



FRANCISCO MAURO DE SOUSA

**RISCO DE RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE
FEIJÃO-CAUPI NO BRASIL**

LAVRAS-MG

2017

FRANCISCO MAURO DE SOUSA

RISCO DE RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI NO BRASIL

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

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu

Orientadora

LAVRAS - MG

2017

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Sousa, Francisco Mauro de.

Risco de recomendação de cultivares de feijão-caupi no Brasil /
Francisco Mauro de Sousa. - 2017.

49 p. : il.

Orientadora: Ângela de Fátima Barbosa Abreu.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de
Lavras, 2017.

Bibliografia.

1. *Vigna unguiculata*. 2. Interação genótipos x ambientes. 3.
Adaptabilidade e estabilidade. I. Abreu, Ângela de Fátima Barbosa.
II. Título.

FRANCISCO MAURO DE SOUSA

RISCO DE RECOMENDAÇÃO DE CULTIVARES DE FEIJÃO-CAUPI NO BRASIL

RISK OF RECOMMENDATION OF COWPEA CULTIVARS IN BRAZIL

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

APROVADA em 02 Agosto de 2017.

Prof. Dr. Magno Antonio Patto Ramalho

UFLA

Dr. Kaesel Jackson Damasceno e Silva

EMBRAPA

Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu

Orientadora

LAVRAS - MG

2017

AGRADECIMENTOS

Ao grande arquiteto do universo, que mostra toda a sua grandeza na complexidade escondida dentro de coisas aparentemente simples, que somente, por meio do discernimento concedido por Ele, somos capazes de conhecer.

A minha esposa Vera Lúcia Alves de Sousa e aos meus filhos, Pablo Alves de Sousa, Lucas Alves de Sousa e Tiago Gil Alves de Sousa, fonte inesgotável da energia que preciso para seguir em frente.

Aos meus Pais pela árdua luta de conduzir todos os seus filhos, muitas vezes sem a certeza do caminho a seguir.

Aos meus irmãos e, em especial, a Gil Alves Pereira Neto (in memoriam), pelo seu exemplo de justiça e perseverança.

Ao meu amigo Luis Santana de Sousa (Caruaru) e sua esposa, minha cunhada Cristiane Alves da Silva, meu baluarte quando da minha ausência, na labuta do dia a dia, no leva e traz das minhas crianças.

À Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais, pela sua importante contribuição na formação profissional dos egressos da Universidade Federal de Lavras.

A Embrapa Meio-Norte por oportunizar o acompanhamento do curso.

A toda equipe do Programa de Melhoramento de feijão-caupi, pela grande capacidade de conduzir o programa, mesmo em condições adversas. Em especial, aos meus amigos Kaesel Jackson Damasceno e Silva e Gustavo Carvalho de Sousa, sem eles, dificilmente seria possível, nem o começo e nem o fim desta caminhada.

À Universidade Federal de Lavras por oportunizar que profissionais possam dar continuidade ao seu processo de formação.

À professora Dra. Ângela de Fátima Barbosa Abreu, pela simplicidade, dedicação e tranquilidade na condução do processo de orientação.

Ao Dr. Magno Antônio Patto Ramalho, primeiro pela sugestão do curso, quando da sua visita à equipe do Feijão-caupi, segundo, pelos ensinamentos oferecidos e, sobretudo, pela sua disponibilidade e compromisso para com seus alunos.

Ao professor José Airton Rodrigues Nunes, conterrâneo regional, sempre muito ligado nos compromissos de seus alunos.

A todos os demais professores do Programa de Pós-Graduação, pela capacidade demonstrada no processo de ensino-aprendizagem.

Aos monitores, que disponibilizaram parte do seu tempo também de estudante, na orientação de nossas dúvidas.

A Lilian Carla Freitas, nossa Secretária, pela sua pronta disponibilidade na orientação dos assuntos acadêmicos.

Aos companheiros de caminhada, Luis Augusto Rodrigues, Aparecido de Moraes, Ivan Devos Ribeiro, Érico Aquino Santos Borges pela troca de experiência profissional, pela cumplicidade e pela ajuda mútua de cada um e em cada momento, sem esquecer aqui de companheiros de outras turmas como Astúrio Silva dos Santos e Maxwell Vieira da Silva Vieira.

A todas as pessoas que, de uma forma ou outra, contribuíram para a conclusão desta caminhada.

Tenho a gratidão como um dos mais nobres dos sentimentos, por isso, sou **GRATO A TODOS.**

RESUMO

A área semeada com feijão-caupi no Brasil corresponde atualmente a 1,39 milhões de ha, expressivamente concentrada na região Nordeste, embora seja o estado do Mato Grosso, o maior produtor nacional. A recomendação de uma cultivar, que possa ser adotada no maior número possível de ambientes e sistemas de produção, é um dos grandes desafios e objetivo de qualquer programa de melhoramento, pois, são enormes os custos envolvidos na condução dos experimentos. Quantificar a interação genótipos x ambientes de linhagens elites, é de fundamental importância, assim como estimar o risco na recomendação das novas cultivares. Portanto, neste trabalho, objetivou-se quantificar a contribuição da interação linhagens x ambientes e identificar linhagens com menor risco de recomendação, de preferência, para o maior número de ambientes possível. Foram utilizados dados de produtividade de grãos de feijão-caupi, dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), de porte ereto e semiereto, composto por 15 linhagens elites e cinco testemunhas, distribuídos em 59 ambientes das regiões Norte, Nordeste, Centro-Oeste e Sudeste. Os experimentos foram conduzidos de acordo com as normas do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Para estimar o risco da recomendação as médias das linhagens em cada ambiente foram padronizadas. A interação das linhagens x ambientes foi expressiva nas regiões que cultivam o feijão-caupi no Brasil. Mesmo assim, foi possível discriminar as linhagens que possuem menor risco na recomendação. Um dos destaques é a L31, que na maioria dos ambientes ficou acima da média. Além de boa arquitetura, tem aspecto de grãos que pode atender à demanda do mercado interno e para a exportação.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*. Interação genótipos x ambientes. Adaptabilidade e estabilidade

ABSTRACT

In Brazil, cowpea is currently produced in an area covering 1.39 million hectares, expressively concentrated in the Northeast region. However, the state of Mato Grosso is the largest national producer. The recommendation of a cultivar that can be adopted in different environments and production systems is one of the great challenges and objectives of any breeding program, since the costs involved in conducting experiments are high. Quantifying the interaction between genotypes and environments of elite strains and estimating the risk in the recommendation of the new cultivars is of fundamental importance. Therefore, the objective of this work was to quantify the contribution of the interaction between lineages and environments and to identify lineages with lower risk of recommendation for the largest possible number of environments. Cowpea yield data were obtained from the assessment of variety value for cultivation and use (VCU) composed of 15 elites and five controls, distributed in 59 environments from the North, Northeast, Center - East and Southeast of Brazil. The experiments were conducted according to the standards of the Brazilian Ministry of Agriculture, Livestock and Supply (MAPA). In order to estimate the risk of the recommendation, the averages of the lines in each environment were standardized. The interaction of lineages x environments was significant in the regions that grow cowpea in Brazil. Furthermore, it was possible to discriminate the lineages that have the lowest risk in the recommendation. Lineage L31 was above the average in many environments. Besides its good architecture, its grain aspects can meet the demand of the domestic market and for exportation.

Keywords: *Vigna unguiculata*. Interaction genotypes x environments. Adaptability and stability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da produção de feijão-caupi nos continentes.....	14
Figura 2 - Evolução mundial da produção e área colhida de feijão-caupi.	15
Figura 3 - Principais países produtores de feijão-caupi.	15
Figura 4 - Distribuição regional dos locais de condução dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de Feijão-caupi nos anos de 2013 a 2015.....	24
Figura 5 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura, o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos nos 59 ambientes no período de 2013 a 2015.	33
Figura 6 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos na região Nordeste do Brasil no período de 2013 a 2015.....	34
Figura 7 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos na região Norte do Brasil no período de 2013 a 2015.....	35
Figura 8 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos na região Centro-Oeste do Brasil no período de 2013 a 2015.	36
Figura 9 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos na região Sudeste do Brasil no período de 2013 a 2015.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Área, produtividade e produção de feijão-caupi no Brasil.....	17
Tabela 2 - Linhagens de feijão-caupi avaliadas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU).....	23
Tabela 3 - Coordenadas geográficas e altitude dos locais de condução dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de Feijão-caupi nos anos de 2013 a 2015. Dados do Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia - Banco de Dados Geodésicos - BDG.	25
Tabela 4 - Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (kg ha^{-1}) obtidas na avaliação de 20 linhagens de feijão-caupi em 59 ambientes de quatro regiões do Brasil.	29
Tabela 5 - Produtividade média de grãos (kg.ha^{-1}) e estimativa do índice de risco (IR) (%) de linhagens de feijão-caupi avaliadas em quatro regiões no Brasil.....	30
Tabela 6 - Produtividade média de grãos (kg ha^{-1}), somatório da produtividade de grãos padronizada ($\sum Z$), coeficiente de variação da produtividade de grãos padronizada (CVZ) e estimativa do índice de risco (IR) de linhagens de feijão-caupi avaliadas nos ensaios de VCU em 59 ambientes no Brasil.	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Origem, evolução e dispersão do feijão-caupi.....	13
2.2	Importância socioeconômica	14
2.3	Melhoramento genético do feijão-caupi.....	17
2.4	Interação genótipos por ambientes - Adaptação e estabilidade das cultivares.....	19
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1	Linhagens avaliadas.....	22
3.2	Ambientes em que foram conduzidos os experimentos	22
3.3	Condução dos experimentos	22
3.4	Análises dos dados	26
4	RESULTADOS	29
5	DISCUSSÃO	39
6	CONCLUSÃO.....	43
	REFERÊNCIAS.....	44
	APÊNDICE A - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS (kg ha⁻¹) OBTIDAS NA AVALIAÇÃO DE 20 LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI EM 59 AMBIENTES NO BRASIL.....	48

1 INTRODUÇÃO

A cultura do feijão-caupi tem sua importância pautada na sua relação histórica com a segurança alimentar de várias populações do mundo, especialmente da África. No Brasil, tem relação intrínseca com as populações das regiões Norte e Nordeste, principalmente como fonte de proteína. Dentre as várias características que tornaram o feijão-caupi uma cultura mundial, a sua moderada capacidade de tolerar a seca aparece como a primeira, pois, além da sua origem no continente africano, ele é cultivado principalmente em condições que apresentam, a exemplo do Nordeste brasileiro, frequentes déficits pluviométricos.

Há pouco mais de dez anos, o cultivo do feijão-caupi era concentrado nas regiões semiáridas do Brasil e também em algumas microrregiões do Norte. No entanto, o seu cultivo se expandiu para a região Centro-Oeste (Mato Grosso, Goiás e Distrito Federal), em maior proporção, Sudeste (Minas Gerais e São Paulo) e mesmo para outras do Norte e Nordeste, que passaram a ter cultivo tipicamente empresarial.

Com essas mudanças de agricultores e de demanda dos consumidores, vem se alterando a procura por tipos de plantas e de grãos. No caso das plantas, é necessário que elas sejam cada vez mais eretas, sobretudo para facilitar o manejo, com ênfase na colheita. Quanto à preferência dos consumidores com relação aos tipos de grãos, ocorrem variações regionais, sendo estas relacionadas à cor, tamanho e propriedades culinárias.

Como o cultivo é realizado em uma diversidade ambiental enorme, a interação das cultivares x ambientes tem sido também expressiva. Para mitigar o efeito da interação a principal alternativa é conduzir os experimentos, especialmente os ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), no maior número de ambientes possível, mesmo que a exigência do Registro Nacional de Cultivares (RNC) seja apenas de no mínimo três locais e por dois anos (BRASIL, 2017).

Na condução desses experimentos, é investida enorme quantidade de recursos, sejam eles financeiros, tempo e humano. Depreende-se que dos resultados deve ser obtido o maior número de informações possível. Tanto é assim, que uma das áreas da Biometria aplicada ao melhoramento de plantas que mais se desenvolve está relacionada a procedimentos de análises visando a atenuar o efeito da interação genótipos x ambientes e, sobretudo, identificar cultivares mais adaptadas e estáveis (DE LEON et al., 2016; KANG, 1998; LIN; BINNS, 1988; PIEPHO, 1997; RAMALHO et al., 2012). Inclusive vários artigos já foram publicados com a cultura do feijão-caupi, utilizando algumas metodologias (ALBUQUERQUE, 2013;

BARROS et al., 2013; CARVALHO et al., 2016; GUERRA et al., 2017; NUNES, 2012; TORRES et al., 2016; TORRES FILHO et al., 2017).

Embora como já mencionado, o número de artigos propondo novas metodologias de análise da interação dos genótipos x ambientes seja enorme, o que se observa no dia a dia dos melhoristas é que procedimentos que sejam mais simples e de fácil interpretação, são os efetivamente utilizados. Contudo, são ainda restritas as publicações de resultados de análise de experimentos conduzidos em vários ambientes para se estimar o risco de recomendação da cultivar. Recentemente, foi proposto um procedimento que é de fácil aplicação e interpretação por Pinho et al. (2017), contudo, ele ainda não foi suficientemente testado em outras condições.

Do exposto, foi realizado o presente trabalho, visando à análise e interpretação dos resultados do VCU's Feijão-caupi, do grupo ereto e semiereto, conduzidos no Brasil, no período de 2013 a 2015, com o objetivo de quantificar a contribuição da interação linhagens x ambientes e identificar linhagens com menor risco de recomendação.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Origem, evolução e dispersão do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma planta Eudicotyledonea, da ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolineae, gênero *Vigna*, subgênero *Vigna*, secção *catyang*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e subespécie *unguiculata*, subdividida em quatro cultigrupos: *Unguiculata*, *Sesquipedalis*, *Biflora* e *Textilis* (ALLANTOSPERMUM, 2016). Dentre estes, apenas os cultigrupos *Unguiculata* e *Sesquipedalis* (conhecido como feijão-de-metro) são cultivados no Brasil, com destaque para o primeiro, que compreende quase a totalidade das cultivares melhoradas (FREIRE FILHO et al., 2005a).

Várias proposições foram feitas com o objetivo de se estabelecer o centro de origem do feijão-caupi, porém, segundo Freire Filho (1988), há um consenso de que a sua origem ocorreu no continente africano, haja vista que as formas selvagens da espécie não têm sido encontradas fora deste continente. Ng e Maréchal (1985), afirmam ser o oeste da África, mais precisamente a Nigéria, o centro primário de diversidade dessa espécie.

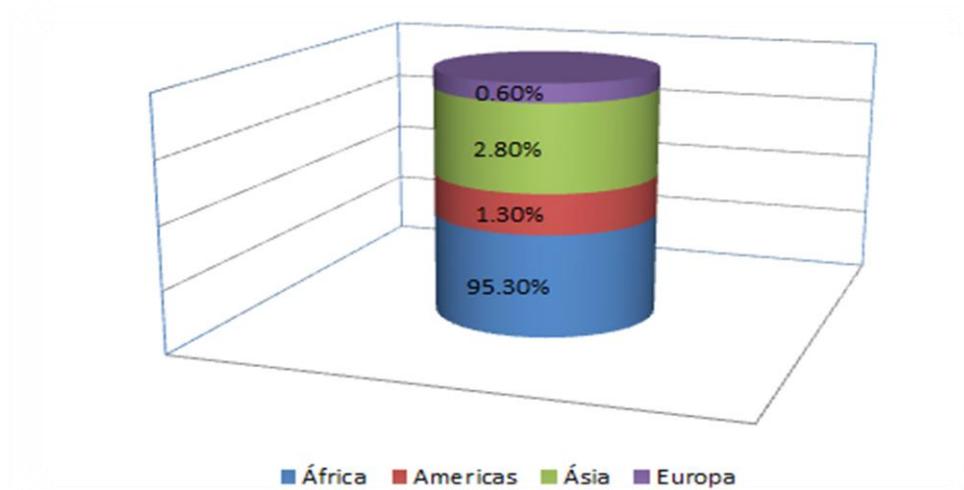
A evolução do feijão-caupi ocorreu em ambientes semiáridos, com as seguintes alterações durante a domesticação: mudança de perene para anual, de alógama para autógama e adaptação às condições semiáridas (RAWAL, 1975). Adicionalmente, segundo Lush e Evans (1981), outras alterações ocorreram, tais como: redução no número de vagens no pedúnculo, redução na taxa de crescimento relativo na fase inicial da planta, aumento de requerimento de fotossintetizados pelas vagens, aumento do tamanho das vagens e sementes, marcante redução na deiscência e perda da dormência.

A partir do Nordeste da África, por volta de 2300 a.C, o feijão-caupi alcançou o Sudoeste da Ásia, expandindo-se para o Sudeste da Europa por volta de 300 a.C. Por meio de uma segunda rota, migrou do Leste da África para a Índia, há mais de 2100 anos, onde foi submetido a uma grande diversidade de ambientes e de sistema de produção, o que resultou numa forte pressão de seleção divergente, atingindo posteriormente o Sudeste da Ásia. De acordo com as evidências históricas, o feijão-caupi foi introduzido simultaneamente por espanhóis e portugueses no Continente Americano ainda no século XVI, o mesmo acontecendo no Brasil, por meio dos colonizadores portugueses, a partir do estado da Bahia, de onde migrou para outras regiões do país (FREIRE FILHO, 1988).

2.2 Importância socioeconômica

O feijão-caupi é um importante componente dos sistemas de cultivo nas regiões mais secas e áreas marginais dos trópicos e subtropicais que cobrem partes da Ásia e Oceania, Oriente Médio, sul da Europa, África, sul dos EUA e América Central e do Sul (FATOKUN et al., 2000). O continente africano é responsável por cerca de 95% da produção mundial (FIGURA 1).

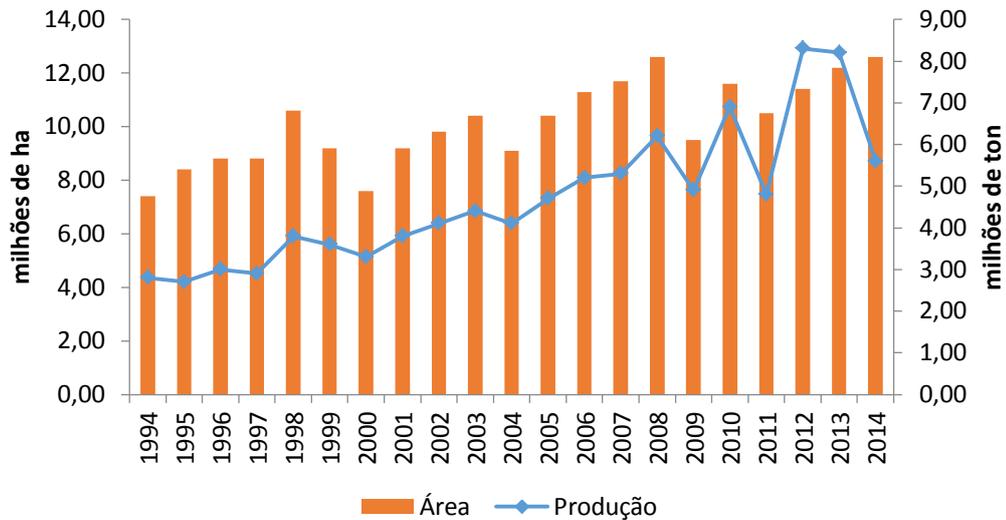
Figura 1 - Distribuição da produção de feijão-caupi nos continentes.



Fonte: Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO (2017).

Embora ocorra flutuação acentuada, provavelmente ligada às oscilações climáticas comuns às regiões produtoras, percebe-se que entre 1994 e 2014, houve um aumento considerável na produção mundial de feijão-caupi, atingindo 5,6 milhões de toneladas em 2014, sendo semeado em 12,6 milhões de hectares (FIGURA 2).

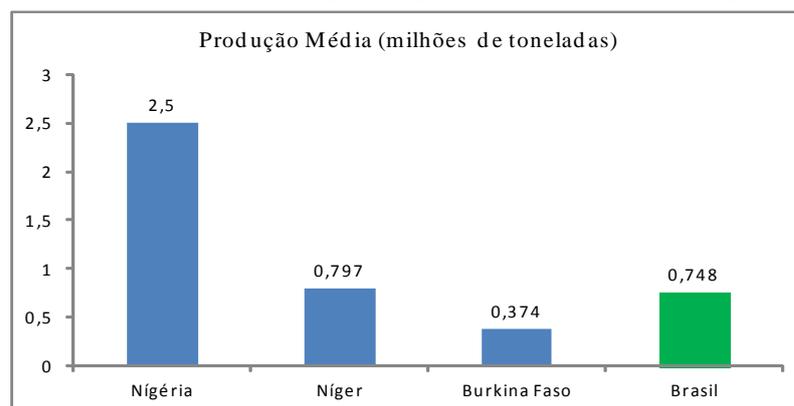
Figura 2 - Evolução mundial da produção e área colhida de feijão-caupi.



Fonte: FAO (2017).

No Brasil, considera-se a existência de dois grupos de feijão: Feijão-comum representado pela espécie *Phaseolus vulgaris*. L. (Grupo I) e Feijão-caupi, proveniente da espécie *Vigna unguiculata* (L) Walp. (Grupo II). Estima-se que, para o ano agrícola de 2016/2017, a produção brasileira de feijão-caupi será de 725,3 mil toneladas de grãos (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2017), figurando assim entre os três maiores produtores mundiais (FIGURA 3).

Figura 3 - Principais países produtores de feijão-caupi.



Fonte: CONAB (2017) e FAO (2017).

O cultivo de feijão-caupi no Brasil está concentrado nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. A área a ser cultivada em cada local e época é dependente do preço de mercado do produto e das condições climáticas. No Norte e Nordeste, em geral, o sistema de cultivo

está associado à agricultura familiar, geralmente com baixo uso de tecnologias e sujeito a irregularidades pluviométricas, o que confere baixo rendimento de grãos. Já na região Centro-Oeste, predomina agricultura empresarial. Nesse caso, o cultivo é realizado em áreas de cerrado, após a colheita da cultura de verão, ou seja, na safrinha. No entanto, muitos desses agricultores realizam seus plantios com o uso de grãos não selecionados e sem acréscimo de fertilizantes, aproveitando apenas o que sobrou da cultura anterior, ficando o manejo restrito ao controle de ervas e de pragas. Outros, porém, fazem uso de sementes selecionadas, fertilizantes e produtos fitossanitários, atendendo, dessa forma, às necessidades da cultura, com o objetivo de obter melhores rendimentos.

A área, produtividade e produção de feijão-caupi no Brasil, safra 2016/2017, é mostrada na Tabela 1. Observe que a região Nordeste é responsável por praticamente 80% da área cultivada, contudo, na produção total, contribui com menos de 60%, evidentemente, em decorrência de menores produtividades obtidas na região. Vale ressaltar, portanto, que as estimativas atuais não levam em consideração a produção de feijão-caupi dos estados do Tocantins, Distrito Federal e Goiás, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e São Paulo, embora, de fato, sabe-se da existência de produção nestes estados (SILVA; ROCHA; MENEZES JUNIOR, 2016).

A preferência por parte dos agricultores familiares e empresários do agronegócio brasileiro, quando da decisão de cultivar feijão-caupi, está associada a algumas características peculiares a essa cultura, tais como: constitui um alimento básico, principalmente para as regiões Norte e Nordeste, apresentando cerca de 25% de proteína na sua composição; é pouco exigente em fertilidade do solo, o que é incrementado pela sua capacidade de fixar nitrogênio atmosférico, por meio da simbiose com bactérias dos gêneros *Rhizobium* e *Bradyrhizobium* (RIBEIRO, 2002); é pouco exigente em água, sendo sua exigência de aproximadamente 300 mm de água, quando bem distribuídos durante todo ciclo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002); participa da balança comercial como produto de exportação, com 119.370 toneladas exportadas em 2015, sendo pouco mais de 50% destinado para a Índia, figurando também como destinos importantes a Indonésia, o Vietnã, o Paquistão e o Egito (ALICE WEB, 2016). Vale ressaltar que a maior parte da produção de feijão-caupi é direcionada para o mercado interno brasileiro, especialmente para região Nordeste (SILVA; ROCHA; MENEZES JUNIOR, 2016).

Tabela 1 - Área, produtividade e produção de feijão-caupi no Brasil.

Região/UF	Área (mil ha)	Produtividade (kg.ha⁻¹)	Produção (mil ton)
Norte	72,7	1077	78,3
RR	2,4	650	1,6
AC	2,0	630	1,3
PA	27,2	862	25,1
TO	41,1	1265	52,0
Nordeste	1104,6	386	426,5
MA	87,8	646	56,7
PI	231,8	395	91,6
CE	399,9	332	132,8
RN	35,8	408	14,6
PB	65,6	317	20,8
PE	91,9	133	12,2
AL	10,3	605	6,2
BA	181,5	504	91,6
Centro-Oeste	196,5	1084	213,0
MT	196,2	1083	212,5
DF	0,3	1500	0,5
Sudeste	14,4	523	7,5
MG	14,4	523	7,5
Brasil	1388,2	522	725,3

Fonte: CONAB (2017).

O feijão-caupi é uma cultura ainda pouco estudada, sendo atualmente cultivada em muitos estados brasileiros, participando de diferentes condições edafoclimáticas e sistemas de produção. Diante do exposto, pode-se perceber a importância do melhoramento genético dessa cultura, em razão da necessidade de obtenção de novas cultivares, melhores que as pré-existentes, em termos de produtividade, qualidade dos grãos, associado à resistência a pragas e patógenos.

2.3 Melhoramento genético do feijão-caupi

Desde 1986, a Embrapa Meio-Norte lidera o Programa de feijão-caupi no Brasil. Inicialmente, o foco do programa foi o aumento da produtividade de grãos, sendo, posteriormente agregada a inserção de resistência às doenças, principalmente viroses (FREIRE FILHO; RIBEIRO; SANTOS, 2000). Atualmente, o programa apresenta algumas linhas de pesquisas, desenvolvidas em rede nacional, por meio de parcerias com outras unidades da Embrapa, instituições de pesquisa, que fazem parte Sistema Nacional de Pesquisa Agropecuária (SNPA), e universidades, no sentido de gerar soluções inerentes à crescente demanda da cadeia produtiva do feijão-caupi, tanto no âmbito da agricultura familiar, assim como da agricultura empresarial. Os caracteres observados quase sempre são: melhoria do

porte visando à colheita mecanizada; desenvolvimento de cultivares adaptadas às diferentes regiões produtoras que apresentem estabilidade de produção; aumento da resistência às pragas e doenças de campo e de armazenamento; aumento da tolerância a altas temperaturas e estresse hídrico; aumento dos teores de proteína, ferro e zinco; melhoria da qualidade visual e culinária dos grãos (FREIRE FILHO, 2011). Do exposto, percebe-se o grande desafio para melhoramento genético do feijão-caupi e a necessidade constante de lançamento de novas cultivares que venham atender às demandas supracitadas.

O Programa de Melhoramento Genético do feijão-caupi é desenvolvido em várias etapas que se complementam: seleção de genitores, formação da população base, avanço de geração com seleção simultânea para resistência a doenças e pragas, formação de linhagens, teste de produtividade e liberação de novas cultivares (FREIRE FILHO et al., 2005a).

Os principais métodos de melhoramento utilizados em feijão-caupi são: introdução de germoplasma; seleção massal em cultivares locais; seleção de planta individual com teste de progênie; método genealógico; método da descendência de uma única semente; método da descendência de uma única vagem; método dos retrocruzamentos (FREIRE FILHO, 2011).

O desenvolvimento de linhagens com desempenhos superiores e com ampla adaptação é um dos principais desafios, que para serem lançadas como cultivares, necessitam atender a várias exigências estabelecidas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Os ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) estão entre as exigências básicas para obtenção do registro da cultivar junto ao Registro Nacional de Cultivares (RNC), que consiste no valor intrínseco de combinação das características agrônômicas da cultivar com as suas propriedades de uso em atividades agrícolas, industriais, comerciais e/ou de consumo *in natura*. Para tal, deverá atender aos requisitos mínimos, exigidos pelo RNC:

I - Avaliação

- A) Número de locais: três locais em regiões edafoclimáticas de importância para a espécie;
- B) Período mínimo de realização: dois anos;
- C) Condução do experimento: correção dos níveis de fertilidade do solo; uso de sementes inoculadas e peletizadas; adubação de manutenção recomendada; densidade de semeadura de 6,0 gramas de sementes puras viáveis por metro quadrado; cortes para avaliação de matéria verde e matéria seca entre 40 a 50 cm de altura e resíduo de, aproximadamente, 15 cm.

II - Delineamento experimental

- A) Delineamento estatístico: blocos completamente casualizados, com o mínimo de três repetições;

- B) Tamanho da parcela: 4 linhas de 5 metros de comprimento, espaçadas de 0,5 metros, sendo consideradas úteis as 2 linhas centrais, eliminando-se 0,5 metros nas extremidades;
- C) Testemunha: deverá ser usada, no mínimo, uma cultivar da mesma espécie ou, se não houver, de outra espécie de fenologia semelhante e mais utilizada na região dos experimentos;
- D) Somente deverão ser validados os experimentos com coeficientes de variação de no máximo 20 (BRASIL, 2017).

Como já mencionado, o cultivo do feijão-caupi acontece atualmente em vários estados brasileiros, que apresentam distintas condições edafoclimáticas. Assim, os experimentos de VCU devem ser conduzidos no maior número de ambientes possíveis, visando à identificação de novas cultivares que apresentem maior adaptação e estabilidade de produção.

2.4 Interação genótipos por ambientes - Adaptação e estabilidade das cultivares

A manifestação fenotípica de um caráter em alguns ambientes é resultante da ação dos genótipos, dos ambientes e das interações entre eles. A interação dos genótipos x ambientes ocorre quando o comportamento das cultivares não é coincidente nos diferentes ambientes (RAMALHO et al., 2012).

A avaliação de genótipos em diferentes anos e locais, comum aos ensaios de VCU de feijão-caupi, com relação à maioria das características agrônômicas, frequentemente evidencia interações genótipos x locais, genótipos x anos e genótipos x locais x anos (BORÉM; MIRANDA, 2005).

As variações do ambiente são classificadas por Allard e Bradshaw (1964), em variações previsíveis e variações imprevisíveis. As primeiras são representadas pelas variações que ocorrem em função da época de semeadura, características edafoclimáticas, tipo de manejo, etc. Já as imprevisíveis são determinadas pelo regime de chuvas, temperatura e umidade relativa do ar, etc. Os ambientes podem ser classificados, conforme Wu e Malley (1998), em duas categorias: micro e macroambientes. Os microambientes estão relacionados a fatores externos ou internos de um organismo, geralmente, não controláveis, já os macroambientes podem ser controláveis como, por exemplo, os níveis de fertilidade do solo, e não controláveis, tais como, locais, anos agrícolas e estações ou épocas do ano.

O maior desafio é identificar cultivares que sejam adaptadas e com alta estabilidade. A primeira dificuldade para atingir esse objetivo é conceituar o que venha a ser “adaptada” e também “estável”.

O conceito de adaptação tem sido colocado em algumas oportunidades (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; RAMALHO et al., 2012; VENCOVSKY; BARRIGA, 1992).

Neste trabalho, o conceito de adaptação será focado no preconizado por Darwin, isto é, adaptado é o indivíduo que deixa mais descendentes, no contexto agrícola, aquele com maior produtividade de grãos. Já a questão da estabilidade é mais complicada, por que é sempre uma estimativa relativa:

Segundo Lin, Binns e Lefkovitch (1986) existem basicamente três conceitos de estabilidade:

Tipo 1 - A cultivar será considerada estável se sua variância entre ambientes é pequena;

Tipo 2 - A cultivar será considerada estável se sua resposta ao ambiente é paralela ao desempenho médio de todas as cultivares avaliadas nos experimentos;

Tipo 3 - A cultivar é estável se o quadrado médio dos desvios de regressão que avalia a estabilidade é pequeno.

Posteriormente, Lin e Binns (1988) propuseram um quarto tipo, isto é, segundo esse conceito a cultivar é considerada estável se o quadrado médio da interação genótipos x anos dentro de locais for pequeno.

O Tipo 1 foi denominado por Becker e Leon (1988) de no sentido biológico, e equivale à cultivar que mostra um desempenho constante com a variação do ambiente (RAMALHO et al., 2012).

A estabilidade do tipo 2 é também denominada de “estabilidade no sentido agrônômico” (BECKER; LEON, 1988). Ocorre nas situações em que a cultivar mostra interações mínimas com o ambiente. Em outras palavras, ela acompanha o desempenho médio obtido em outros ambientes (RAMALHO et al., 2012).

Metodologias para se estimar principalmente a estabilidade são frequentemente propostas na literatura (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; DE LEON et al., 2016; KANG, 1998; LIN; BINSS, 1988; RAMALHO et al., 2012; RESENDE et al., 2012). Contudo, metodologia para estudar o risco na recomendação de uma dada cultivar quando se avaliam genótipos em inúmeros ambientes, não é tão frequente. Uma delas é a de Annichiarico (1992), que estima o risco de adoção de uma linhagem, ou seja, se for escolhida uma dada linhagem, qual o risco de que esta possa ter desempenho abaixo da média geral das demais (RAMALHO et al., 2012).

Outra metodologia foi proposta por Pinho et al. (2017). Essa proposta é fundamentada no emprego da metodologia de Nunes, Ramalho e Abreu (2005). Para isso, é realizada a padronização das variáveis sob análise nos diferentes ambientes. Com os valores padronizados é estimado o Índice de Risco de Recomendação (IR_i), para cada linhagem i pelo estimador:

$$\sum IRi = \frac{|\sum Z(Negativo)|}{\text{Número total de ambientes x constante adicionada}} \times 100$$

Esse IR, em realidade, é uma percentagem relativa do risco da linhagem está situada abaixo da média em cada ambiente.

Utilizando experimentos com a cultura do feijão-caupi, vários trabalhos foram realizados visando a estudar a interação dos genótipos x ambientes (ABREU et al., 2006; ALBUQUERQUE, 2013; BARROS et al., 2013; CARVALHO et al., 2016; FREIRE FILHO et al., 2005b; NUNES, 2012; ROCHA et al., 2013; SOUSA, 2013). Contudo, em nenhum desses trabalhos foram obtidas estimativas do risco de adoção da linhagem.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Linhagens avaliadas

Foram avaliadas 20 linhagens de feijão-caupi, identificadas por L21 a L40, de porte ereto/semiereto quanto à produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU), sendo cinco cultivares como testemunhas e 15 linhagens do Programa de Melhoramento de Feijão-caupi da Embrapa Meio-Norte (CPAMN) (TABELA 2). As linhagens L1 a L20 compuseram outro grupo de ensaios de VCU de feijão-caupi denominado de porte semiprostrado.

3.2 Ambientes em que foram conduzidos os experimentos

Os experimentos foram conduzidos em 59 ambientes durante os anos de 2013 a 2015 (FIGURA 4, TABELA 3). Os experimentos abrangem quatro regiões, em 19 estados e 45 municípios, variando a latitude desde $02^{\circ} 32' 21''\text{N}$ a $22^{\circ} 41' 28''\text{S}$, longitudes muito variáveis e envolvendo vários biomas.

3.3 Condução dos experimentos

Os experimentos foram conduzidos de acordo com as normas do MAPA para os VCU's de feijão-caupi. Isto é, o delineamento foi o de blocos completos casualizados (DBC), quatro repetições. As parcelas eram constituídas de quatro linhas de 5,0 metros, espaçadas de 0,50m. Como área útil foram colhidas as duas linhas centrais da parcela. A semeadura foi realizada em covas espaçadas de 0,25m, deixando-se duas plantas por cova após o desbaste, atingindo uma densidade de 10 plantas/metro, ou seja, $200.000\text{ plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$. O manejo da cultura foi sempre sem irrigação e os demais tratos culturais variáveis de acordo com o local de semeadura. Vários dados foram anotados, porém, nessa publicação, só foram utilizados os da produtividade de grãos ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$).

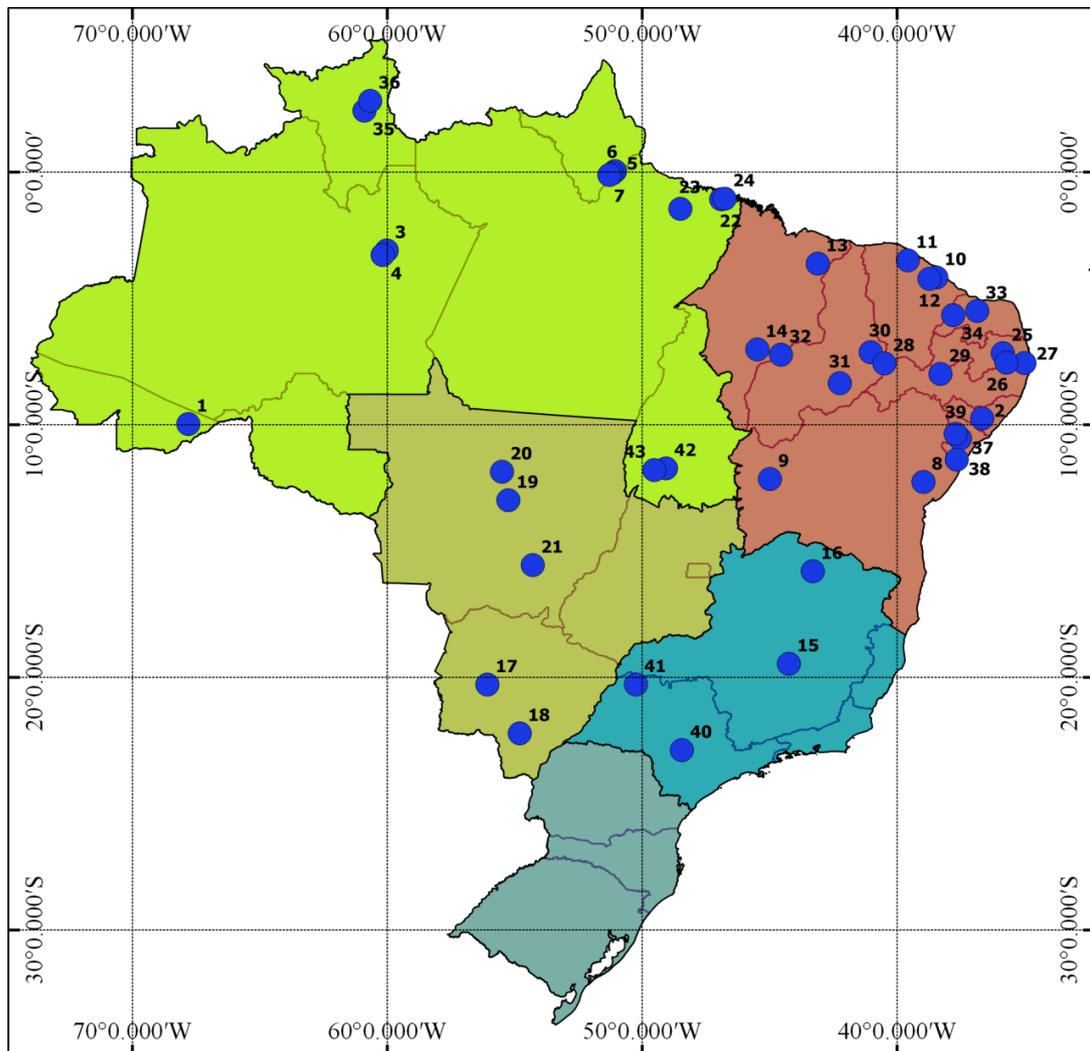
Tabela 2 - Linhagens de feijão-caupi avaliadas nos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU).

Nº	Código da linhagem	Subclasse de grão
L21	MNC04-762F-3	Branco
L22	MNC04-762F-9	Branco
L23	MNC04-769F-30	Mulato
L24	MNC04-769F-48	Mulato
L25	MNC04-792F-146	Mulato
L26	MNC04-769F-62	Mulato
L27	MNC04-782F-104	Sempre-verde
L28	MNC04-792F-143	Mulato
L29	MNC04-792F-144	Sempre-verde
L30	MNC04-792F-148	Mulato
L31	MNC04-795F-153	Mulato
L32	MNC04-795F-154	Sempre-verde
L33	MNC04-795F-155	Mulato
L34	MNC04-795F-159	Mulato
L35	MNC04-795F-168	Branção
L36	BRS Guariba	Branco
L37	BRS Tumucumaque	Branco
L38	BRS Novaera	Branção
L39	BRS Itaim	Fradinho
L40	BRS Cauamé	Branco

Fonte: Do autor (2017).

¹cultivares comerciais utilizadas como testemunhas.

Figura 4 - Distribuição regional dos locais de condução dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de Feijão-caupi nos anos de 2013 a 2015.



1 Rio Branco	AC	23 Belém	PA
2 Arapiraca	AL	24 Bragança	PA
3 Manaus	AM	25 Lagoa Seca	PB
4 Iranduba	AM	26 Aroeiras	PB
5 Macapá	AP	27 Golana	PE
6 Santana	AP	28 Araripeina	PE
7 Mazagão	AP	29 Serra Talhada	PE
8 Feira de Santana	BA	30 Campo Grande do Piauí	PI
9 Barreiras	BA	31 São João do Piauí	PI
10 Pacajus	CE	32 Uruçuí	PI
11 Itapipoca	CE	33 Ipanguaçu	RN
12 Redenção	CE	34 Apodi	RN
13 Mata Roma	MA	35 Mucajá	RR
14 São Raimundo das Mangabeiras	MA	36 Boa Vista	RR
15 Sete Lagoas	MG	37 Frei Paulo	SE
16 Janaúba	MG	38 Umbaúba	SE
17 Aquidauana	MS	39 Carira	SE
18 Dourados	MS	40 Botucatu	SP
19 Nova Ubiratã	MT	41 Fernandópolis	SP
20 Sinop	MT	42 Gurupi	TO
21 Primavera do Leste	MT	43 Formoso do Araguaia	TO
22 Tracuateua	PA		

Fonte: Do autor (2017).

Tabela 3 - Coordenadas geográficas e altitude dos locais de condução dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de Feijão-caupi nos anos de 2013 a 2015. Dados do Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia - Banco de Dados Geodésicos - BDG.

(continua)

Ambiente	Local	UF	Ano	Coordenadas geográficas		Altitude (m)
				Latitude	Longitude	
1	Aquidauana	MS	2014	19 ° 19 ' 58 " S	55 ° 11 ' 27" W	152
2	Arapiraca	AL	2013	09 ° 40 ' 22 " S	36 ° 40 ' 15 " W	40
3	Araripina	PE	2014	07 ° 29 ' 35 " S	40 ° 26 ' 46" W	805
4	Araripina	PE	2015	07 ° 29 ' 35 " S	40 ° 26 ' 46" W	805
5	Barreira	CE	2014	04° 17' 13 " S	38 ° 38 ' 35" W	100
6	Belém	PA	2015	01 ° 27 ' 15 " S	48 ° 29 ' 32" W	73
7	Boa Vista	RR	2014	02 ° 32 ' 21" N	60 ° 52 ' 19" W	81
8	Botucatu	SP	2014	22 ° 41 ' 28 " S	48 ° 16 ' 04" W	470
9	Bragança 1	PA	2014	01 ° 02 ' 41 " S	46 ° 46 ' 59" W	36
10	Bragança	PA	2013	01 ° 02 ' 41 " S	46 ° 46 ' 59" W	36
11	Bragança	PA	2015	01 ° 02 ' 41 " S	46 ° 46 ' 59" W	36
12	Bragança 2	PA	2014	01 ° 02 ' 41 " S	46 ° 46 ' 59" W	36
13	Carira	SE	2013	10 ° 27 ' 45 " S	37 ° 40 ' 19 " W	247
14	Carira	SE	2014	10 ° 27 ' 45 " S	37 ° 40 ' 19 " W	247
15	Dourados	MS	2014	22 ° 17 ' 36 " S	54 ° 36 ' 19 " W	385
16	Feira de Santana	BA	2014	12 ° 20 ' 43 " S	39 ° 05 ' 16 " W	138
17	Feira de Santana	BA	2015	12 ° 20 ' 43 " S	39 ° 05 ' 16 " W	138
18	Fernandópolis	SP	2015	20 ° 16 ' 14 " S	50 ° 20 ' 49 " W	508
19	Formoso do Araguaia	TO	2014	11 ° 44 ' 25 " S	49 ° 53 ' 36 " W	234
20	Frei Paulo	SE	2013	10 ° 31 ' 47 " S	37 ° 30 ' 47" W	450
21	Frei Paulo	SE	2014	10 ° 31 ' 47 " S	37 ° 30 ' 47" W	450
22	Goiana	PE	2014	07 ° 40 ' 55 " S	34 ° 50 ' 07 " W	53
23	Goiana	PE	2015	07 ° 40 ' 55 " S	34 ° 50 ' 07 " W	53
24	Gurupi	TO	2013	11 ° 39 ' 06 " S	48 ° 49 ' 35" W	505
25	Gurupi	TO	2014	11 ° 39 ' 06 " S	48 ° 49 ' 35" W	505
26	Gurupi	TO	2015	11 ° 39 ' 06 " S	48 ° 49 ' 35" W	505
27	Ipanguaçu	RN	2014	05 ° 28 ' 38 " S	36 ° 47 ' 58" W	55
28	Ipanguaçu	RN	2015	05 ° 28 ' 38 " S	36 ° 47 ' 58" W	55
29	Iranduba	AM	2013	03 ° 10 ' 00 " S	60 ° 05 ' 10 " W	25
30	Iranduba	AM	2015	03 ° 10 ' 00 " S	60 ° 05 ' 10 " W	25
31	Itapipoca	CE	2013	03 ° 10 ' 26 " S	39 ° 28 ' 13" W	51
32	Itapipoca	CE	2014	03 ° 10 ' 26 " S	39 ° 28 ' 13" W	51
33	Jaíba	MG	2013	15 ° 12 ' 01" S	44 ° 03 ' 12 " W	460
34	Janaúba	MG	2014	15 ° 17 ' 03" S	44 ° 13 ' 19" W	578
35	Lagoa Seca	PB	2015	07 ° 09 ' 00 " S	35 ° 52 ' 00 " W	653
36	Manaus	AM	2014	02 ° 56 ' 20 " S	60 ° 02 ' 03 " W	45
37	Mata Roma	MA	2013	03 ° 40 ' 08 " S	43 ° 07 ' 17 " W	75
38	Mazagão	AP	2013	00 ° 05 ' 25 " S	51 ° 16 ' 27 " W	3
39	Mazagão	AP	2015	00 ° 05 ' 25 " S	51 ° 16 ' 27 " W	3
40	Mucajaí	RR	2014	02 ° 27 ' 14 " N	60 ° 55 ' 04" W	95
41	Mucajaí	RR	2015	02 ° 27 ' 14 " N	60 ° 55 ' 04" W	95
42	Nova Ubiratã	MT	2013	13 ° 03 ' 54 " S	55 ° 10 ' 25 " W	430

Tabela 3 - Coordenadas geográficas e altitude dos locais de condução dos ensaios de Valor de Cultivo e Uso (VCU) de Feijão-caupi nos anos de 2013 a 2015. Dados do Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia - Banco de Dados Geodésicos - BDG.

(conclusão)

Ambiente	Local	UF	Ano	Coordenadas geográficas		Altitude (m)
				Latitude	Longitude	
43	Nova Ubiratã	MT	2014	13 ° 03 ' 54 " S	55 ° 10 ' 25 " W	430
44	Pacajús	CE	2015	04 ° 11 ' 42 " S	38 ° 28 ' 06 " W	53
45	Primavera do Leste	MT	2014	15 ° 34 ' 49 " S	54 ° 27 ' 36 " W	652
46	Primavera do Leste	MT	2015	15 ° 34 ' 49 " S	54 ° 27 ' 36 " W	652
47	Redenção	CE	2013	04 ° 16 ' 44 " S	38 ° 45 ' 37 " W	720
48	Rio Branco 1	AC	2014	10 ° 01 ' 59 " S	67 ° 37 ' 53 " W	202
49	Rio Branco 2	AC	2014	10 ° 01 ' 59 " S	67 ° 37 ' 53 " W	202
50	Rio Branco	AC	2013	10 ° 01 ' 59 " S	67 ° 37 ' 53 " W	202
51	Serra Talhada	PE	2014	08 ° 00 ' 48 " S	38 ° 34 ' 37 " W	442
52	Serra Talhada	PE	2015	08 ° 00 ' 48 " S	38 ° 34 ' 37 " W	442
53	Sinop	MT	2015	11 ° 30 ' 45 " S	55 ° 22 ' 12 " W	337
54	S.Raimundo Mangabeiras	MA	2013	06 ° 59 ' 26 " S	45 ° 25 ' 04 " W	310
55	Tracuateua	PA	2013	01 ° 06 ' 31 " S	46 ° 55 ' 26 " W	44
56	Umbaúba	SE	2013	11 ° 22 ' 08 " S	37 ° 38 ' 54 " W	138
57	Umbaúba	SE	2014	11 ° 22 ' 08 " S	37 ° 38 ' 54 " W	138
58	Umbaúba	SE	2015	11 ° 22 ' 08 " S	37 ° 38 ' 54 " W	138
59	Uruçuí	PI	2013	07 ° 20 ' 16 " S	44 ° 25 ' 40 " W	373

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

3.4 Análises dos dados

Os dados da produtividade de grãos (kg ha^{-1}), inicialmente foram submetidos à análise de variância individual. Posteriormente, foi realizada a análise de variância conjunta considerando todos os ambientes. Como ocorreu heterogeneidade dos erros, adotou-se o procedimento de Cochran (1954) para ajustar os graus de liberdade. O modelo adotado foi semelhante ao apresentado por Ramalho et al. (2012), considerando todos os efeitos como fixo, exceto o erro experimental, ou seja:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + r_k + a_j + (ta)_{ij} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} : produtividade da linhagem i , na repetição k , no ambiente j ;

μ : média geral (constante);

t_i : efeito da linhagem i ($i= 1,2,\dots,20$);

- r_k : efeito da repetição k ($k=1, 2, 3, 4$);
 a_j : efeito do ambiente j ($j=1,2,\dots,59$);
 $(ta)_{ij}$: efeito da interação da linhagem i x ambiente j ;
 e_{ijk} : erro experimental, sendo $(e_{ijk} \cap N(0, \sigma^2))$.

O efeito de ambientes e a interação linhagens x ambientes foi decomposto em regiões e ambientes dentro de cada região (NE, N, CO e SE). As médias das linhagens em todos ambientes e em cada região foram agrupadas pelo teste de Scott e Knott (1974) ao nível de 5% de probabilidade.

Para identificar as linhagens com maior estabilidade foi utilizado o metodográfico proposto por Nunes, Ramalho e Abreu (2005). O método utiliza o somatório das variáveis padronizadas ($\sum Z$) como medida da adaptabilidade de cada linhagem em cada ambiente. Para isso, as médias das linhagens em cada ambiente foram padronizadas obtendo-se o valor de Z_{ij} pelo seguinte estimador:

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

Em que,

Z_{ij} : valor da variável padronizada correspondente à linhagem i no ambiente j ;

Y_{ij} : produtividade da linhagem i no ambiente j ;

\bar{Y}_j : é a média do ambiente j ;

s_j : desvio padrão entre as linhagens para produtividade no ambiente j .

Como a variável padronizada assume valores positivos e negativos, foi somada a constante três de modo a tornar os valores sempre positivos. A média populacional em vez de zero, passou a ser três. Posteriormente, foi obtido o somatório das variáveis padronizadas ($\sum Z$) das linhagens.

Com os valores padronizados também foi estimado o Índice de Risco na Recomendação da linhagem i (IR_i), considerando todos os ambientes e também os ambientes de cada região, utilizando procedimento semelhante ao apresentado por Pinho et al. (2017). O IR_i fornece a porcentagem da área, no gráfico, em que a produtividade da linhagem i foi abaixo da média, pelo seguinte estimador:

$$IRi = \frac{|\sum(Z < 3)|}{\text{Número total de ambientes x constante adicionada}} \times 100$$

Em que: $|\sum(Z < 3)|$ é o somatório das estimativas de Z de cada linhagem nos ambientes em que a produtividade de grãos foi abaixo da média.

4 RESULTADOS

Constatou-se que em todos os 59 ambientes, foi detectada diferença significativa entre as linhagens. Esse fato contribuiu para que a acurácia fosse superior a 70%, exceto nos experimentos 24-Gurupi (TO) 2013, 38-Mazagão (AP) 2013, 43-Nova Ubiratã (MT) 2014 e 58-Umbaúba (SE) 2015, condição essa favorável para o que se propõe com essa pesquisa (APÊNDICE A).

A menor produtividade média foi 277 kg.ha⁻¹ e ocorreu no ambiente 52, localizado no município de Serra Talhada, PE, no ano agrícola de 2015. Já a maior produtividade foi de 2485kg.ha⁻¹, no município de São Raimundo das Mangabeiras, estado do MA, no ano agrícola de 2013 (APÊNDICE A).

Foram efetuadas análises de variância conjunta (ANAVA), envolvendo todos os ambientes (TABELA 4). Observou-se que todas as fontes de variação foram significativas. Contudo, o efeito de ambientes explicou 79,5% da variação total, excluindo o erro experimental. Deve ser salientado que a interação linhagens x ambientes explicou mais de onze vezes a variação devida a linhagens. Esse resultado já possibilita inferir que o comportamento das linhagens não foi coincidente nos diferentes ambientes.

Tabela 4 - Resumo das análises de variância da produtividade de grãos (kg ha⁻¹) obtidas na avaliação de 20 linhagens de feijão-caupi em 59 ambientes de quatro regiões do Brasil.

FV	GL	QM	P	R ²
Ambientes (A)	58	4933404,28	0,000	79,5
Entre regiões (R)	3	2912295,66	0,000	
Entre ambientes/NE	26	5712763,35	0,000	
Entre ambientes/N	20	4023278,20	0,000	
Entre ambientes/CO	6	6273259,59	0,000	
Entre ambientes/SE	3	3587864,63	0,000	
Linhagens (L)	19	316293,47	0,000	1,7
Linhagens/NE	19	223498,98	0,000	
Linhagens /N	19	145195,69	0,000	
Linhagens /CO	19	62977,10	0,005	
Linhagens /SE	19	110695,44	0,000	
L x A	19 ¹	61609,91	0,007	18,9
L x A/NE	19 ¹	52209,62	0,030	
L x A/N	19 ¹	67982,16	0,000	
L x A/CO	114 ¹	57347,03	0,000	
L x A/SE	57 ¹	95375,13	0,000	
Erro médio	1893 ¹	30811,36		

Fonte: Do autor (2017).

¹ grau de liberdade corrigidos pelo método de Cochran (1954); R²: proporção da soma de quadrado de cada fonte de variação em relação à soma de quadrado total, exceto o do erro.

Decompondo a fonte de variação ambientes, em função da região política/administrativa, constatou-se diferença nos ambientes dentro de todas as regiões e também entre regiões. Embora o número de ambientes dentro de cada região tenha sido muito variável, as regiões Sudeste e Nordeste apresentaram as maiores médias. Ao contrário do esperado, a menor média foi observada na região Centro Oeste (TABELA 5).

As médias das linhagens obtidas nos 59 ambientes evidenciam a existência de variação entre os genótipos. Veja que o teste de Scott e Knott (1974) agrupou as linhagens em quatro grupos. As linhagens do grupo com melhor desempenho foram L26, L31 e L34 (TABELA 6).

Deve ser enfatizado, que a média das cinco testemunhas (L36 a L40) foi de 1380 kg.ha⁻¹. Já a média das linhagens situadas no primeiro grupo foi de 1486 kg.ha⁻¹, ou seja, a média dessas linhagens foi 7% superior a das testemunhas. Mostrando que é possível identificar linhagens com desempenho superior às linhagens já recomendadas, embora elas pertençam a diferentes grupos com relação ao tipo de grão (TABELA 6).

Tabela 5 - Produtividade média de grãos (kg.ha⁻¹) e estimativa do índice de risco (IR) (%) de linhagens de feijão-caupi avaliadas em quatro regiões no Brasil.

Linhagens	Região Nordeste		Região Norte		Região Centro-Oeste		Região Sudeste	
	Prod.	IR(%)	Prod.	IR(%)	Prod.	IR(%)	Prod.	IR(%)
L21	1340c ¹	65,6	1338 b	33,5	1021 b	54,3	1246 b	48,9
L22	1356 c	46,6	1290 b	33,6	1310 a	36,2	1564 a	0,0
L23	1215 d	51,1	1207 b	48,7	1013 b	45,3	1400 b	41,1
L24	1434 c	40,3	1283 b	46,5	1156 b	46,2	1324 b	57,0
L25	1404 c	39,7	1450 a	26,7	1292 a	28,4	1809 a	0,0
L26	1513 b	34,2	1422 a	30,1	1271 a	39,2	1651 a	24,2
L27	1368 c	48,2	1279 b	31,1	1134 b	38,0	1617 a	15,8
L28	1467 b	18,4	1300 b	32,0	1094 b	27,7	1639 a	22,5
L29	1401 c	31,7	1263 b	48,1	1112 b	40,9	1386 b	36,6
L30	1429 c	42,8	1286 b	53,4	1124 b	53,4	1254 b	25,7
L31	1624 a	20,6	1445 a	20,5	1338 a	5,3	1589 a	25,0
L32	1471 b	25,7	1430 a	14,9	1169 b	46,5	1356 b	64,4
L33	1484 b	35,2	1310 b	51,3	1169 b	35,8	1413 b	63,8
L34	1611 a	18,1	1399 a	27,9	1207 a	35,2	1370 b	63,4
L35	1401 c	35,9	1398 a	34,6	1164 b	5,5	1370 b	35,4
L36	1493 b	16,6	1412 a	31,9	1240 a	25,9	1614 a	14,8
L37	1434 c	48,6	1369 a	42,0	1038 b	50,0	1328 b	58,6
L38	1372 c	37,9	1469 a	28,9	1244 a	30,3	1365 b	66,9
L39	1464 b	22,8	1205 b	50,3	1072 b	41,6	1162 b	55,2
L40	1443 c	36,2	1434 a	40,3	1164 b	48,1	1392 b	38,4
Média	1436		1349		1167		1442	

Fonte: Do autor (2017).

¹ Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott e Knott (1974).

Tabela 6 - Produtividade média de grãos (kg ha⁻¹), somatório da produtividade de grãos padronizada ($\sum Z$), coeficiente de variação da produtividade de grãos padronizada (CVZ) e estimativa do índice de risco (IR) de linhagens de feijão-caupi avaliadas nos ensaios de VCU em 59 ambientes no Brasil.

Linhagem	Produtividade	$\sum Z$	CVZ	IR (%)
L21	1295 c ¹	-16,7	28,7	52,6
L22	1341 c	-4,6	36,2	36,3
L23	1201 d	-43,6	42,4	48,9
L24	1340 c	-9,8	31,0	44,3
L25	1435 b	9,6	32,9	31,0
L26	1462 a	20,4	26,8	32,7
L27	1326 c	-11,2	36,9	38,7
L28	1375 c	1,9	27,0	25,4
L29	1317 c	-12,8	32,9	39,0
L30	1330 c	-9,3	31,7	46,7
L31	1524 a	32,6	25,9	21,4
L32	1413 b	10,3	24,2	29,7
L33	1380 c	1,6	29,8	41,7
L34	1471 a	27,9	24,2	28,7
L35	1370 c	4,3	35,7	23,0
L36	1442 b	16,0	27,5	33,3
L37	1357 c	-5,3	33,4	45,4
L38	1391 b	1,3	33,6	37,4
L39	1305 c	-13,6	41,2	37,7
L40	1403 b	3,8	28,8	39,3
Média	1374			

Fonte: Do autor (2017).

¹ Médias seguidas pela mesma letra pertencem ao mesmo grupo pelo teste de Scott e Knott (1974).

Como a interação linhagens x ambientes foi significativa, optou-se por analisar o desempenho das linhagens dentro de cada região. A ANAVA mostrou que foi detectada diferença significativa entre elas em todas as regiões (TABELA 4).

Observa-se, na Tabela 5, que a classificação das linhagens de acordo com o teste de Scott e Knott (1974) foi diferente entre as regiões. No Nordeste, foi possível classificar as linhagens em quatro grupos. Nas demais em apenas dois. Vale salientar que a L31, destaque na análise envolvendo todos os ambientes, esteve no grupo de melhor performance nas análises realizadas para todas as regiões. As outras duas, L26 e L34, estiveram entre as melhores em três das quatro regiões. Esse resultado evidencia, pelo menos em princípio, que é possível identificar linhagens com performance superior, comum a praticamente todas as regiões. O destaque negativo foi a L23 que, na média dos 59 ambientes, foi a de pior performance e na análise por região, sempre esteve no grupo das classificadas entre as menos produtivas.

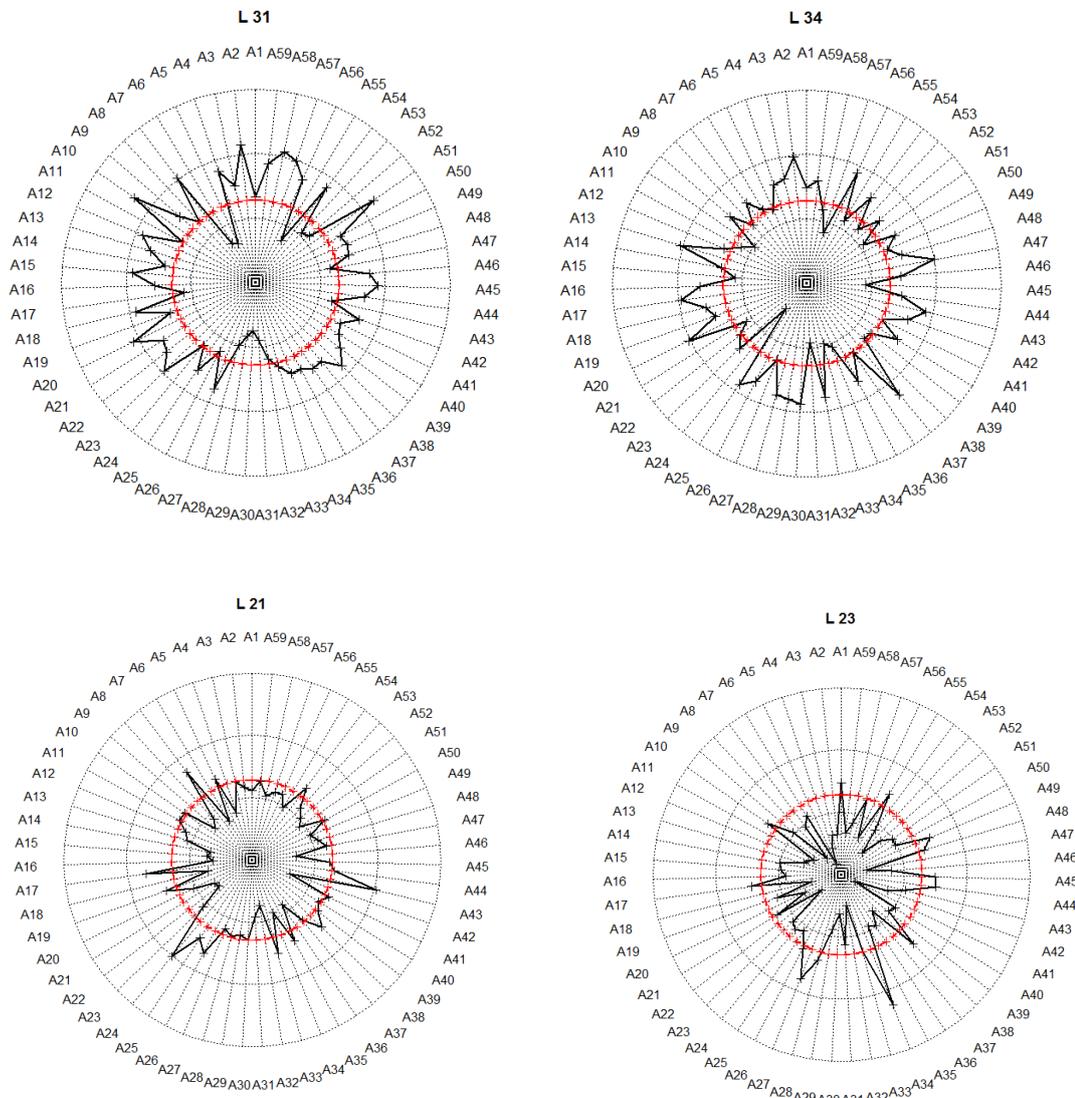
O desempenho relativo das linhagens pode também ser avaliado por meio da produtividade de grãos (kg.ha⁻¹), de cada ambiente. Quanto maior o valor $\sum(Z$ positivo),

evidentemente melhor é o desempenho da linhagem em relação às demais. Novamente a L31 foi a que apresentou a maior estimativa do $\sum Z$. Observe também na Tabela 6, que quando o $\sum Z$ foi negativo, a performance da linhagem, considerando todos os ambientes, foi abaixo da média geral.

O coeficiente de variação do Z (CVZ) é um indicador da estabilidade. Teoricamente quanto menor o CVZ da linhagem, mais estável foi o seu comportamento, isto é, as médias em cada ambiente flutuaram menos que as demais. Vale salientar, contudo, que a estimativa de CVZ deve estar associada ao $\sum Z$. Veja, por exemplo, o caso da L21, que tem uma das menores estimativas de CVZ, porém o $\sum Z$ foi negativo. Isto é, ela foi estável, porém com produtividade baixa (TABELA 6).

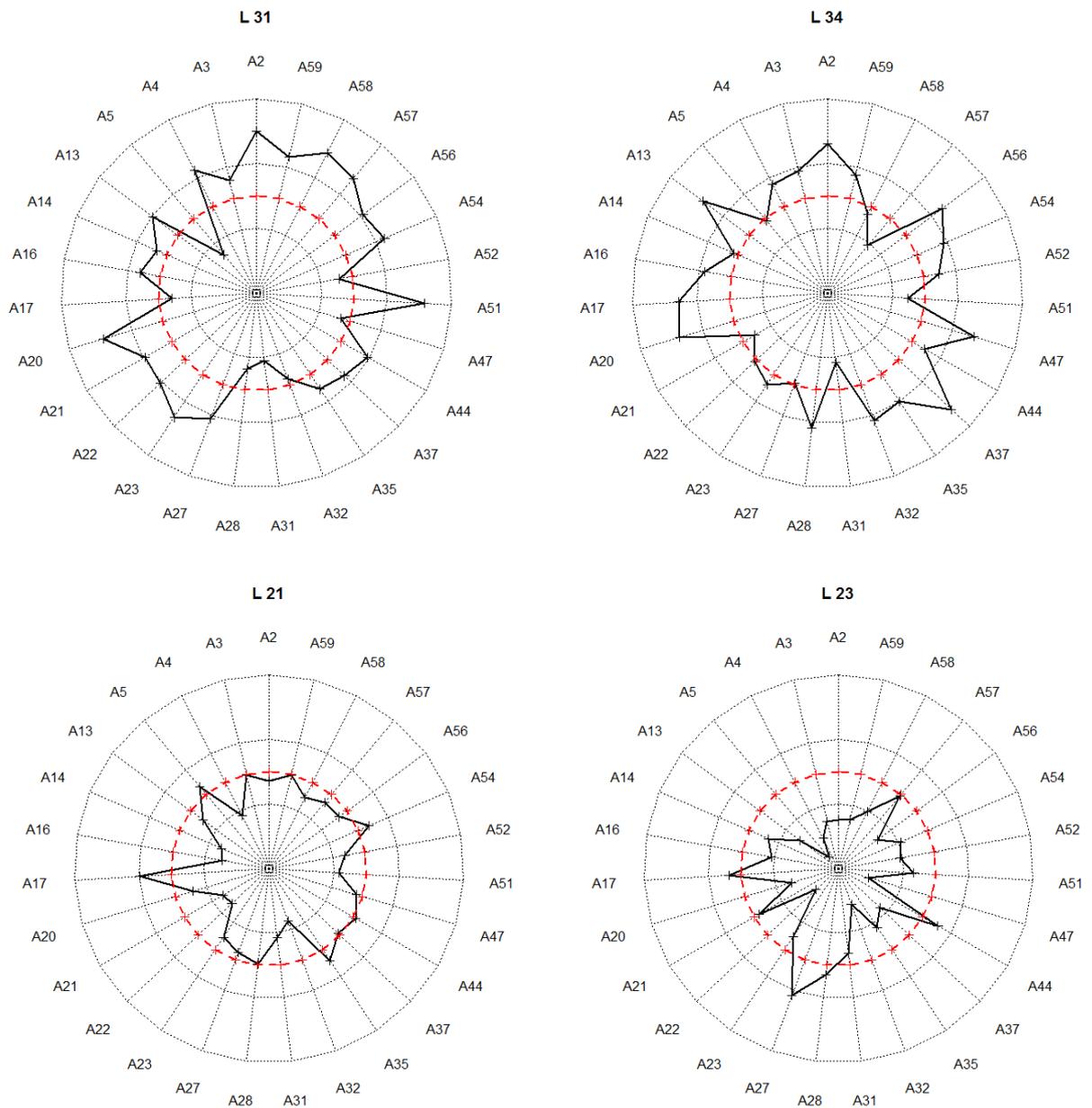
Os gráficos conhecidos por Bola Cheia/Bola Murcha também possibilitam avaliar visualmente a adaptabilidade e estabilidade. Veja na Figura 5 que a L31, considerando todos os 59 ambientes, apresentou performance abaixo da média em oito ambientes, isto é, apenas em 13% dos experimentos conduzidos. No extremo oposto, a L23 teve a performance abaixo da média padronizada em 48 experimentos, ou seja, em 81% dos casos ela ficou abaixo da média dos ambientes. A mesma constatação, embora a proporção seja variável, foi observada dentro de cada região (FIGURAS 6, 7, 8 e 9).

Figura 5 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura, o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos nos 59 ambientes no período de 2013 a 2015.



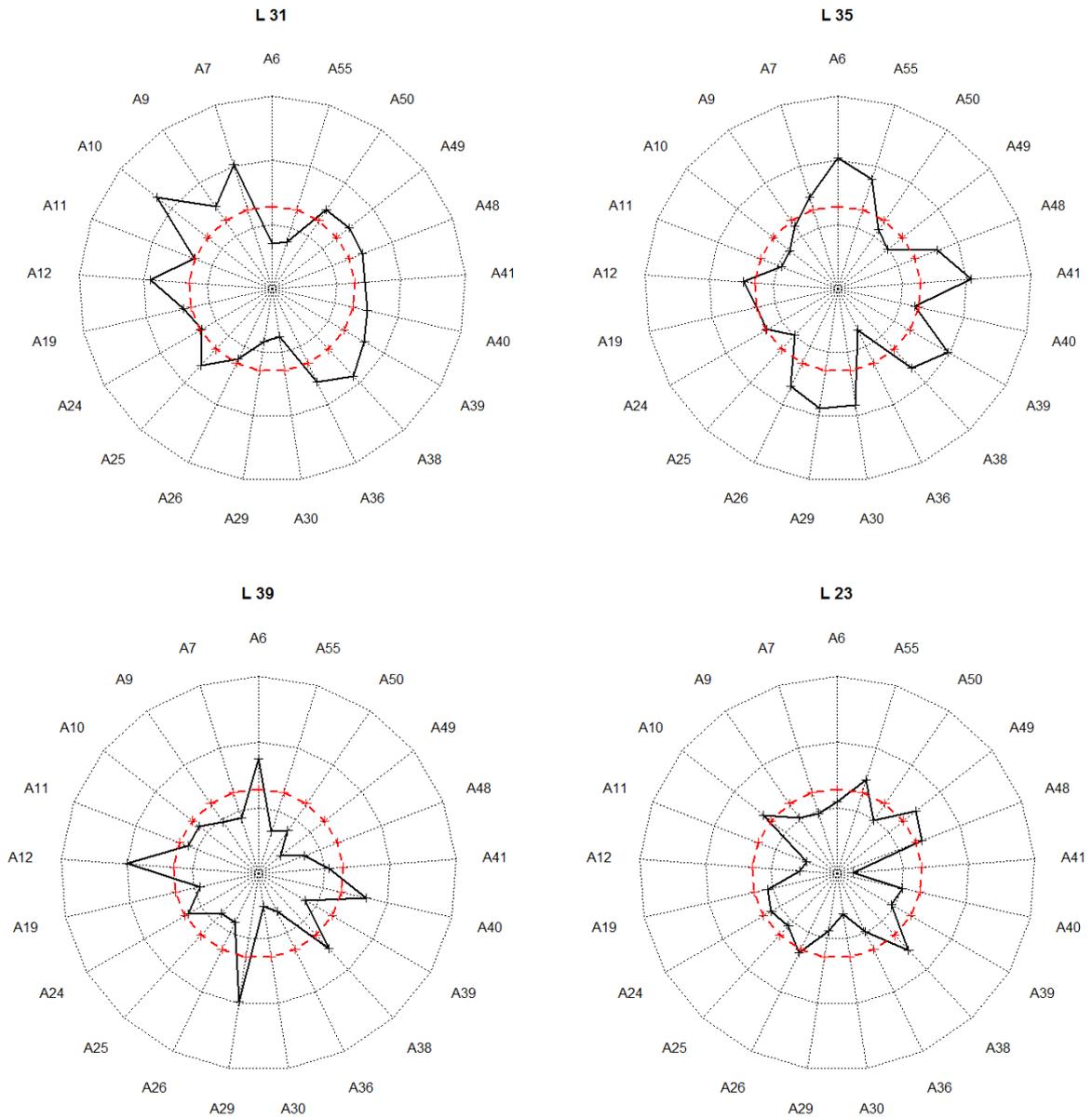
Fonte: Do autor (2017).

Figura 6 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos na região Nordeste do Brasil no período de 2013 a 2015.



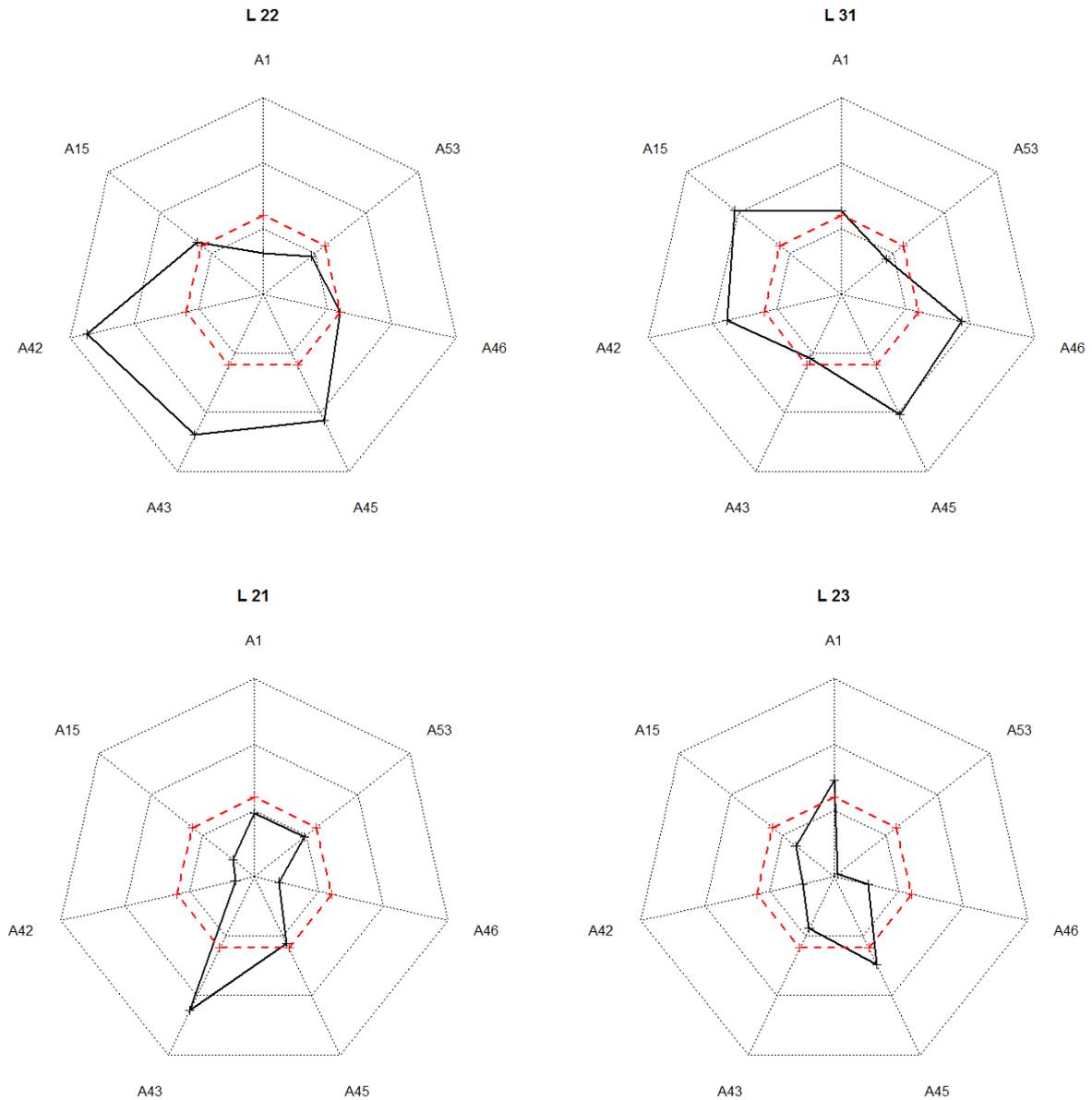
Fonte: Do autor (2017).

Figura 7 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos na região Norte do Brasil no período de 2013 a 2015.



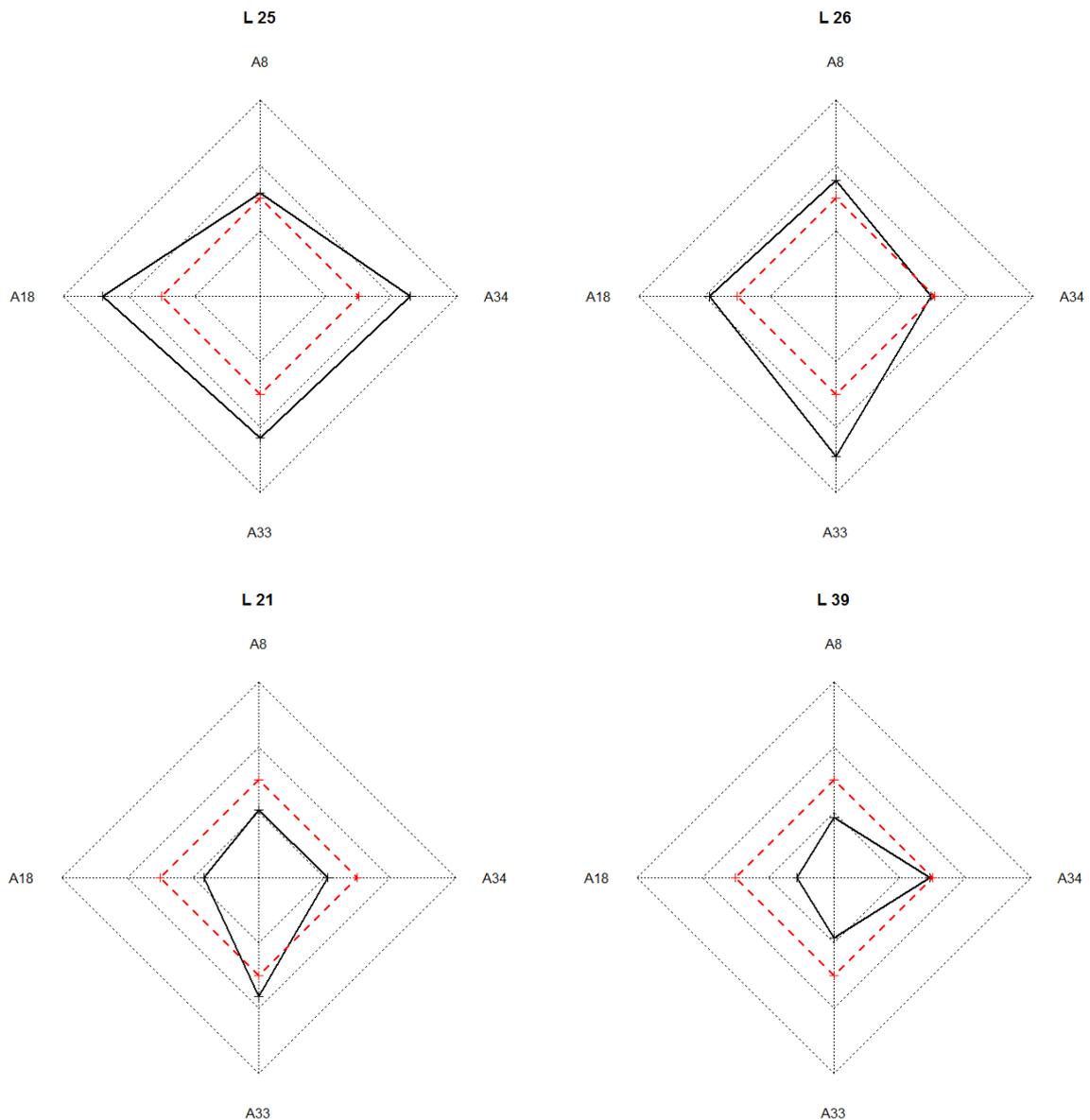
Fonte: Do autor (2017).

Figura 8 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos na região Centro-Oeste do Brasil no período de 2013 a 2015.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 9 - Desempenho das duas melhores e piores linhagens de feijão-caupi, dos experimentos de VCU avaliados por meio da produtividade de grãos padronizada por ambiente. Em cada figura o círculo pontilhado (constante adicionada ao valor de $Z = 3$), representa a média dos ambientes. Dados obtidos na região Sudeste do Brasil no período de 2013 a 2015.



Fonte: Do autor (2017).

Considerando que é praticamente impossível uma cultivar ter performance acima da média em todos os ambientes, é importante ter uma estimativa de risco de sua adoção. Nesse trabalho, esse Índice de Risco (IR) foi estimado. Verifica-se, como já comentado, que nenhuma linhagem apresentou $IR=0$, ou seja, com desempenho acima da média em todos os ambientes. A opção é identificar aquelas com IR o menor possível. Considerando todos os

ambientes, novamente o destaque foi a L31, com IR de 21,4%. Novamente, no extremo oposto, os destaques foram as L21 (IR= 51,6%) e L23 (IR = 48,9%) (TABELA 6).

Quando se estimou o IR por região, foi possível identificar em alguns casos IR menores do que o estimado envolvendo todos os 59 ambientes (TABELAS 5 e 6). Para a região Nordeste, a cultivar de menor risco foi a L36(BRS Guariba) (IR= 16,6 %), utilizada como testemunha. Ainda no Nordeste é preciso salientar que além da L31, já inúmeras vezes mencionada, outras linhagens, tais como, L34 e L28, apresentaram IR inferior a 21%. Nas regiões Norte e Centro-Oeste, a L32 (IR = 14,9%) e a L31 (IR = 5,3%), foram a de menor risco, respectivamente. Nessas regiões, também é possível identificar outras linhagens com boa performance, tais como, a L36 (BRS Guariba) na região Nordeste, L31 e L25na região Norte e L35 na região Centro-Oeste. No Sudeste, o IR não tem muito significado, pois o número de ambientes foi pequeno. Nessa condição, as L22 e L25, em todos os ambientes, nunca apresentaram desempenho abaixo da média (IR = 0,0%).

5 DISCUSSÃO

As normas da condução do VCU de Feijão-caupi, definidas pelo MAPA, para fins de registro junto ao RNC, estabelecem que os experimentos devam ser conduzidos em pelo menos três locais, por dois anos, na região em que a recomendação irá abranger (BRASIL, 2017). Contudo, a cultura do feijão-caupi é cultivada em uma ampla região, abrangendo vários estados e biomas. Adicionalmente, se o número de ambientes é pequeno, a segurança na recomendação da nova cultivar também será pequena. Preocupados com esse fato, nesse trabalho as linhagens de feijão-caupi foram avaliadas em 59 ambientes, envolvendo locais e anos, o que evidentemente fornece maior credibilidade aos resultados obtidos.

Deve ser enfatizado, contudo, que não basta ter muitos ambientes, é preciso que eles representem bem a região de abrangência de interesse de recomendação da nova cultivar (ALLIPRANDINI et al., 1994). Nesse trabalho, como mencionado, os ambientes estão distribuídos desde a latitude de 02° 32' 21"N a 22° 41' 28" S (FIGURA 4, TABELA 3), portanto a região de abrangência é enorme. Adicionalmente, os experimentos foram conduzidos em ambientes cuja altitude variou de três a 953 m. Esse aspecto é fundamental, sobretudo em função da amplitude de temperatura noturna e diurna, que afeta muito o desempenho da cultura (CARVALHO, 2016).

Outro aspecto importante é a questão da precipitação pluviométrica. O feijão-caupi é considerado uma leguminosa moderadamente tolerante a seca (BOYER, 1976). Entretanto, essa tolerância tem limite e também interessa muito para os melhoristas saber como se dá a resposta das cultivares aos níveis de água. Por exemplo, o ambiente 52 - Serra Talhada (PE)/2015, que está a 442 metros de altitude e pertence ao bioma Caatinga, e que apresentou a menor produtividade média, entre todos os ambientes, 277 kg.ha¹(APÊNDICE A), é reconhecido como um local de precipitação pluviométrica muito baixa, 700 mm anuais, com péssima distribuição (CLIMATE-DATA, 2017b). No outro extremo, o ambiente 54-São Raimundo das Mangabeiras (MA)/2015, também está à altitude semelhante a de Serra Talhada - PE, ou seja 310 m, contudo a precipitação é de 1200 mm (CLIMATE-DATA, 2017a), bem distribuída entre os meses de outubro a abril, quando é realizado o cultivo do feijão-caupi. Esse ambiente apresentou, a maior média de grãos das 20 linhagens avaliadas, 2.485 kg.ha⁻¹ (APÊNDICE A), ou seja, produtividade mais de 10 vezes superior a obtida em Serra Talhada/2015, realçando, pelo menos em princípio, que embora o feijão-caupi seja considerado moderadamente tolerante à seca, é muito responsivo à disponibilidade de água durante o ciclo.

Destaque também deve ser dado ao fato de que os experimentos de VCU devem ser realizados predominantemente nas regiões em que se concentra a maior produção. Nesse caso, dos 59 ambientes, envolvendo 45 municípios em 19 estados, a maioria concentra-se nas regiões Norte e Nordeste, onde se tem 85% da área cultivada com a espécie no Brasil (CONAB, 2017). É oportuno enfatizar, entretanto, que em regiões emergentes com potencial de intensificação do cultivo, como é o caso da região Centro-Oeste, sete experimentos foram avaliados (APÊNDICE A).

A preferência dos consumidores para o tipo de grão de feijão-caupi varia entre as regiões, contudo, predominam os grãos do tipo Mulato, Sempre-Verde e Branco e suas derivações, com peso igual ou superior a 20 g/100grãos (SILVA; ROCHA; MENEZES JUNIOR, 2016). Vale ressaltar que entre as 20 linhagens avaliadas, estão incluídos todos esses tipos de grãos, atendendo, dessa forma, preferências microregionais (TABELA 2). Especialmente para o Centro-Oeste e outras regiões de cerrado, a colheita tem que ser mecanizada exigindo que as plantas tenham porte adequado para tal fim, nesse sentido as linhagens avaliadas apresentam crescimento ereto ou semiereto. Do exposto, as linhagens avaliadas apresentam fenótipo para várias características que atendem às exigências do mercado.

Na condução dos experimentos de VCU, um fator limitante é a precisão experimental. Ela é julgada pelo coeficiente de variação (CV) e também pela acurácia (r_{gg}). Como o CV é muito dependente da média, e essa por sua vez é função do ambiente, muitos experimentos que poderiam ser úteis para identificar possíveis diferenças de adaptação e estabilidade são eliminados. Já a acurácia, é função de ter sido possível detectar diferença significativa entre as linhagens ou não, pois $r_{gg} = \sqrt{1 - \frac{1}{F}}$. As acurácias obtidas variaram de 57% a 100%, porém, apenas em cinco ambientes foram abaixo de 70%, indicando que a precisão experimental foi de média a alta na maioria das situações (RESENDE; DUARTE, 2007).

Quando se realizam experimentos em grande número de ambientes, como ocorreu nessa pesquisa, com enorme diversidade, é frequente que ocorra heterogeneidade entre as variâncias dos erros. Numa situação como essa, uma das alternativas que se tem é empregar o método de Cochran (1954), para possibilitar que sejam aproveitados o maior número de ambientes em uma análise. A restrição nesse caso é a redução nos graus de liberdade (GL) do erro e da interação, visando a atenuar o possível efeito da heterogeneidade na significância a ser obtida. Deve ser enfatizado que mesmo ocorrendo drástica redução nos GL, foi detectada diferença significativa entre todas as fontes de variação (TABELA 4).

Merece destaque também a confiabilidade das médias obtidas na ANAVA conjunta, pois como cada experimento teve quatro repetições e foram 59 ambientes, cada média geral, de uma dada linhagem, foi proveniente de 236 repetições. Troyer (1996) comentando a respeito da dificuldade que os melhoristas possuem para mitigar o problema da interação enfatiza que o principal modo é tendo o maior número de ambientes e repetições possíveis.

Deve ser enfatizado que, das fontes de variação, a maior proporção foi decorrente dos ambientes (79,5%), o que era esperado, em razão da diversidade dos ambientes. Contudo, chama a atenção para a fonte de variação da interação linhagens x ambientes ter sido proporcionalmente mais de dez vezes acima da de linhagens, evidenciando que o comportamento das linhagens não foi coincidente nos diferentes ambientes (TABELA 4). Esse fato é muito comum em experimentos realizados com a cultura do feijão-caupi no Brasil e é frequentemente relatado na literatura (ALBUQUERQUE, 2013; BARROS et al., 2013; CARVALHO et al., 2016; FREIRE FILHO et al., 2005b; SOUSA, 2013), embora o número de ambientes nesses trabalhos tenha sido bem inferior ao relatado aqui.

Numa situação como essa, a classificação de linhagens com maior adaptação e estabilidade é indispensável. Vários métodos foram e são constantemente propostos com essa finalidade (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2004; DE LEON et al., 2016; KANG, 1998; LIN; BINSS, 1988; RAMALHO et al., 2012; RESENDE et al., 2012). No entanto, métodos que sejam de mais fácil interpretação e visualização são preferidos pelos melhoristas.

Nesse contexto, o método de Nunes, Ramalho e Abreu (2005), possibilita que o desempenho das linhagens seja facilmente comparado por meio de gráficos do tipo “Bola cheia/Bola murcha”. As linhagens “Bola cheia” serão aquelas cujo desempenho seja acima da média, na maioria dos ambientes e o “Bola murcha”, o contrário. Assim a figura possibilita visualizar simultaneamente as linhagens com maior adaptação, maior média geral e com maior estabilidade agrônômica no contexto da classificação proposta por Becker e Leon (1988), isto é, com desempenho acima da média geral na maioria dos ambientes.

Um questionamento que faltava ser respondido por essa metodologia é uma estimativa de risco da recomendação de uma dada linhagem. Foi proposto por Pinho et al. (2017), uma metodologia que, utilizando também a variável padronizada “Z”, estima o risco (IR) e que fornece resultados bem semelhantes à metodologia de Annichiarico (1992). Ela estima o risco da linhagem apresentar desempenho abaixo da média dos ambientes, por meio do somatório dos valores de “Z” negativos. A partir desse somatório, é estimada a percentagem em relação à média de todos os ambientes.

Utilizando essa metodologia procurou-se avaliar a adaptação e a estabilidade envolvendo todos os ambientes e também, por região político-administrativa (IBGE, 2017), para se ter também uma recomendação mais regionalizada. Entretanto, foi constatado que a linhagem L31 foi a de melhor performance na média geral e também em quase todas regiões (Tabelas 5 e 6; Figuras 5,6, 7 e 8). Observe, por exemplo, na Figura 5, que ela ficou acima da média do ambiente em 42 experimentos, dos 59 existentes, e o seu IR esteve entre os menores valores.

As linhagens L21 e L23 (Tabelas 6 e 7; Figuras 5, 6, 7 e 8 e 9) tiveram comportamento típico bola murcha, com desempenho quase sempre abaixo da média dos ambientes. O IR delas foi acima de 48%, mais que o dobro do IR da L31.

A L31 associa um bom porte e grãos mulatos. Como no Norte e Nordeste são preferidos vários tipos de grãos, em princípio não haveria maiores problemas de aceitação. Com relação à região Centro-Oeste, cujo foco é o mercado interno e exportação, o grão preferido é branco, contudo, não há disponibilidade de cultivares com grão marrom, que também tenha boa aceitação e com possibilidade de colheita mecanizada. Vale salientar que o desempenho da L31, foi superior ao das cultivares testemunhas que são normalmente utilizadas no cerrado brasileiro.

A linhagem L34, subclasse mulato, apresenta-se como boa opção para a produção e mercado das regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Enquanto que as linhagens L26, subclasse mulato, e L35, subclasse branco rugoso, são alternativas para a região Norte, sendo a primeira indicada também para a região Sudeste. A linhagem L22, subclasse branco liso, pode ser recomendada para produção nas regiões Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Ressalta-se a importância da geração de cultivares de diferentes subclasses comerciais, em razão das preferências regionais e, conseqüente, atendimento as demandas de mercado. Atualmente, as subclasses branco liso e branco rugoso são as mais aceitas comercialmente nos mercados interno e externo.

6 CONCLUSÃO

A interação das linhagens x ambientes é expressiva nas regiões que cultivam o feijão-caupino Brasil. Mesmo assim, é possível discriminar as linhagens que possuem menor risco na recomendação.

Um dos destaques é a L31, que, na maioria dos ambientes, ficou acima da média. Além de boa arquitetura, tem aspecto de grãos que podem atender à demanda do mercado interno e para a exportação.

REFERÊNCIAS

- ABREU, F. B. et al. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de feijão-caupi de porte ereto em Mato Grosso do Sul. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 1.; REUNIÃO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 6., 2006, Teresina. **Anais...** Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM.
- ALBUQUERQUE, C. L. C. d'. **Adaptabilidade e estabilidade produtiva características tecnológicas de genótipos de feijão-caupi na região Meio-Norte do Brasil**. 2013. 102 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.
- ALICE WEB. Disponível em: <<http://aliceweb2.mdic.gov.br/>>. Acesso em: 30 ago. 2016.
- ALLANTOSPERMUM, A. et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. **Botanical Journal of the Linnean Society**, London, v. 181, n. 1, p. 1-20, 2016.
- ALLARD, R. W.; BRADSHAW, A. D. Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. **Crop Science**, Madison, v. 4, p. 503-508, 1964.
- ALLIPRANDINI, L. F. et al. Efeitos da interação genótipo x ambiente sobre a produtividade de soja no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 9, p. 1433-1444, set. 1994.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 17-20, jan./abr. 2002.
- ANNICHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Breeding**, Rome, v. 46, n. 1, p. 269-278, 1992.
- BARROS, M. A. et al. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi de porte semiprostrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 48, n. 4, p. 403-410, abr. 2013.
- BECKER, H. C.; LEON, J. Stability analysis in plant breeding. **Plant Breeding**, Berlin, v. 101, n. 1, p. 1-23, 1988.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 4. ed., rev. e ampl. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005. 525 p.
- BOYER, J. S. Water deficits and photosynthesis. In: _____. **Water deficits and plant growth**. New York: Elsevier, 1976. v. 4, p. 153-190.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **ANEXO VII:** requisitos mínimos para determinação do valor de cultivo e uso de feijão vigna (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) e inscrição no Registro Nacional de Cultivares - RNC. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/sementes-e-mudas/registro-nacional-de-cultivares-2013-rnc-1/anexo07_vcufeijaovignainternet.doc>. Acesso em: 29 jul. 2017.

CARVALHO, L. C. B. et al. Evolution of methodology for the study of adaptability and stability in cultivated species. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 11, n. 12, p. 990-1000, 2016.

CLIMATE-DATA. **Clima:** São Raimundo das Mangabeiras. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/42387>>. Acesso em: 10 mar. 2017a.

CLIMATE-DATA. **Clima:** serra Talhada. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/42488>>. Acesso em: 10 mar. 2017b.

COCHRAN, W. G. The combination of estimates from different experiments. **Biometrics**, Washington, v. 10, n. 1, p. 101-129, 1954.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos:** safra 2016/17, décimo levantamento, v. 4, n. 10. Brasília, DF, 2017. 170 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético.** 3. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2004. v. 1, 480 p.

DE LEON, N. et al. Introduction to a special issue on genotype by environment interaction. **Crop Science**, Madison, v. 56, n. 5, p. 2081-2089, 2016.

FATOKUN, C. A. et al. Challenges and opportunities for enhancing sustainable cowpea production. In: WORLD COWPEA CONFERENCE HELD AT THE INTERNATIONAL INSTITUTE OF TROPICAL AGRICULTURE, 3., 2000, Ibadan. **Proceedings...** Ibadan: IITA, 2000. p. 4-8.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. **Crops:** cow peas, dry. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>>. Acesso em: 25 fev. 2017.

FREIRE FILHO, F. R. de. **Feijão-caupi no Brasil:** produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2011.

FREIRE FILHO, F. R. de. **Origem, evolução e domesticação do caupi.** Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 1988.

FREIRE FILHO, F. R. et al. Melhoramento genético. **Feijão-caupi:** avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, p. 29-92, 2005a.

FREIRE FILHO, Francisco Rodrigues et al. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de feijão-caupi. **Ciência Rural**, v. 35, n. 1, p. 24-30, 2005b.

FREIRE FILHO, F. R. de; RIBEIRO, V. Q.; SANTOS, A. A. dos. Cultivares de caupi para a região Meio-Norte do Brasil. In: _____. **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2000. p. 67-88.

GUERRA, J. V. S. et al. Performance agrônômica de genótipos de feijão-caupi eretos e semieretos no norte de Minas Gerais. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 679-686, 2017.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Geociências**. Disponível em: <<http://www.bdg.ibge.gov.br/appbdg/>>. Acesso em: 26 jul. 2017.

KANG, M. S. Using genotype by environment interaction for crop cultivar development. **Advances in Agronomy**, Madison, v. 62, p. 199-252, 1998.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 68, p. 193-198, 1988.

LIN, C. S.; BINNS, M. R.; LEFKOVITCH, L. P. Stability analysis: where do we stand? **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 5, p. 894-900, 1986.

LUSH, W. M.; EVANS, L. T. The domestication and improvement of cowpeas (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). **Euphytica**, Wageningen, v. 30, n. 3, p. 579-587, 1981.

NG, N. Q.; MARECHAL, R. Cowpea taxonomy, origin and germplasm. In: _____. **Cowpea research, production, and utilization**. Chichester: Wiley, 1985. p. 11-21.

NUNES, H. F. **Adaptabilidade e estabilidade da produtividade de grãos de genótipos de feijão-caupi do tipo fradinho em cultivos de sequeiro e irrigado**. 2012. 105 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento)-Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2012.

NUNES, J. A. R.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. de F. B. Graphical method in studies of adaptability and stability of cultivars. **Annual Report of Bean Improvement Cooperative**, Fort Collins, v. 48, p. 182-183, 2005.

PIEPHO, H. P. Analyzing genotype-environment data by mixed models with multiplicative terms. **Biometrics**, Washington, v. 53, p. 761-766, June 1997.

PINHO, I. V. von et al. The interactions os genotypes x environments in soy bean crop and the risk of recommending new lines. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, 2017. No prelo.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Aplicações da genética quantitativa no melhoramento de plantas autógamias**. Lavras: Ed. UFLA, 2012.

RAWAL, K. M. Natural hybridization among wild, weedy and cultivated *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Euphytica**, Wageningen, v. 24, n. 3, p. 699-707, 1975.

RESENDE, M. D. V. de; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 3, n. 37, p. 182-194, 2007.

RESENDE, M. D. V. de et al. **Seleção Genômica Ampla (GWS) via Modelos Mistos (REML/BLUP), Inferência Bayesiana (MCMC), Regressão Aleatória Multivariada (RRM) e Estatística Espacial**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2012. 291 p.

RIBEIRO, V. Q. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp)**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2002.

ROCHA, M. de M. et al. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semiprostrado na região Centro-Oeste do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI, 3., 2013, Recife. **Anais...** Recife: IPA, 2013. 1 CD-ROM.

SCOTT, A.; KNOTT, M. Cluster-analysis method for grouping means in analysis of variance. **Biometrics**, Washington, v. 30, n. 3, p. 507-512, 1974.

SILVA, K. J. D. e; ROCHA, M. de M.; MENEZES JUNIOR, J. A. de. Socioeconomia. In: BASTOS, E. A. (Coord.). **A cultura do feijão-caupi no Brasil**. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2016. p. 6-12.

SOUSA, M. B. e. **Avaliação de linhagens elite de feijão-caupi em regiões do cerrado brasileiro**. 2013. 82 p. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento)-Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2013.

TORRES, F. E. et al. Adaptability and phenotypic stability of semi-prostrate cowpea genotypes in Mato Grosso do Sul. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 32, n. 6, p. 1435-1441, Nov./Dec. 2016.

TORRES FILHO, J. et al. Interação genótipos x ambientes em genótipos de feijão-caupi verde analisada via modelos mistos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 30, n. 3, p. 687-697, 2017.

TROYER, A. Forrest breeding widely adapted, popular maize hybrids. **Euphytica**, Wageningen, v. 92, n. 1/2, p. 163-174, 1996.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fito melhoramento**. Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética, 1992. 496 p.

WU, R. L.; O'MALLEY, D. M. Nonlinear genotypic response to macro-and microenvironments. **Theoretical and Applied Genetics**, Berlin, v. 96, n. 5, p. 669-675, 1998.

APÊNDICE A - RESUMO DAS ANÁLISES DE VARIÂNCIA DA PRODUTIVIDADE DE GRÃOS (kg ha⁻¹) OBTIDAS NA AVALIAÇÃO DE 20 LINHAGENS DE FEIJÃO-CAUPI EM 59 AMBIENTES NO BRASIL

Ambiente	QM Linhagem	QM Erro	F	P	MÉDIA	r _{gg}
Região Nordeste						
2	467541,244	19513,305	23,96	0,00	1798	0,98
3	226132,326	23990,584	9,43	0,00	906	0,95
4	250161,221	53135,202	4,71	0,00	2244	0,89
5	144613,191	44434,342	3,25	0,00	1060	0,83
13	247462,497	18971,678	13,04	0,00	1406	0,96
14	99070,234	19165,528	5,17	0,00	1883	0,90
16	314446,349	52451,142	6,00	0,00	1043	0,91
17	292216,770	125552,309	2,33	0,01	1312	0,76
20	413559,879	21695,835	19,06	0,00	1910	0,97
21	209618,639	32378,130	6,47	0,00	2236	0,92
22	238135,960	69564,916	3,42	0,00	1616	0,84
23	337543,168	71756,596	4,70	0,00	1240	0,89
27	291131,539	93359,156	3,12	0,00	1061	0,82
28	131291,828	37283,386	3,52	0,00	1141	0,85
31	122389,353	24144,351	5,07	0,00	458	0,90
32	159814,770	43200,851	3,70	0,00	1292	0,85
35	132212,063	51500,191	2,57	0,00	1118	0,78
37	137982,892	64140,189	2,15	0,01	1071	0,73
44	386756,060	114628,895	3,37	0,00	1501	0,84
47	342059,023	55287,648	6,19	0,00	1223	0,92
51	113299,405	57315,182	1,98	0,02	1446	0,70
52	88255,774	7557,391	11,68	0,00	277	0,96
54	416016,984	213731,421	1,95	0,03	2485	0,70
56	191145,529	20073,618	9,52	0,00	1822	0,95
57	143398,682	40550,252	3,54	0,00	2234	0,85
58	62368,749	39410,456	1,58	0,09	1188	0,61
59	364705,476	65128,590	5,60	0,00	1804	0,91
Região Norte						
6	362365,632	108832,049	3,33	0,00	1010	0,84
7	189040,526	92535,439	2,04	0,02	1204	0,71
9	313239,721	73705,765	4,25	0,00	1330	0,87
10	331191,297	206406,634	1,60	0,09	2375	0,61
11	179502,613	49030,577	3,66	0,00	1066	0,85
12	191616,497	56761,542	3,38	0,00	2244	0,84
19	1158547,411	296475,626	3,91	0,00	2012	0,86
24	409015,223	275428,925	1,49	0,13	1811	0,57
25	214394,234	101884,924	2,10	0,02	1253	0,72
26	55081,881	24075,018	2,29	0,01	1245	0,75
29	76885,813	6607,780	11,64	0,00	886	0,96
30	193680,366	6094,027	31,78	0,00	1053	0,98
36	1067360,323	3335,897	319,96	0,00	1569	1,00
38	125206,402	82728,704	1,51	0,12	1172	0,58

Ambiente	QM Linhagem	QM Erro	F	P	MÉDIA	r_{gg}
39	250430,050	67905,959	3,69	0,00	1286	0,85
40	54658,421	21623,558	2,53	0,00	791	0,78
41	135548,787	22518,703	6,02	0,00	713	0,91
48	106343,287	43757,455	2,43	0,00	1490	0,77
49	97298,576	32906,674	2,96	0,00	1441	0,81
50	322247,218	91904,155	3,51	0,00	1420	0,85
55	185014,063	62749,068	2,95	0,00	966	0,81
Região Centro-Oeste						
1	213142,565	17056,335	12,50	0,00	575	0,96
15	467292,981	98214,970	4,76	0,00	1134	0,89
42	193617,918	48104,105	4,02	0,00	956	0,87
43	139830,539	77725,353	1,80	0,05	1964	0,67
45	178226,323	64420,014	2,77	0,00	1331	0,80
46	302528,876	46372,314	6,52	0,00	1742	0,92
53	133065,286	17284,177	7,70	0,00	464	0,93
Região Sudeste						
8	393784,042	133997,356	2,94	0,00	1003	0,81
18	202195,744	67946,720	2,98	0,00	1928	0,81
33	292065,118	105555,463	2,77	0,00	1186	0,80
34	698897,470	55054,374	12,69	0,00	1651	0,96

Fonte: Do autor (2017).