre as progênies (Figura 9). A amplitude de variação para a produtividade de grãos foi de 287,25 gramas. Esse valor corresponde a 67,93% da média. No caso da porcentagem de cozimento, a variação proporcional foi ainda maior, equivalendo-se a 134,6% da média. Já para nota de grãos, a amplitude foi de 6,22, ou seja, 130,4% em relação à média. Valor bem semelhante ao obtido para a porcentagem de cozimento.

A existência de variação entre as progênies também pode ser constatada por meio das estimativas dos componentes de variância genética e fenotípica. No caso da produtividade de grãos, as estimativas de variância genética entre progênies (V_P) foram semelhantes, pois nos três locais ocorreu sobreposição do intervalo de confiança das estimativas. É interessante realçar que as estimativas da herdabilidade reforçam essa observação. Como a interação progênies x locais foi não significativa, o componente de variância da interação progênies x locais (V_{PL}) foi de pequena magnitude, apenas 1,7% da estimativa de V_P . Esse fato contribuiu para que a estimativa de h^2 na média dos locais fosse de magnitude superior à obtida em cada local (Tabela 11).

Tabela 9 Resumos das análises de variância conjuntas dos locais das avaliações de progênes S_{0.2}. Dados obtidos para produtividade de grãos (g/parcela), nota de tipo de grão e porcentagem de grãos cozidos

FV	GL	QM		
		Produtividade	Tipo de grão ¹	Cozimento
Local	2	466312,67**	125,20**	3630,48**
Tratamento Aj.	255	16946,51**	7,28**	410,71**
Progênes	251	16371,34**	6,78**	258,10**
Testemunhas	3	12029,18	17,88**	243,38
Progrvs Test	1	58688,70**	100,69**	2153,83**
Trat x Local	510	7966,86	2,86**	194,72**
Prog x Local	502	7887,60	2,88**	194,31**
Test x Local	6	15908,11	1,16	190,24**
P vs T x Local	2	4038,24	1,27	313,38**
Erro médio	768	7839,67	0,67	74,47
Média		421,77	4,74	36,46
CV (%)		20,99	17,22	23,67
h ² (%)		51,34	57,47	24,72
LI		40,52	47,49	7,05
LS ²		61,28	65,82	39,50

** Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste F.

^{1/} Nota de tipo de grãos. 1, muito ruim e 9, muito bom. ^{2,3/} Limite inferior e superior do intervalo de confiança da h²

Tabela 10 Média dos caracteres produtividade de grãos (g/parcela), nota de tipo de grãos e porcentagem de grãos cozidos para cada local e na média dos locais, considerando progênes e testemunhas separadamente

Local	Produtividade	Tipo de grão	Cozimento
Lavras	423,33	5,16	39,05
Patos de Minas	396,38	4,70	36,55
Lambari	445,59	4,36	33,75
Média dos locais			
Progênes	422,87	4,74	36,71
Testemunhas	352,50	3,00	20,00

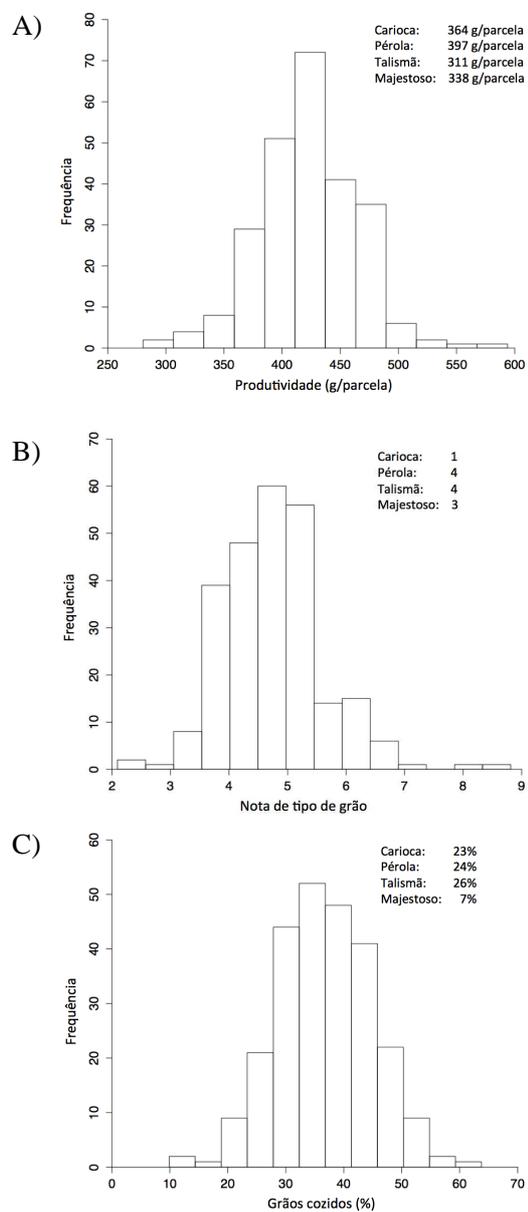


Figura 9 Distribuição de frequências das médias das progêneses $S_{0;2}$ avaliadas em três locais. A) Produtividade de grãos - g/parcela. B) Nota de tipo de grãos, sendo 1 muito ruim e 9 muito bom. C) Porcentagem de grãos cozidos

Tabela 11 Estimativas para produtividade de grãos (g/parcela) da variância genética (V_P), fenotípica (V_F), da interação progênes x locais (V_{PL}) e da herdabilidade (h^2) entre progênes $S_{0:2}$. Dados obtidos por local e na média dos locais

Parâmetros	Lavras	Patos de Minas	Lambari	Média dos locais
V_P	1449,59	761,22	665,03	942,64
LI ¹	918,11	414,53	294,97	677,34
LS ¹	2780,30	1923,53	4553,80	1393,73
V_F	4058,71	2841,06	3815,73	1819,04
V_{PL}	-	-	-	15,98
h^2	35,72	26,79	17,43	51,82
LI ²	20,38	9,33	-2,27	40,52
LS ²	48,47	42,31	33,81	61,28

^{1/} Limites inferior e superior do intervalo de confiança da V_P . ^{2/} Limites inferior e superior do intervalo de confiança da h^2

Tabela 12 Estimativas para nota de tipo de grãos da variância genética (V_P), fenotípica (V_F), da interação progênes x locais (V_{PL}) e da herdabilidade (h^2) entre progênes $S_{0:2}$. Dados obtidos por local e na média dos locais

Parâmetros	Lavras	Patos de Minas	Lambari	Média dos locais
V_P	1,27	1,02	1,23	0,43
LI ¹	1,05	0,83	1,01	0,32
LS ¹	1,58	1,30	1,52	0,61
V_F	1,47	1,29	1,42	0,75
V_{PL}	-	-	-	0,74
h^2	86,39	79,07	86,62	57,47
LI ²	83,03	74,64	82,87	47,49
LS ²	88,94	83,47	88,84	65,82

^{1/} Limites inferior e superior do intervalo de confiança da V_P . ^{2/} Limites inferior e superior do intervalo de confiança da h^2

Tabela 13 Estimativas para porcentagem de grãos cozidos da variância genética (V_P), fenotípica (V_F), da interação progênes x locais (V_{PL}) e da herdabilidade (h^2) entre progênes $S_{0,2}$. Dados obtidos por local e na média dos locais

Parâmetros	Lavras	Patos de Minas	Lambari	Média dos locais
V_P	62,09	60,93	54,95	10,63
LI ¹	46,35	46,87	41,68	5,48
LS ¹	88,29	84,07	77,45	38,59
V_F	104,98	94,90	89,80	43,02
V_{PL}	-	-	-	59,92
h^2	59,14	64,20	61,20	24,72
LI ²	48,01	53,76	51,94	7,05
LS ²	67,94	72,24	68,89	39,50

^{1/} Limites inferior e superior do intervalo de confiança da V_P . ^{2/} Limites inferior e superior do intervalo de confiança da h^2

Quando se consideram as estimativas para as notas do tipo de grãos, dois fatos chamam atenção. O primeiro se refere a maior magnitude da estimativa da herdabilidade entre as médias das progênes em cada local, com relação à obtida para a produtividade e a porcentagem de cozimento de grãos. O outro aspecto deve-se ao componente de V_{PL} , que foi 72% acima de V_P , comprovando a existência de interação progênes x locais para esse caráter (Tabela 12).

A porcentagem de cozimento, em termos de valor absoluto, apresentou estimativas de herdabilidade por local intermediária à obtida para a produtividade de grãos e notas de tipo de grãos. A estimativa de V_{PL} foi 4,6 vezes superior à estimativa de V_P , evidenciando a importância da interação progênes x locais para esse caráter (Tabela 13).

As estimativas das correlações dos três caracteres dois a dois, para cada local e na média dos locais foram bem coincidentes. Entre produtividade e porcentagem de cozimento ou nota de tipo de grãos ela foi nula. Já entre esses

dois últimos caracteres, a correlação, embora significativa ($P < 0,01$) em todas as condições, foi de pequena magnitude (Tabela 14).

Tabela 14 Estimativas das correlações fenotípicas de Pearson entre os caracteres produtividade de grãos, nota de tipo de grão e porcentagem de grãos cozidos. Dados obtidos de progênies $S_{0,2}$, em três locais e na média dos locais

Lavras		Cozimento	Tipo de grão
	Produtividade	0,059	0,003
Cozimento		0,249**	
Patos de Minas		Cozimento	Tipo de grão
	Produtividade	0,112	0,067
Cozimento		0,292**	
Lambari		Cozimento	Tipo de grão
	Produtividade	0,008	0,089
Cozimento		0,387**	
Média dos locais		Cozimento	Tipo de grão
	Produtividade	0,181	0,116
Cozimento		0,414**	

** Significativo a 1% de probabilidade pelo Teste t

Como se tem três caracteres foi estimado inicialmente o ganho esperado com a seleção para cada um deles isoladamente. Observou-se que em todos os casos, pelas razões já apontadas, o ganho foi expressivo, superior a 11% (Tabela 15). Chama-se atenção para a resposta correlacionada quando somente a produtividade de grãos foi utilizada como critério seletivo, que é uma situação muito comum em muitos programas de melhoramento. Pode-se notar que, se adotada essa estratégia, haveria redução na média das notas de tipo de grãos e baixo ganho para a porcentagem de grãos cozidos.

Adotou-se também como critério seletivo o somatório das variáveis padronizadas (ΣZ). A estimativa de herdabilidade e a amplitude de variação entre a média observada (M_O) e a média das 5% progênies superiores (M_S)

foram elevadas, o que contribuiu para que o ganho com a seleção em relação à média fosse expressivo, de 31,62%. Adicionalmente, essa seleção propiciou ganhos positivos para os três caracteres.

Uma amostra de grãos da progênie 106, classificada em primeiro lugar pelo índice de ΣZ , e da cultivar Carioca, utilizada como testemunha e inferior com relação ao aspecto de grãos, é demonstrada na Figura 7. Veja que os grãos dessa progênie apresentam o fenótipo almejado em uma cultivar de feijão, ou seja, cor de fundo, das estrias e do halo clara e duradoura, formato ideal, tamanho médio e massa de 100 grãos igual a 30 gramas. Com o uso do índice de ΣZ foi possível associar nas progênies selecionadas, além do bom aspecto visual, alta produtividade de grãos e rapidez de cozimento, o que é altamente desejável.



Figura 10 Amostra de grãos da cultivar Carioca (esquerda) e da progênie 106 classificada em primeiro posto quando utilizado o índice de ΣZ , 60 dias após a colheita

Tabela 15 Estimativa do ganho com a seleção (GS), considerando os três caracteres simultaneamente, utilizando a produtividade de grãos e o índice Z

		Índice Z	Produtividade (g/parcela)	Nota de tipo de grão	Cozimento (%)
Resposta da seleção direta em cada caráter	M _S ¹	-	513,58	6,89	53,72
	M _O ²	-	421,77	4,74	36,46
	h ²	-	51,82	57,47	24,72
	GS	-	47,58	1,23	4,27
	GS/Mo (%)	-	11,28	26,02	11,71
Resposta correlacionada à seleção utilizando a produtividade de grãos	M _S	-	513,58	4,49	40,64
	M _O	-	421,77	4,74	36,46
	h ²	-	51,82	57,47	24,72
	GS	-	47,58	-0,14	1,03
	GS/Mo (%)	-	11,28	-3,06	2,84
Resposta correlacionada à seleção utilizando o índice Z	M _S	10,29	474,36	6,47	46,95
	M _O	7,00	421,77	4,74	36,46
	h ²	67,23	51,82	57,47	24,72
	GS	2,21	27,25	0,99	2,59
	GS/Mo (%)	31,62	6,46	20,97	7,12

^{1/} Média das 5% progênies S_{0:2} superiores, ^{2/} Média considerando todas as progênies S_{0:2}

5 DISCUSSÃO

Para aplicação da nova metodologia o primeiro questionamento que surge é se a mesma pode substituir o método mais utilizado para avaliação do cozimento de feijão, o método de Mattson. Em testes preliminares realizados utilizando linhagens (dados não apresentados), podem ser verificados que o método da panela de pressão identificou melhor as diferenças entre as linhagens que o Método de Mattson.

Preliminarmente, foi avaliado também o período de hidratação necessário das amostras para que o tempo mínimo de pressão indicado pelo fabricante da panela de pressão elétrica, 20 minutos, como já mencionado, pudesse ser utilizado com boa discriminação das progênies, ou seja, para que a fonte de variação progênie fosse significativa ($P \leq 0,01$). Noventa minutos foram estabelecidos. É importante comentar que a etapa de hidratação é facultativa. Se o avaliador preferir, pode utilizar 35 minutos de pressão para o cozimento dos grãos sem a necessidade de hidratação prévia. Contudo, como muitas donas de casa utilizam essa prática, ela pode ser adotada, mesmo que o tempo de hidratação seja superior. A identificação de diferença entre as progênies não será prejudicada, apenas a porcentagem média de grãos cozidos deve aumentar. É importante mencionar que a única desvantagem em se aumentar o tempo de cocção ao invés de se utilizar a embebição é o risco de perda nutricional pelo maior tempo de exposição ao calor. Porém, como o objetivo aqui é apenas discriminar as progênies, isso é relevante.

Foi verificado também que cinco minutos são suficientes para o resfriamento dos grãos e início das avaliações, para que não ocorram grandes diferenças de temperatura que possivelmente poderiam influenciar para maior ou menor perfuração dos grãos. Se necessário, as amostras podem ser mantidas em

refrigerador (4°C), até o momento das avaliações, sem alteração dos resultados de porcentagem de grãos cozidos (dados não apresentados).

É importante mencionar que o critério adotado entre a metodologia proposta neste trabalho e o método de Mattson é semelhante, ou seja, os dois consideram o número de grãos perfurados utilizando o cozedor de Mattson. A principal diferença é que no método de Mattson estabelece-se uma porcentagem de grãos a serem perfurados, que varia de 50 a 100%, e obtém-se o tempo necessário para atingir esse resultado. Isso requer total atenção do avaliador até que o número de pinos pré-determinado perfure os grãos. Por outro lado, na nova metodologia fixa-se o tempo de cozimento e avalia-se o número de grãos perfurados de cada progênie/linhagem.

Chama-se atenção para algumas vantagens e aspectos dessa metodologia quando comparada ao método de Mattson. O primeiro se refere ao tempo das avaliações. No método de Mattson é necessário que os grãos sejam hidratados 16 horas antes da realização do teste. Na nova metodologia, a hidratação é facultativa, como já mencionado. Neste trabalho foram fixados 90 minutos para hidratação, 40 minutos para o cozimento, sendo 20' para atingir a pressão e 20' com a pressão estabilizada, e 45 minutos para avaliação de 25 amostras (quantidade que cabe na panela utilizada), considerando apenas um operador. Desse modo, para tornar o processo contínuo, a cada 50 minutos são colocados mais amostras para embeberem. Assim, em um dia de trabalho (oito horas) é possível realizar nove avaliações, ou seja, 112 progênies com repetição. No método convencional, considerando que o tempo gastonas avaliações é, em média, de 30 minutos, com oito horas, seria difícil avaliar mais do que 16. Mesmo que fosse adotado o sistema automatizado (WANG; DAUN, 2005), o tempo não alteraria, apenas a presença/atenção do operador poderia ser menor.

Deve ser destacado que em programas de seleção recorrente, especialmente com a cultura do feijoeiro em que são conduzidas três safras por

ano, o tempo entre as estações de cultivo é curto. As avaliações precisam ser realizadas com a maior agilidade possível e identificadas as progênies superiores para a semeadura seguinte. O caráter capacidade de cozimento não tem sido utilizado como critério de seleção devido à falta de uma metodologia adequada no tempo disponível. Com o uso da metodologia proposta, a inclusão do caráter capacidade de cozimento como critério seletivo é viabilizada devido ao número de amostras possíveis de serem avaliadas por dia. O que é altamente desejável, haja vista as demandas do consumidor já comentadas anteriormente.

Com a adoção dessa metodologia, a seleção é efetuada a partir da porcentagem de grãos cozidos, em tempo fixado, na panela de pressão. Assim, não se preocupou em estimar a porcentagem de grãos cozidos de cada progênie. Mas sim, a porcentagem em um tempo de truncamento pré-estabelecido para possibilitar a seleção.

Em relação à precisão, quando se usa a panela de pressão elétrica as condições entre as avaliações tornam-se mais uniformes. Além disso, com a nova metodologia, o sistema de avaliação fica mais próximo ao processo realizado pelas donas de casa, que utilizam também a panela de pressão para o cozimento do feijão.

Constatou-se que a eficiência do delineamento em látice, adotado nos experimentos conduzidos em Patos de Minas e Lambari, foi superior em 13,5% a dos blocos completos casualizados na média dos dois experimentos (Tabelas 5 e 6). Em início de programas de melhoramento, quando é necessária a avaliação de grande número de progênies, os experimentos em campo são normalmente conduzidos em blocos incompletos, para se ter maior controle ambiental (FU et al., 1998; RESENDE, 2007). Nesse caso, recomenda-se que o delineamento da avaliação para porcentagem de grãos cozidos siga o mesmo delineamento de campo. No presente trabalho, como já comentado, quando esse sistema foi adotado, as progênies consideradas superiores ou inferiores para o caráter

avaliado foram coincidentes na análise com ou sem a adoção de tratamentos comuns (Tabelas 7 e 8). Isso contribui para uma maior confiança nos dados obtidos.

Deve ser salientado que a precisão dos experimentos na avaliação desse caráter foi relativamente alta em todos os casos, o que pode ser confirmado pelas estimativas de herdabilidade, sempre superior a 59% (Tabela 13), magnitude semelhante às relatadas na literatura (BALDONI; SANTOS, 2005; GARCIA et al., 2012; JACINTO-HERNANDEZ et al., 2003). Devido à sobreposição dos intervalos de confiança das estimativas de herdabilidade, pode-se inferir que o uso de tratamentos comuns não incrementou a precisão dos experimentos, independente do delineamento utilizado (Tabelas 3, 5 e 7), portanto, não são necessários. Isso representa enorme ganho de tempo nas avaliações e menor gasto de recursos.

A porcentagem média de cozimento variou entre os locais, sendo menor em Lambari (Tabela 10). Deve ser salientado que os experimentos foram semeados em novembro e a colheita coincidiu com precipitações intensas, especialmente em Lavras e Patos de Minas. Após a colheita, as plantas foram mantidas sob abrigo até o momento da trilha. Em Lambari, não ocorreu chuva no momento da colheita, e as plantas permaneceram mais tempo no campo sob alta temperatura. Na literatura, existem relatos que as condições climáticas até o momento da colheita afetam o tempo de cozimento (ARRUDA et al., 2012; BERTOLDO et al., 2009a; RODRIGUES et al., 2005), o que está de acordo com o constatado no presente trabalho.

Outro aspecto que necessita ser comentado se refere à avaliação do aspecto de grãos. Foi verificado por Araújo, Ramalho e Abreu (2012) que para o caráter escurecimento precoce de grãos não existe interação genótipos x épocas de avaliação, e a partir de 30 dias após a colheita já é possível discriminar as progênies. Assim, após esse período mínimo uma amostra dos grãos de cada

progênie, aproximadamente 60 gramas, foi colocada em saco plástico transparente. Isso permitiu que os avaliadores classificassem as amostras comparativamente, envolvendo aspectos de cor, sobretudo o escurecimento precoce, tamanho e formato dos grãos. A estratégia funcionou, sendo a acurácia das avaliações alta, o que pode ser comprovado pelas estimativas da herdabilidade em cada local (Tabela 12).

É importante mencionar que para esse tipo de avaliação, convencionalmente, o avaliador determina a nota de cada progênie separadamente, colocando na palma de suas mãos uma amostra de grãos. Nesse método convencional, muitas vezes o avaliador fica em dúvida sobre a nota. Já a metodologia adotada permitiu estabelecer a nota das progênies com maior segurança, pois permite compará-la com as outras progênies e verificar a classificação ideal.

No contexto da seleção recorrente, a ênfase será direcionada às análises conjuntas, considerando os três locais (Tabela 9). A interação progênies x locais diferiu entre os caracteres. Para as notas de grãos e porcentagem de cozimento, ela foi alta. Provavelmente a existência de variação ambiental no momento da colheita, já comentada, pode ter contribuído para essa interação. De qualquer forma, fica evidente que o comportamento das progênies para esses dois caracteres não foi coincidente nos três locais. No caso da produtividade de grãos, são comuns relatos da interação genótipos x locais na cultura do feijoeiro (BRUZI; RAMALHO; ABREU, 2007; FARIA et al., 2013; LIMA; RAMALHO; ABREU, 2012; SILVA et al., 2010), mas também são encontrados relatos de não ocorrência dessa interação (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005), como ocorreu no presente trabalho.

A existência de variação entre as progênies para produtividade, tipo de grãos e porcentagem de grãos cozidos pode ser confirmada pela distribuição de frequência (Figura 9) e estimativas de variância genética (V_p) (Tabelas 11, 12 e

13). O limite inferior do intervalo de confiança de V_p sempre positivo indica que elas são diferentes de zero. A estimativa de herdabilidade também pode ser utilizada para confirmar a existência de variabilidade entre as progênies. Como vantagem, ela possibilita a comparação entre experimentos diferentes e, assim, permite inferir se a população submetida à seleção recorrente ainda tem variabilidade para futuros ganhos com a seleção.

Como a variância entre progênies $S_{0:2}$ contém 1 de V_A (variância aditiva) e 1/16 de V_D (variância de dominância), em princípio as herdabilidades estimadas são no sentido amplo. Na literatura, não há consenso com relação à importância da dominância na cultura do feijoeiro. Para produtividade, por exemplo, existem vários trabalhos que apontam predominância de V_A (CORTE et al., 2010; NIENHUIS; SINGH, 1988; TAKEDA, 1990). Outros, no entanto, comentam que V_D também é expressiva (GONÇALVES-VIDIGAL et al., 2008). Contudo, mesmo que V_D fosse expressiva, como a variância entre progênies $S_{0:2}$ só explora 1/16 de V_D , pode-se inferir que a quase totalidade da variância genética é devido a V_A . Desse modo, para fins práticos, pode-se considerar as estimativas de herdabilidade obtidas no sentido restrito.

Observa-se que as estimativas de herdabilidade variaram entre os caracteres, sendo menor para a porcentagem de cozimento (Tabela 9). Deve ser ressaltado que isso ocorreu provavelmente devido à interação progênies x locais, haja vista que nas análises individuais as estimativas de herdabilidade para esse caráter foram de magnitude média a alta (Tabela 13).

Para produtividade de grãos, as estimativas de herdabilidade obtidas de 51,8% estão dentro do limite relacionado por Ramalho et al. (2012a) em levantamento realizado na literatura com relação ao feijoeiro. O que realmente interessa é comparar a estimativa de herdabilidade obtida neste trabalho, ciclo XIII de seleção recorrente, com as relatadas na literatura para a mesma população nos ciclos CIV (RAMALHO; ABREU; SANTOS, 2005) e CVIII

(SILVA et al., 2010). Verificou-se que todas estão dentro do intervalo de confiança estimado em cada ciclo. Depreende-se que a variabilidade genética da população não tem reduzido com os ciclos de seleção recorrente realizados. No caso da porcentagem de cozimento e nota de tipo de grãos, não foram encontrados relatos da estimativa de herdabilidade nos ciclos anteriores da seleção recorrente. Mas, mesmo assim, pelos motivos já apresentados, pode-se inferir que ainda existe variabilidade suficiente para se continuar tendo sucesso com a seleção.

Foi verificado que existe correlação positiva entre porcentagem de cozimento e tipo de grãos (Tabela 14). Essa pode ser decorrente da pleiotropia e/ou ligação dos genes que controlam esses caracteres (FALCONER; MACKAY, 1996). Porém, devido à baixa magnitude da mesma, não seria possível realizar a seleção indireta para capacidade de cozimento baseando-se apenas em uma das duas características. Observa-se também que não existe associação entre esses caracteres e a produtividade de grãos. Por isso, recomenda-se o uso de um índice de seleção que não necessita incluir a covariância genética e fenotípica existente entre os mesmos. Poderiam ser utilizados, por exemplo, os índices da soma de postos (MULAMBA; MOCK, 1978) e da soma das variáveis padronizadas (ΣZ). Se os dados têm distribuição normal, a coincidência desses dois índices é completa (RAMALHO et al., 2012a). Portanto, optou-se por utilizar ΣZ , pois tem sido utilizado na cultura do feijoeiro com relativa frequência (MENDES; RAMALHO; ABREU, 2009). Além disso, ele não é influenciado pelas escalas originais das variáveis, o que é muito importante nesse caso.

A seleção das 5% melhores progênies pelo índice da ΣZ propiciou ganho de 31,6% (Tabela 15). Na literatura não são encontrados muitos relatos do ganho esperado com a seleção utilizando esse índice. A maioria dos resultados existentes é para caracteres isolados, principalmente para produtividade de

grãos. Ramalho et al. (2012a), apresentam uma relação de dez estimativas do ganho esperado para produtividade de grãos no feijoeiro, variando de 0 a 30,8%. Como se observa na tabela 15, a estimativa do ganho esperado com a seleção apenas na produtividade de grãos ficou dentro desse intervalo (GS= 11,2%).

A seleção efetuada pelo índice do ΣZ proporcionou ganhos positivos para todos os três caracteres envolvidos. Inclusive, as magnitudes dos ganhos indiretos (resposta correlacionada) foram superiores a 50% do ganho esperado se a seleção fosse efetuada diretamente em cada caráter (Tabela 15). Em contrapartida, se fosse utilizada a estratégia aplicada no programa nos ciclos anteriores, ou seja, seleção com ênfase em produtividade de grãos, a resposta correlacionada no cozimento e tipo de grãos seria pouco expressiva, inclusive negativa para nota de tipo de grãos.

É conveniente mencionar que as cultivares utilizadas como testemunhas nos experimentos estão entre as mais cultivadas no Estado de Minas Gerais. Entretanto, elas apresentaram desempenho médio inferior ao das progênies avaliadas para os três caracteres (Tabela 10 e Figura 9). A magnitude dessa diferença foi particularmente expressiva para tipo de grãos e porcentagem de cozimento (maior que 50%). Como já comentado, menor tempo de cozimento representa economia de tempo e energia.

Nesse contexto, deve-se destacar a progênie 106 (Figura 10), que foi a classificada no primeiro posto pelo ΣZ , por associar, além do excelente fenótipo dos grãos (nota 8,6 – 1ª colocação), alta produtividade (486,32 g/parcela – 14ª colocação) e rapidez de cozimento (45,6% - 36ª colocação). Considerando esse último aspecto, há uma menor perda de nutrientes e, portanto, maior qualidade (BATISTA; PRUDÊNCIO; FERNANDES, 2010; WANG; DAUN, 2005), além do menor dispêndio de tempo e energia. Em se confirmando sua performance, ela e outras progênies avaliadas são candidatas a substituir com vantagem as cultivares comercializadas em um futuro próximo.

6 CONCLUSÃO

A nova estratégia de avaliação do cozimento permite boa acurácia na discriminação das progênies/linhagens, portanto é eficiente. Ela possibilita também avaliar grande número de progênies em curto espaço de tempo. O emprego de tratamentos comuns no delineamento em látice em cada etapa da avaliação, além de aumentar o trabalho, não melhora a precisão.

Após treze ciclos de seleção recorrente, ainda existe variabilidade genética na população para os caracteres produtividade, tempo de cozimento e tipo de grãos.

A baixa magnitude da estimativa da correlação entre notas de tipo de grãos e porcentagem de grãos cozidos, embora significativa, não possibilita ganhos para capacidade de cozimento a partir da seleção na nota de grãos.

A ausência de associação entre a produtividade de grãos e a porcentagem de cozimento ou tipo de grãos, mostra que é possível selecionar progênies com alta produtividade, com grãos de tipo carioca de excelente aspecto e com boa capacidade de cozimento, utilizando o índice de ΣZ .

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, L. C. A.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, Â. F. B. Estimates of genetic parameters of late seed-coat darkening of carioca type dry beans. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 36, n. 2, p. 156-162, 2012.
- ARAÚJO, L. C. A. **Seleção de linhagens de feijoeiro com escurecimento tardio dos grãos**. Lavras: UFLA, 2012.
- ARRUDA, B. et al. Environment is crucial to the cooking time of beans. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 32, n. 3, p. 573-578, 2012.
- BAKER, J. R. **Selection indices in plant breeding**. Boca Raton: CRC, 1986. 218 p.
- BALDONI, A. B.; SANTOS, J. B. Capacidade de cozimento de grãos de famílias de feijão do cruzamento ESAL 693 x Rosinha. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 27, n. 2, p. 233-236, 2005.
- BATISTA, K. A.; PRUDÊNCIO, S. H.; FERNANDES, K. F. Changes in the functional properties and antinutritional factors of extruded hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Journal of Food Science**, Chicago, v. 75, n. 3, p. C286-90, abr. 2010.
- BEARZOTI, E. **Simulação de seleção recorrente assistida por marcadores moleculares e espécies autógamas**. 1997. 230 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, 1997.
- BE MILLER, J. An introduction to pectin: structure and properties. In: FISHMAN, M. L.; IEN, J. J. (Org.). **Chemistry and functions of pectin**. Washington: American Chemical Society, 1986. p. 3-11.
- BENINGER, C. L. W. et al. Changes in polyphenols of the seed coat during the after-darkening process in Pinto Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 53, p. 7777-7782, 2005.
- BERTOLDO, J. G. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica para o caráter tempo de cocção do feijão preto. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 56, n. 3, p. 315-321, 2009a.

BERTOLDO, J. G. et al. Correlation between cooking time and production characters in bean at two environments. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 40, n. 1, p. 135-140, 2009b.

BLACK, R. G.; SINGH, U.; MEARES, C. Effect of genotype and pretreatment of field peas (*Pisium sativum*) on their dehulling and cooking quality. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 77, p. 251-258, 1998.

BRACKMANN, A. et al. Conservation of three bean genotypes (*Phaseolus vulgaris* L.) of the Carioca group in cold storage and controlled atmosphere. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, p. 911-915, 2002.

BROUGHTON, W. J. et al. Beans (*Phaseolus* spp.): model food legumes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 252, p. 55-128, 2003.

BRUZI, A. T.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Desempenho de famílias de cruzamento entre linhagens de feijões andinos e mesoamericanos em produtividade e resistência a *Phaeoisariopsis guiseola*. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, p. 650-655, 2007.

BURR, H. K. Cookability and flatulence studies with dry beans. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., 1972, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 1972a. v. 2, p. 499-536.

BURR, H. K. Precooked and quick-cooking beans products. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FEIJÃO, 1., 1972, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: UFV, 1972b. p. 477-498.

CARNEIRO, J. E. S. BRS Madrepérola: cultivar de feijão tipo carioca com escurecimento tardio de grãos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MELHORAMENTO DE PLANTAS, 6., 2011, Búzios. **Anais...** Búzios: SBMP, 2011. 1 CD ROM.

CASAÑAS, F. et al. Mapping of QTL associated with seed chemical content in a RIL population of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, Wageningen, p. 1-10, 16 fev. 2013. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s10681-013-0880-8/fulltext.html#Bib1>>. Acesso em: 10 mar. 2013.

CHIORATO, A. F. et al. Genetic gain in the breeding program of common beans at IAC from 1989 to 2007. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 10, p. 329-336, 2010.

COELHO, M. M. C. et al. Cooking capacity of dry bean grains according to genotype and temperature of hydration water. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1080-1086, 2008.

COELHO, M. M. C. et al. Effect of phytate and storage conditions on the development of the “hard-to-cook”. **Journal of the Science of food and Agriculture**, London, v. 87, p. 1237-1243, 2007.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Séries históricas**. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

CORTE, A. D. et al. Genetic analysis of seed morphological traits and its correlations with grain yield in common bean. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, Curitiba, v. 53, n. 1, p. 27-34, 2010.

ELSADR, H. T. et al. Characterization of seed coat post harvest darkening in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 123, n. 8, p. 1467-72, Dec. 2011.

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

FARIA, L. C. et al. Field crops research genetic progress during 22 years of improvement of carioca-type common bean in Brazil. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 142, p. 68-74, 2013.

FERREIRA, C. M. et al. Aspectos econômicos. In: VIEIRA, C.; JÚNIOR, T. J. P.; BORÉM, A. (Org.). **Feijão**. 2. ed. Viçosa, MG: UFV, 2011. p. 19-40.

FIGUEIRAS, G. C. et al. Aspectos socioeconômicos. In: ZILLI, J. É.; VILARINHO, A. A.; ALVES, J. M. A. (Org.). **A cultura do feijão-Caupi na amazônia brasileira**. Boa Vista: Embrapa, 2009. p. 23-58.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **FAOSTAT/ Agriculture: food supply**. 2009. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 21 nov. 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **FAOSTAT/ Agriculture:** production. 2011. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/>>. Acesso em: 23 nov. 2012.

FRANCO, L. Tendências 2013. **Globo Rural**, São Paulo, p. 26-59, 2013. Disponível em: <revistagloborural.globo.com/.../0,,EMI328046-18282-1,00-SAFRA+DE+R+ BILHOES.html>. Acesso em: 15 mar. 2013.

FU, Y. et al. Incomplete block designs for genetic testing: statistical efficiencies of estimating family means. **Canadian Journal of Forest Research**, Ottawa, v. 28, n. 7, p. 977-986, 1998.

GARCIA, R. A. V. et al. QTL mapping for the cooking time of common beans. **Euphytica**, Wageningen , v. 186, n. 3, p. 779-792, dez. 2012.

GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. et al. Heritability of quantitative traits in segregating common bean families using a Bayesian approach. **Euphytica**, Wageningen, v. 164, n. 2, p. 551-560, jul. 2008.

HALLAUER, A. R.; CANENA, M. J.; MIRANDA FILHO, J. B. **Quantitative genetics in maize breeding**. 3rd ed. New York: Springer, 2010. 680 p.

HARHOLT, J.; SUTTANGKAKUL, A.; VIBE SCHELLER, H. Biosynthesis of pectin. **Plant physiology**, Washington, v. 153, n. 2, p. 384-95, June 2010.

HINCKS, M. J.; STANLEY, D. W. Signification: evidence for a role in hard-to-cook beans. **Journal of Food Biochemistry**, Westport, v. 11, p. 41-45, 1987.

JACINTO-HERNANDEZ, C. et al. Genetic analysis and random amplified polymorphic DNA markers associated with cooking time in common bean. **Crop Science**, Madison, v. 43, p. 329-332, 2003.

JUNK-KNIEVEL, D. C.; VANDENBERG, A.; BETT, K. E. An accelerated post-harvest seedcoat darkening protocol for pinto beans grown across different environments. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 694-702, 2007.

JUNK-KNIEVEL, D. C.; VANDENBERG, A.; BETT, K. E. Slow darkening in Pinto Bean (*L.*) seed coats is controlled by a single major gene. **Crop Science**, Madison, v. 48, n. 1, p. 189, 2008.

KNAPP, S. J.; STROUP, W. W.; ROSS, W. M. Exact confidence intervals for heritability on a progeny mean basis. **Crop Science**, Madison, v. 25, p. 192-194, 1985.

LAURENT, B. et al. Digital camera images processing of hard-to-cook beans. **Journal of Engineering and Technology Research**, Nairobi, v. 2, n. 9, p. 177-188, 2010.

LIMA, L. K.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Implications of the progeny x environment interaction in selection index involving characteristics of the common bean. **Genetics and Molecular Research**, Ribeirão Preto, v. 11, n. 4, p. 4093-4099, 2012.

LIU, K. Cellular, biological, and physicochemical basis for the hard-to-cook beans. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 35, p. 263-298, 1995.

MARLES, M. A. S.; VANDENBERG, AL.; BETT, K. E. Polyphenol oxidase activity and differential accumulation of polyphenolics in seed coats of Pinto Bean (*Phaseolus vulgaris* L .) characterize Postharvest color changes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Easton, v. 56, p. 7049-7056, 2008.

MARTÍNEZ-MANRIQUE, E. et al. Enzymatic changes in pectic polysaccharides related to the beneficial effect of soaking on bean cooking time. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, Oxford, v. 91, n. 13, p. 2394-8, Oct. 2011.

MATTSON, S. The cookability of yellow peas: a colloid-chemical and biochemical study. **Acta Agriculturae Suecana**, Stockholm, v. 2, p. 185-231, 1946.

MENDES, F. F.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Índice de seleção para escolha de populações segregantes de feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 10, p. 1312-1318, 2009.

MULAMBA, N. N.; MOCK, J. J. Improvement of yield potencial of Eto Blanco maize (*Zea mays* L.) population by breeding for plant traits. **Journal of Genetics and Cytology**, Ontario, v. 7, p. 40-51, 1978.

MUNETTA, P. The cooking time of dry beans after extended storage. **Food Technology**, Chicago, v. 18, p. 130-131, 1964.

NIENHUIS, J.; SINGH, S. P. Genetic of seed yield and its components in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) of Middle-American origins I general combining ability. **Plant Breeding**, Berlin, v. 101, p. 143-154, 1988.

PARK, D.; MAGA, J. A. Dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) color stability as influenced by time and moisture content. **Journal of Food Processing and Preservation**, Hoboken, v. 23, p. 515-522, 1999.

PERINA, E. F. et al. Evaluation of the stability and adaptability of genotypes of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) through multivariate analysis of genotype performance. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 2, p. 398-406, 2010.

PINHEIRO, C. et al. Diversity of seed mineral composition of *Phaseolus vulgaris* L. germplasm. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 23, n. 4, p. 319-325, June 2010.

PROCTOR, J. R. Development of a modified Mattson bean cooker procedure based on sensory panel cookability evaluation no title. **Canadian Institute of Food Science and Technology**, Ontario, v. 20, n. 1, p. 9-14, 1987.

RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. D. F. B.; SANTOS, J. B. Genetic progress after four cycles of recurrent selection for yield and grain traits in common bean. **Euphytica**, Wageningen, v. 144, n. 1-2, p. 23-29, July 2005.

RAMALHO, M. A. P. Cultivares. In: ABREU, A. F. B.; BIAVA, M. **Cultivo do feijão da primeira e segunda safras na Região Sul de Minas Gerais**. 6. ed. Santo Antonio do Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. (Sistemas de Produção, 6).

RAMALHO, M. A. P.; DIAS, L. A. S.; CARVALHO, B. L. Contributions of plant breeding in Brazil – progress and perspectives. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 2, p. 111-120, 2012. Supl.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamas**. Lavras: UFLA, 2012a. 522 p.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Genética na agropecuária**. 5. ed. Lavras: UFLA, 2012b. 565 p.

RESENDE, M. D. V. **Matemática e estatística na análise de experimentos e no melhoramento genético**. Colombo: Embrapa, 2007. 362 p.

REYES-MORENO, C.; PAREDEZ-LOPEZ, O. Hard to cook phenomenon in common beans: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, Boca Raton, v. 35, p. 227-286, 1993.

RIBEIRO, N. D. et al. Amino acid composition in common bean cultivars and applications for genetic breeding. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 10, p. 1393-1399, 2007.

RIBEIRO, N. D. et al. Mineral concentrations in the embryo and seed coat of common bean cultivars. **Journal of Food Composition and Analysis**, San Diego, v. 26, n. 1-2, p. 89-95, May 2012.

RIOS, A. O.; ABREU, C. M. P.; CORRÊA, A. D. Efeitos da época de colheita e do tempo de armazenamento no escurecimento do tegumento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 23, n. 3, p. 550-558, 2002.

ROCHA, M. M.; VELLO, N. A. Interação genótipos e locais para rendimento de grãos de linhagens de soja com diferentes ciclos de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 58, n. 1, p. 69-81, 1999.

RODRIGUES, J. D. A. et al. Cooking quality of common bean grain obtained in different sowing periods. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 3, p. 369-376, 2005.

SAHA, S. et al. Variability of nutritional and cooking quality in bean (*Phaseolus vulgaris* L) as a function of genotype. **Plant Foods for Human Nutrition**, Dordrecht, v. 64, n. 2, p. 174-80, June 2009.

SARTORI, M. R. **Technological quality of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) stored under nitrogen**. Manhattan: Kansas State University, 1982.

SATTERTHAITE, F. E. An approximate distribution of estimates of variance components. **Biometrics**, Washington, v. 2, p. 110-114, 1946.

SHOMER, I. et al. The role of cell wall structure in the hard-to-cook phenomenon in beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Food Struct**, Oxford, v. 9, p. 139-149, 1990.

SILVA, G. S. et al. Estimation of genetic progress after eight cycles of recurrent selection for common bean grain yield. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 10, p. 351-356, 2010.

SILVA, G. S. et al. Genetic control of early grain darkening of carioca common bean. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Londrina, v. 8, p. 299-304, 2008.

SILVA, G. S. **Progresso e variabilidade genética com a seleção recorrente de grãos no feijoeiro**. 2009. 58 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

STAFFORD, H. A. **Flavonoid metabolism**. Boca Raton: CRC, 1990.

STATISTICAL ANALYSIS SISTEM. Cary: SAS Institute, 2001

TAKAYAMA, K. K.; MUNETA, P.; WIESE, A. C. Lipid composition of dry beans and its correlation with cooking time. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 13, p. 269-272, 1965.

TAKEDA, C. **Avaliação de progênies de feijoeiro do cruzamento “ESAL 501 x A 354” em diferentes ambientes**. 1990. 82 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, 1990.

THE BEAN INSTITUTE. **An overview of the status of the science on dry beans and human health**. 2010. Disponível em: <http://beaninstitute.com/health-benefits/dry-beans-and-human-health/#NUTRIENT_PROFILE_OF_DRY_BEANS>. Acesso em: 25 mar. 2013.

TORGA, P. P. et al. Cooking time of black beans genotypes evaluated in different environments. **Annual Report of the Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 53, p. 158-159, 2010.

VARGAS-TORRES, A. et al. Chemical composition, starch bioavailability and indigestible fraction of Common Beans (*Phaseolus Vulgaris* L.). **Starch - Stärke**, Weinheim, v. 56, n. 2, p. 74-78, fev. 2004.

VINDIOLA, O. L.; SEIB, P. A.; HOSENEY, R. C. Accelerated development of the hard-to-cook state in beans. **Cereal Foods World**, Minneapolis, v. 31, p. 538-552, 1986.

WANDER, A. E. **Cultivo do feijão irrigado na Região Noroeste de Minas Gerais**. Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2005. (Sistemas de Produção, 5).

WANG, N.; DAUN, J. K. Determination of cooking times of pulses using an automated Mattson cooker apparatus. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 85, n. 10, p. 1631-1635, Aug. 2005.

WHITE, P. J.; BROADLEY, M. R. Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets—iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium, and iodine. **New Phytologist**, Cambridge, v. 182, p. 49-84, 2009.

WOLFINGER, R. D.; FEDERER, W. T.; CORDERO-BRANA, O. Recovering information in augmented designs, and PROC MIXED. **Agronomy Journal**, Madison, v. 89, p. 856-859, 1997.