

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ANTONIO RIBEIRO FERNANDES JÚNIOR
Engenheiro agrônomo

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CLONES DE CANA-DE-AÇÚCAR
NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Ilha Solteira - SP
2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA**

ANTONIO RIBEIRO FERNANDES JÚNIOR

Orientado

**ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CLONES DE CANA-DE-AÇÚCAR
NO ESTADO DE SÃO PAULO**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia – UNESP – Campus de Ilha Solteira, para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

Especialidade: Sistemas de Produção

Prof. Dr. João Antonio da Costa Andrade

Orientador

Prof. Dr. Pedro César dos Santos

Co-orientador

Ilha Solteira - SP

2013

FICHA CATALOGRÁFICA

Elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação
Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação da UNESP - Ilha Solteira.

F363a Fernandes Júnior, Antonio Ribeiro.
Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar no estado de São Paulo /
Antonio Ribeiro Fernandes Júnior. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2013
57 f. : il.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia
de Ilha Solteira. Especialidade: Sistemas de Produção, 2013

Orientador: João Antônio da Costa Andrade
Coorientador: Pedro César dos Santos
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar. 2. Interação genótipo x ambiente. 3. Regressão bissegmentada.
4. AMMI.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo

AUTOR: ANTONIO RIBEIRO FERNANDES JUNIOR

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOAO ANTONIO DA COSTA ANDRADE

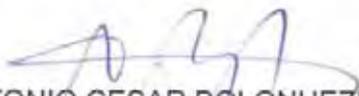
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. PEDRO CESAR DOS SANTOS

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA ,
Área: SISTEMAS DE PRODUÇÃO, pela Comissão Examinadora:



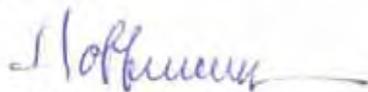
Prof. Dr. JOAO ANTONIO DA COSTA ANDRADE

Departamento de Biologia e Zootecnia / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. ANTONIO CESAR BOLONHEZI

Departamento de Fitotecnia, Tecnologia de Alimentos e Sócio Economia / Faculdade de
Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. HERMANN PAULO HOFFMANN

Departamento de Biotecnologia e Produção Vegetal e Animal / Universidade Federal de São Carlos

Data da realização: 01 de fevereiro de 2013.

DEDICO

Esta conquista dedico a minha Mãe, Maria Ângela Ribeiro Fernandes, por seu incondicional amor e ao meu Pai, Antonio Ribeiro Fernandes, pelo carinho e apoio nos meus estudos. Exemplos fundamentais para minha vida pessoal e profissional.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Pela força espiritual para realização desse trabalho.

Ao meu Orientador, Professor João Antonio da Costa Andrade pela grande oportunidade concebida e pelo apoio incondicional para minha formação acadêmica e pessoal.

Ao Professor Pedro César dos Santos pela co-orientação e troca de conhecimentos.

Ao Professor Hermann Paulo Hoffmann pelo seu apoio, pela sua amizade e por conceder mais esta oportunidade.

Aos Professores da UFSCar: Monalisa Sampaio, Alfredo Urashima, Jozivaldo Prudêncio, Antonio Bassinelo, Marineide M. Aguilera, Hideto Arizono, Antonio Salibe, Antonio Gheller, Sizuo Matsuoka, Yodiro Masuda, Marcos Sanches.

Aos Professores da UFPR: Edelclaiton Daros, Ricardo de Oliveira, Bepalhok, Zambon.

Aos Professores da UNESP de Ilha Solteira: Antonio C. Bolonhezi, Luiz Malcolm M. de Mello, Salatiér Buzetti, Marcelo Andreotti.

A todos os Professores que sempre contribuíram, e continuam contribuindo, com a minha formação.

A todos os amigos de trabalho da Estação Experimental de Valparaíso: Lungas Menezes, Odorico Diogo, Valdir Oliveira, Rafael Simões, Vitor Prates, Bruno Molina, Lilian Mendonça, José Roberto Barros e todos os auxiliares de campo.

Aos amigos de trabalho do Centro de Ciências Agrárias em Araras: José Ciofi, Carlos Loureiro, Luiz Plínio Zavaglia, Roberto Chapola, Danilo Cursi, Diego Colatto, Bruno Silvestrin, Fernando Dias, Valdir Guedes, Adalberto Cruz, Sandro, Igor, Varlene, Stela, Sandra e, especialmente, Cláudio José Mendes (*in memoriam*).

Ao Dr. Fernando Piotto, pelos valiosos ensinamentos com o Programa R.

Aos meus avós Pedro Rocha e Josefa Rocha, Benjamin Ribeiro e Ordalia Ribeiro (*in memoriam*).

Aos amigos da Ridesa, em especial, Prof. Geraldo Veríssimo, Prof. Antonio Iaia, Prof. Marcio Barbosa, Prof. Américo José, Dr. João Santos, Msc. Luiz José, Msc. Luis Silveira, Msc. Pedro Buso, Agda Manoela, Guilherme Berton.

À todos da minha família, meus pais, meus irmãos, sobrinhos, tios e primos.

À Ester Ribeiro Antunes e sua família.

À Fátima Yukisada e sua família.

Aos amigos: Luiz Carlos Miller, Éder Santos, Ernesto Mouta, Davi Libraiz, José Ivanildo (Vlad), Rafael Menezes.

Às Usinas e Associações produtoras de cana-de-açúcar parceiras deste trabalho.

Aos técnicos das usinas e associações.

A todos, obrigado pela cumplicidade, ajuda e amizade.

**“Decepar a cana
Recolher a garapa da cana
Roubar da cana a doçura do mel
Se lambuzar de mel”.**

Chico Buarque e Milton Nascimento

RESUMO

A interação genótipos com ambientes (GxA) representa uma das principais dificuldades para a seleção nos programas de melhoramento genético de qualquer espécie, seja na fase de seleção ou na recomendação de cultivares, onde os pesquisadores buscam alternativas para minimizar seus efeitos. Entre as alternativas está a escolha de cultivares com ampla adaptação e boa estabilidade. Os resultados de vários ambientes podem ser sintetizados por estudos de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, permitindo conhecer melhor a capacidade produtiva e adaptação frente às variações ambientais de novos genótipos. O objetivo deste trabalho foi verificar a adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar, além da estabilidade dos ambientes, quanto à produtividade em toneladas de colmos por ha (TCH) e toneladas de pol por ha (TPH) no Estado de São Paulo. Foram avaliados 10 clones e duas testemunhas comerciais de maturação média-tardia em primeira soca em 10 experimentos colhidos em agosto de 2008, utilizando o método de regressão bissegmentada e o método AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*). A interação GxA para o caráter Pol%cana (PC) não foi significativa e TCH e TPH foram altamente correlacionados ($r=0,97$), apresentando resultados similares para todas as análises realizadas. Por isso, apenas os resultados de TCH foram apresentados e discutidos. Os resultados dos dois métodos foram comparados e evidenciaram que os clones RB975201, RB975157, RB975932, RB975242 e RB975162 são os mais promissores devido à produtividade acima das testemunhas, a alta estabilidade verificada em um ou nos dois métodos e adaptabilidade ampla ou específica. Os ambientes Tarumã, Guariba e Piracicaba, foram os mais estáveis, podendo servir de referência para recomendações em outras áreas.

Palavras Chave: *Saccharum* spp. Interação genótipo x ambiente. Regressão bissegmentada. AMMI.

ABSTRACT

The genotype x environment interaction (GE) is one of the main difficulties for selection in breeding programs of any species, either at the stage of selection or recommendation of cultivars, where researchers seek alternatives to minimize their effects. Between the alternatives is the choice of cultivars with wide adaptability and good stability. The results of various environments can be synthesized by studies of phenotypic adaptability and stability allowing better understand the production capacity and adaptation to environmental variations ahead of new genotypes. The objective of this study was to verify the adaptability and stability of sugar cane clones, in addition the stability of environments, for productivity in tons of cane per hectare (TCH) and tons pol per hectare (TPH) in São Paulo State, Brazil. Were evaluated 10 clones and two commercial checks of medium-late maturation in first-ratoon of experiments harvested in August 2008, utilizing bissegmented regression method and analysis AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis). The interaction for the character Pol%cane (PC) was not significant and TCH and TPH were highly correlated ($r = 0.97$), with similar results for all analyzes. Therefore, only the results of TCH were presented and discussed. The results of two methods were compared and evidenced that clones RB975201, RB975157, RB975932, RB975242 and RB975162 are the most promising due to yield above checks, high stability observed in one or both methods and broad or specific adaptability. The environments Tarumã, Guariba and Piracicaba, are the most stable and may use as reference for recommendations in other areas.

Keywords: *Saccharum* spp. Genotype x environment interaction. Bissegmented regression. AMMI.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Distribuição dos locais (municípios) onde foram conduzidos os experimentos no Estado de São Paulo.27
- Figura 2 - Diagrama de dispersão e respectivo coeficiente de correlação de Pearson para os caracteres tonelada de colmos por ha (TCH) e tonelada de pol por ha (TPH).36
- Figura 3 - Comportamento das testemunhas de cana-de-açúcar RB867515 e SP81-3250 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).42
- Figura 4 - Comportamento do clone de cana-de-açúcar RB975157 em relação à testemunha RB867515 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).42
- Figura 5 - Comportamento do clone de cana-de-açúcar RB975242 em relação à testemunha RB867515 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).43
- Figura 6 - Comportamento do clone de cana-de-açúcar RB975932 em relação à testemunha RB867515 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).43
- Figura 7 - Comportamento do clone de cana-de-açúcar RB975201 em relação à testemunha RB867515 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).44
- Figura 8 - Biplot AMMI1 para produtividade de colmos por ha (TCH) em 12 clones de cana-de-açúcar (C1=RB975033, C2=RB975039, C3=RB975086, C4=RB975157, C5=RB975162, C6=RB975184, C7=RB975201, C8=RB975242, C9=RB975270, C10=RB975932, C11=RB867515 e C12=SP81-3250) e dez ambientes (A1=Tarumã, A2=Nova Europa, A3=Pradópolis, A4=Guariba, A5=Olímpia, A6=Catanduva, A7=Iracemópolis, A8=Guaíra, A9=Cosmópolis e A10=Piracicaba). O expoente em C indica a posição do clone na lista de médias em ordem decrescente.46
- Figura 9 - Biplot AMMI2 para dados de produtividade de colmos por ha em 12 clones de cana-de-açúcar (C1=RB975033, C2=RB975039, C3=RB975086, C4=RB975157, C5=RB975162, C6=RB975184, C7=RB975201, C8=RB975242, C9=RB975270, C10=RB975932, C11=RB867515 e C12=SP81-3250) e dez ambientes (A1=Tarumã, A2=Nova Europa, A3=Pradópolis, A4=Guariba, A5=Olímpia, A6=Catanduva, A7=Iracemópolis, A8=Guaíra, A9=Cosmópolis e A10=Piracicaba). O expoente em C indica a posição do clone na lista de médias em ordem decrescente.47

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1** – Participação das 10 principais cultivares de cana-de-açúcar nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul em área total na safra 2010/2011. 15
- Tabela 2** – Relação dos 10 clones de cana-de-açúcar avaliados, seus respectivos genitores, caracterização agrônômica e reação à quatro doenças importantes para a cultura..... 25
- Tabela 3** – Localização e identificação dos ambientes, Usinas parceiras e dados geográficos dos experimentos de competição de clones de cana-de-açúcar série RB97..... 26
- Tabela 4** – Produtividade média de colmos por ha (TCH) de 10 clones e duas testemunhas de cana-de-açúcar e análise de variância em 10 ambientes do Estado de São Paulo. 33
- Tabela 5** – Valores médios de Pol % Cana (PC) de 10 clones e duas testemunhas de cana-de-açúcar e análise de variância em 10 ambientes do Estado de São Paulo.... 34
- Tabela 6** – Produtividade média de Pol por ha (TPH) de 10 clones e duas testemunhas de cana-de-açúcar e análise de variância em 10 ambientes do Estado de São Paulo. 35
- Tabela 7** – Fontes de variação, graus de liberdade (G.L.) e quadrados médios (Q.M.) da análise de variância conjunta para produtividade em toneladas de colmos por hectare (TCH), toneladas de pol por hectare (TPH) e pol%cana (PC) de 10 clones e duas testemunhas comerciais de cana-de-açúcar avaliados em 10 ambientes no Estado de São Paulo. 37
- Tabela 8** – Valores médios em toneladas de colmos por ha (TCH) de cana-de-açúcar e respectivos índices ambientais (I_j e $T(I_j)$), em ordem crescente pela classificação do índice ambiental (I_j), conforme o método de Cruz et al. (1989)..... 38
- Tabela 9** – Médias gerais (b_0), médias dos ambientes favoráveis (F), médias dos ambientes desfavoráveis (D), coeficiente de regressão para ambientes desfavoráveis (b_1), coeficientes de regressão para ambientes favoráveis (b_1+b_2), quadrado médio dos desvios da regressão (QMD) e coeficientes de determinação (R^2), estimados segundo a metodologia de Cruz et al. (1989), para o caráter TCH de 10 clones e duas testemunhas comerciais de cana-de-açúcar avaliados em 10 ambientes no Estado de São Paulo. 41
- Tabela 10** – Resumo da análise de variância e decomposição da interação GxA pela análise AMMI, porcentagem de explicação da variância (Exp.) e seu valor acumulado (Ac.) para o caráter TCH de 10 clones e duas testemunhas comerciais de cana-de-açúcar avaliados em 10 ambientes no Estado de São Paulo. 45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1	O melhoramento genético da cana-de-açúcar	13
2.2	Cultivares comerciais de cana-de-açúcar	15
2.3	Interação genótipo com ambiente	16
2.4	Adaptabilidade e estabilidade.....	18
2.4.1	<i>Método de regressão bissegmentada</i>	19
2.4.2	<i>Método AMMI (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis)</i>	21
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	23
3.1	Época de plantio e colheita	23
3.2	Clones avaliados e descrição das testemunhas	23
3.3	Descrição dos locais	26
3.4	Delineamento experimental.....	27
3.5	Caracteres mensurados	27
3.6	Análises realizadas	28
3.6.1	<i>Análises de variância</i>	28
3.6.2	<i>Análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica</i>	29
3.6.2.1	<i>Método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989)</i>	18
3.6.2.2	<i>Método AMMI</i>	19
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4.1	Análises de variância	32
4.2	Análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica.....	38
4.2.1	<i>Método de regressão bissegmentada</i>	38
4.2.2	<i>Método AMMI</i>	44
4.2.3	<i>Comparação dos resultados entre os métodos</i>	48
5	CONCLUSÕES	49
	REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) no Brasil, destinada ao setor sucroalcooleiro energético, superou a área de 8,5 milhões de hectares em produção na safra 2012/13, um aumento de 2,1% em relação à safra passada. A moagem ultrapassou os 596 milhões de toneladas, com uma produtividade média de 70 toneladas de colmos por hectare (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB, 2012). O Brasil é o maior produtor mundial da cultura, que domina alta tecnologia na produção e processamento e praticamente todos os estados brasileiros produzem cana-de-açúcar (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO – BRASIL, 2009). O Estado de São Paulo é o maior produtor, representando mais de 51% da produção do País. A principal destinação da cana-de-açúcar cultivada no Brasil é a fabricação de açúcar e etanol, onde na média, 51% da matéria-prima é transformada em etanol (CONAB, 2012).

O número de cultivares disponíveis de uma dada espécie no País pode ser considerado como uma das importantes medidas do avanço de sua agricultura (VENCOVSKY, 1986). No Brasil, o melhoramento da cana-de-açúcar resultou na produção de diversas cultivares e contribuiu com um aumento médio de 30% de produtividade, sendo um dos grandes responsáveis pelo acentuado progresso do setor sucroenergético nos últimos 30 anos (HOFFMANN; FANCELLI; MATSUOKA, 1999).

A obtenção de novas cultivares de cana-de-açúcar é um processo longo, que pode chegar a mais de 15 anos. Os trabalhos iniciam-se pela escolha dos genitores no banco de germoplasma, hibridação dos genótipos de interesse e estudos, passando por fases de testes em campo, até a experimentação que irá definir um possível clone a ser liberado comercialmente.

A interação de genótipos com ambientes (GxA), definida como a resposta diferencial dos genótipos à variação do ambiente, dificulta a seleção de genótipos amplamente adaptados. Além disso, essa interação pode inflacionar as estimativas de variância genética, resultando em superestimativas dos ganhos genéticos. A condução dos experimentos em maior número possível de locais é necessária para diminuir o efeito da interação GxA, permitindo avaliar a magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e a recomendação de genótipos.

Estudos detalhados de adaptabilidade e estabilidade, para caracteres de importância econômica, são necessários e permitem a recomendação de novos

genótipos com maior segurança. Com o objetivo de interpretar melhor a interação GxA, vários métodos estatísticos têm sido propostos e utilizados. Estes estudos são importantes para o melhoramento de plantas, uma vez que fornecem informações sobre o comportamento de cada genótipo perante as variações do ambiente (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

O Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), integrante da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA), é responsável pelo desenvolvimento das cultivares RB (República do Brasil) nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. Segundo censo da última safra, a adoção das cultivares RB está próxima de 58% da área cultivada, em quase 3 milhões de hectares levantados (CHAPOLA et al., 2011).

No PMGCA/UFSCar os clones são avaliados em diferentes cortes e ambientes, antes da seleção final para recomendação e multiplicação na exploração comercial. Apesar da grande importância dos resultados experimentais, que definem os clones superiores às testemunhas comerciais nas variáveis desejadas, eles são insuficientes para fornecer detalhes sobre o comportamento de cada genótipo diante os diferentes ambientes. Pelos estudos de adaptabilidade e estabilidade obtêm-se informações de cada genótipo perante a variação ambiental, quanto ao seu bom comportamento na maioria dos ambientes (adaptabilidade geral), em relação à alta tecnologia (adaptabilidade para ambientes favoráveis) e para baixa tecnologia (adaptabilidade para ambientes desfavoráveis), além das informações de estabilidade que estão associadas à previsibilidade de comportamento. Espera-se que este trabalho auxilie nessa seleção e direcionamento de clones para exploração comercial.

Diante da diversidade de modelos para estudo da interação GxA e da importância desse fenômeno para a cultura, neste trabalho foram utilizados os métodos de regressão bissegmentada, proposto por Cruz et al. (1989), e o AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*), adaptado por Zobel et al. (1988) ao melhoramento de plantas, com o objetivo de identificar clones RB de cana-de-açúcar produtivos, com boa estabilidade e adaptabilidade no Estado de São Paulo e locais mais representativos para seleção e experimentação no conjunto dos ambientes estudados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 O melhoramento genético da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar pertence à família Gramineae (Poaceae) tribo Andropogoneae, gênero *Saccharum*. Dentro do gênero *Saccharum*, são encontradas as espécies: *S. officinarum* L. ($2n = 80$); *S. robustum* Brandes e Jeswiet ex Grassl ($2n = 60-205$); *S. barberi* Jeswiet ($2n = 81-124$); *S. sinense* Roxb. ($2n = 111-120$); *S. spontaneum* L. ($2n = 40-128$); e *S. edule* Hassk. ($2n = 60-80$) (DANIELS; ROACH; 1987).

Segundo Roach (1989), é possível dividir historicamente o melhoramento genético da cana-de-açúcar em três fases. A primeira fase compreendeu o cruzamento e seleção de clones de *S. officinarum*, conhecidas como “canas nobres” por oferecerem excelentes qualidades industriais, como alto teor de sacarose e baixo teor de fibra. Porém, apresenta outras características indesejáveis, como menor vigor, baixa capacidade de rebrota, além de alta suscetibilidade às pragas e doenças. Em uma segunda fase ocorreu o desenvolvimento de híbridos interespecíficos entre *S. officinarum* e outras espécies, principalmente *S. spontaneum*, seguidas de sucessivos retrocruzamentos dos híbridos interespecíficos com *S. officinarum*, para recuperação do teor de sacarose existente no genitor recorrente, num processo denominado nobilização (DANIELS; ROACH, 1987). Essa fase representou o grande salto no melhoramento genético da cana-de-açúcar, proporcionando ao setor sucroalcooleiro um novo desempenho em matéria-prima, refletida em cultivares altamente produtivas, com boa capacidade de perfilhamento, diâmetro dos colmos adequado, maior resistência às pragas e doenças, além de capacidade de rebrota após vários cortes (GRIVET et al., 2004). Na terceira fase ocorreu a exploração dos híbridos desenvolvidos na segunda fase como genitores. No entanto, devido ao sucesso obtido na segunda fase, refletido pelos ganhos nas progênies de seleção recorrente, poucos esforços foram feitos para utilizar outros acessos de *S. spontaneum* e *S. officinarum*, ou outros clones existentes dentro do “Complexo *Saccharum*”, formado por um grupo de intercruzamento muito próximo, constituído pelas espécies *Erianthus*, *Sclerostachya*, *Narenga* e *Miscanthus* (MATSUOKA et al., 2005).

Segundo Landell e Bressiani (2008), as cultivares comerciais atuais estão alicerçadas em poucos genitores ancestrais, os quais foram extensivamente

intercruzados, produzindo centenas de cultivares, determinando uma base genética estreita para a cultura. Como consequência, os ganhos obtidos no melhoramento têm sido cada vez menores, sendo que aqueles decorrentes da interação genótipo com ambiente, têm se tornado mais expressivos do que os ganhos genéticos propriamente ditos. Estima-se que nos cruzamentos iniciais foram utilizados apenas 13 clones, dos quais oito *S. officinarum*, dois *S. spontaneum*, um provável híbrido natural entre *S. spontaneum* e *S. officinarum* e dois clones de *S. sinense*.

No Brasil, as primeiras estações experimentais de melhoramento de cana-de-açúcar foram: a Estação Experimental de Escada, em Pernambuco em 1913; a Estação Experimental de Campos, no Rio de Janeiro, entre 1916 e 1972; a Estação Geral de Experimentação de Barreiros, na Bahia, entre 1924 e 1933; a Estação de Curado, em Recife, Pernambuco, fundada em 1933; o Instituto Agrônomo do Nordeste (Iane) fundado em 1951, que prosseguiu os trabalhos iniciados em Curado; o Instituto Agrônomo de Campinas, em São Paulo, iniciado em 1935 e ativo até os dias atuais, com as cultivares IAC; e a Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (Copersucar), iniciado em 1968. Em 1971 foi criado o Plano Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar (Planalsucar), extinto em 1990 (CESNIK; MIOCQUE, 2004).

Atualmente, os programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar no Brasil são: o programa do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), no Centro de Cana; o Centro de Tecnologia Canavieira (CTC), que herdou os trabalhos da Copersucar; as Universidades Federais que compõem a Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), que receberam todo o acervo técnico do Planalsucar; e o programa mais recente, Canavialis, empresa privada da multinacional Monsanto.

A RIDESA foi criada com a finalidade de incorporar as atividades e dar continuidade ao desenvolvimento de pesquisas com o melhoramento genético da cana-de-açúcar do Planalsucar. Com o apoio do setor sucroalcooleiro energético, por meio de convênios, a rede começou a desempenhar suas funções em 1991, aproveitando a capacitação dos pesquisadores e as bases regionais do extinto Planalsucar, aos quais se juntaram professores das universidades (RIDESA, 2011). Inicialmente participaram a UFSCar, UFV, UFRRJ, UFS, UFAL, UFRPE e UFPR e, posteriormente, foram incorporadas a UFG, UFMT e UFPI, desenvolvendo atividades de melhoramento

genético, manejo da cultura, fitossanidade, solos e adubação, industrialização e as especificidades de cada uma destas áreas (BARBOSA; SILVEIRA, 2010).

2.2 Cultivares comerciais de cana-de-açúcar

A cultivar tem assumido papel importante para o sucesso na produção de açúcar, etanol e energia elétrica, sendo considerada a tecnologia de menor custo para o produtor (BARBOSA; SILVEIRA, 2012). Chapola et al. (2011), verificaram a participação das cultivares de cana-de-açúcar na safra 2010/2011, por um censo que contou com a colaboração de 120 unidades produtoras de açúcar e etanol, além das associações e cooperativas de fornecedores, totalizando uma área de quase 3 milhões de hectares com a cultura, nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul (Tabela 1).

Tabela 1 - Participação das 10 principais cultivares de cana-de-açúcar nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul em área total na safra 2010/2011.

Cultivares	Total	
	Área (ha)	%
1 RB867515	633934	22,0
2 SP81-3250	389974	13,5
3 RB855453	247169	8,6
4 SP83-2847	170360	5,9
5 RB72454	133514	4,6
6 RB855156	121227	4,2
7 RB855536	100979	3,5
8 RB835486	95225	3,3
9 SP80-3280	71562	2,5
10 SP80-1842	68249	2,4
Outras	850664	29,5
Total	2882857	100,0

Fonte: Chapola et al. (2011).

As duas primeiras cultivares, RB867515 e SP81-3250, apresentam uma participação bastante expressiva, com mais de 35% da área, em função, principalmente, de suas boas performances agrícolas e industriais, mostrando a importância atual destes materiais para o setor. Devido a esta importância, são cultivares muito utilizadas como testemunhas nos experimentos de competição de cana-de-açúcar nos programas de melhoramento.

2.3 Interação genótipo com ambiente

O caráter de um indivíduo é o conjunto de informações biológicas que o identifica e as diferentes manifestações de um dado caráter definem o fenótipo. O fenótipo por sua vez, é influenciado pelo genótipo, que é a constituição genética de um indivíduo, e pelo ambiente que pode ser definido como o conjunto das condições que afetam o crescimento e desenvolvimento do organismo (CRUZ; CARNEIRO, 2006).

Segundo Chaves (2001), a interação de genótipos com ambientes (GxA) pode ser definida como o efeito dos ambientes sobre os genótipos, que resulta na resposta diferencial dos genótipos à variação ambiental, alterando os valores fenotípicos.

Estas respostas podem ser classificadas em fatores previsíveis e imprevisíveis. Nas variações previsíveis estão incluídas todas as características ambientais locais, como tipo de solo, fertilidade do solo, comprimento do dia e, ainda, os aspectos determinados pela ação antrópica, como período de plantio, densidade de plantio, níveis de adubação, métodos de preparo do solo, colheita e outras práticas agronômicas. As variações imprevisíveis constituem em flutuações do clima, como a quantidade e distribuição de chuvas, umidade relativa do ar, variações de temperatura atmosférica e do solo, entre outros (BORÉM; MIRANDA, 2005).

A interação GxA é um fenômeno natural que faz parte da evolução das espécies, promovendo o aparecimento de genótipos estáveis, adaptados a um ambiente específico, ou de comportamento amplo, adaptado a várias condições de ambiente (LAVORANTI, 2003).

No processo de domesticação das espécies cultivadas ocorreu um aceleração nas mudanças evolutivas, onde as espécies foram distribuídas por uma área geográfica fora dos seus centros de origem, além da seleção artificial provocada pelo homem. Portanto, a enorme diversidade encontrada na maioria das espécies de interesse

agronômico deriva deste processo de adaptação diferencial às condições específicas de ambiente (CHAVES, 2001).

A interação GxA representa um dos desafios para os programas de melhoramento genético de qualquer espécie, seja na fase de seleção ou na recomendação de cultivares, exigindo experimentação em muitos ambientes. Entre as alternativas está a escolha de cultivares com ampla adaptação e boa estabilidade (BORÉM; MIRANDA, 2005; CRUZ; REGAZZI, 2001), pois nem sempre é possível recomendar cultivares específicas para ambientes específicos.

Nos trabalhos dos programas de melhoramento, as fases iniciais podem apresentar uma interação que eleva as estimativas de variância genética, resultando em superestimativas dos ganhos genéticos esperados. Nas fases finais, os experimentos são distribuídos em diferentes condições ambientais, como locais, anos agrícolas, épocas de plantio e colheita, diminuindo o efeito da interação GxA (CHAVES, 2001). Na maioria das vezes, a presença da interação faz com que os melhores genótipos num local não o sejam em outros, dificultando a recomendação de novas cultivares para todos os ambientes avaliados. Por outro lado, interações positivas associadas com características previsíveis do ambiente proporcionam produtividades mais elevadas (DUARTE; VENKOVSKY, 1999).

Segundo Borém e Miranda (2005), essas interações podem ser interpretadas como uma indicação de que existem genótipos adaptados especificamente à determinados ambientes e outros que sejam menos influenciados pelas variações ambientais, podendo ser explorados em vários outros ambientes. Essa última apresenta, como inconveniente, o fato de estar normalmente associada a uma baixa produtividade o que impede a recomendação dessas cultivares de maneira generalizada, acarretando maiores dificuldades, e exigindo a adoção de medidas que controlem ou minimizem os efeitos dessa interação.

A presença da interação significativa pode ser devida a outros fatores e não necessariamente à diferença na adaptabilidade dos materiais. Nesse contexto, menciona-se, entre esses fatores, a falta de ajuste do conjunto de dados ao modelo estatístico adotado (CHAVES et al., 1989).

Anualmente, instituições públicas e privadas têm desenvolvido e recomendado cultivares de cana-de-açúcar que associam boa adaptação e atributos agrônômicos desejáveis (LANDELL; BRESSIANI, 2008). Com isso, na tentativa de minimizar os efeitos indesejáveis da interação GxA, é desejável que as avaliações ocorram em

maior número possível de locais para se tentar identificar os materiais que apresentam comportamento produtivo mais estável frente às oscilações ambientais (OLIVEIRA, 2004).

2.4 Adaptabilidade e estabilidade

O desempenho de uma nova cultivar em diversos ambientes necessita ser caracterizado pela quantificação da interação GxA (DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Segundo Cruz e Carneiro (2006), essa interação pode ser quantificada em função da instabilidade da expressão genotípica dos alelos homozigotos e heterozigotos. Um volume de informações pode ser sintetizado com estudos da estabilidade fenotípica de uma nova cultivar, permitindo conhecer melhor sua capacidade produtiva e adaptação frente às variações ambientais (RAIZER; VENCOVSKY, 1999).

Segundo Borém e Miranda (2005), a estabilidade refere-se à capacidade de uma cultivar de apresentar um comportamento altamente previsível, mesmo em condições de variações ambientais. A estabilidade pode ser estática ou dinâmica. A estabilidade estática, também denominada de estabilidade biológica, é definida quando uma cultivar apresenta um comportamento constante, independentemente das variações ambientais, não apresentando qualquer desvio em relação ao seu potencial. Este tipo de estabilidade é mais desejável para caracteres como resistência a doenças, indeiscência de vagens e resistência ao acamamento. Em cana-de-açúcar, os caracteres menos influenciados pelo ambiente são qualitativos, como o teor de sacarose e a coloração dos colmos (LANDELL; BRESSIANI, 2008). A estabilidade dinâmica, também denominada por alguns autores como estabilidade agrônômica, está associada aos caracteres quantitativos, quando uma cultivar responde à variação do ambiente de forma previsível, onde somente os desvios relacionados com a reação geral do genótipo contribuem para a instabilidade. Devidamente estimada, esta estabilidade constitui-se em uma importante ferramenta para o manejo das cultivares em cana-de-açúcar (BORÉM; MIRANDA, 2005; LANDELL; BRESSIANI, 2008).

Os experimentos com cana-de-açúcar têm sido conduzidos em diversos ambientes, normalmente em áreas de usinas de açúcar e etanol, parceiras dos trabalhos do PMGCA/UFSCar, que permitem o estudo da adaptabilidade e estabilidade fenotípica dos genótipos. Nestes experimentos, sempre estão presentes cultivares

comerciais (testemunhas), que servem como referência para a seleção de novos clones.

Em estudo com repetibilidade de caracteres agroindustriais em cana-de-açúcar, foi encontrada regularidade para a variável toneladas de colmos por hectare (TCH) entre as repetições, podendo-se, então, esperar que ela tenha um bom controle genético (SANTOS et al., 2004), sendo interessante para estudos de adaptabilidade e estabilidade.

São diversas as metodologias utilizadas para se avaliar a performance genotípica e a condução de tais análises. Dentre as citadas pela literatura encontram-se as análises de variância, regressão linear, regressão não-linear, análises multivariadas e modelos não-paramétricos (CRUZ; CARNEIRO, 2006). A escolha do método deve levar em consideração o tipo de dado experimental, o número de ambientes envolvidos na avaliação, a precisão requerida e o tipo de informação desejada (CRUZ et al., 2004).

Para estudos de adaptabilidade e estabilidade é desejável o uso de métodos de fácil interpretação, além de complementares, como o de regressão bissegmentada (CRUZ et al., 1989) e o AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*) (ZOBEL et al., 1988).

2.4.1 Método de regressão bissegmentada

Diversos autores desenvolveram conceitos e índices com modelos de regressão, sugerindo métodos para estimar a estabilidade fenotípica em plantas. Os que melhor avaliam esse fenômeno são aqueles baseados na regressão da produtividade de cada genótipo em função de um índice para cada ambiente, calculado pela diferença entre a média do ambiente, considerando todos os genótipos, e a média geral de todos os genótipos em todos os ambientes. Portanto os parâmetros básicos para medir a adaptabilidade e estabilidade de um genótipo são, respectivamente, o coeficiente de regressão e os desvios dessa regressão (EBERHART; RUSSEL, 1966; FINLAY; WILKINSON, 1963).

Segundo Cruz e Regazzi (2001) os métodos propostos por Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966) são semelhantes em relação à análise e parâmetros estimados, que se baseiam em análises de regressão linear simples, medindo a resposta de cada genótipo às variações ambientais, diferindo em alguns conceitos de

adaptabilidade e estabilidade adotados. Essas metodologias utilizam um índice ambiental quantificado pelo desempenho dos próprios genótipos estudados. A metodologia proposta por Verma et al. (1978) é uma modificação dos métodos anteriores, que baseia-se no princípio de que um genótipo ideal seria aquele com alta capacidade produtiva, alta estabilidade, pouco sensível às condições adversas dos ambientes, mas capaz de responder satisfatoriamente à melhoria do ambiente. O método consiste em avaliar a resposta do genótipo por regressões lineares em dois subgrupos, que representariam os ambientes favoráveis e desfavoráveis, de acordo com desvio em relação à média geral dos locais. Quando os subgrupos apresentam um número reduzido de ambientes, o método pode se tornar impraticável ou proporcionar testes estatísticos questionáveis (CRUZ; REGAZZI, 2001).

Silva e Barreto (1985) propuseram uma análise alternativa, em que os parâmetros de estabilidade e adaptabilidade seriam estimados pelo ajuste de uma única equação, representada por uma reta bissegmentada, sendo os genótipos avaliados separadamente em ambientes desfavoráveis e favoráveis. Cruz et al. (1989) propuseram uma extensão deste método, adequando aos propósitos do melhoramento. Na regressão bissegmentada o genótipo ideal deve apresentar alta produtividade, coeficiente de regressão menor do que 1 nos ambientes desfavoráveis e maior do que 1 nos ambientes favoráveis, além de desvios de regressão não significativos (BORÉM; MIRANDA, 2005). Segundo Vencovsky e Barriga (1992), quando os estudos envolvem um número elevado de ambientes, deve-se preferir a utilização dos modelos bissegmentados em relação aos modelos lineares simples.

O modelo sofre algumas críticas devido à ausência de independência da variável explanatória, onde o índice ambiental é obtido a partir dos próprios dados. Segundo Duarte e Vencovsky (1999), isso não parece relevante quando o número de genótipos é elevado. Para estes autores, o fato de maior destaque é que, para se ajustar regressões individuais dos genótipos às variações ambientais, o desdobramento tradicionalmente feito não toma apenas a variação devida à interação GxA, mas aquela decorrente das fontes de variação: ambientes + interação GxA (efeitos ambientais dentro de genótipos). Esse procedimento auxilia no processo de recomendação de cultivares, pois fornece uma descrição do padrão médio de resposta de cada genótipo frente à melhoria da qualidade ambiental. No entanto, não há uma identificação e um detalhamento das relações importantes nas verdadeiras causas da interação GxA (CHAVES, 2001).

A metodologia de análise de adaptabilidade e estabilidade proposta por Cruz et al. (1989), tem sido empregada em culturas como a soja (ANSELMO, 2008; PRADO et al., 2001), milho (ALVES et al., 2006; MONTEIRO et al., 2000; VENDRUSCOLO et al., 2001), algodão (CARVALHO et al., 2000), feijão (CARBONELL et al., 2001; DUARTE; ZIMERMANN, 1994) e aveia (LORENCETTI et al., 2002). Com a cultura da cana-de-açúcar, poucos trabalhos utilizaram este método, como os de Braga Júnior (1994), Calheiros e Barbosa (1996), Raizer e Vencovsky (1999) e Rosse et al. (2002).

2.4.2 Método AMMI (*Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis*)

O método de análise AMMI (ZOBEL et al., 1988), que significa modelo de efeitos principais aditivos e interação multiplicativa, combina técnicas estatísticas, como a análise de variância e a análise de componentes principais, em um único modelo, permitindo ajustar, respectivamente, os efeitos principais (genótipos e ambientes) e os efeitos da interação GxA (DUARTE; VENCOVSKY, 1999). Nesta análise podem ser identificados genótipos de alta produtividade e amplamente adaptados, no chamado zoneamento agrônômico, permitindo a recomendação de cultivares com características regionais e de seleções de locais de teste (GAUCH; ZOBEL, 1996). Zobel et al. (1988) citam que este método permite uma análise mais detalhada da interação GxA, além de garantir a seleção de genótipos, capitalizando suas interações positivas com os ambientes e propiciando estimativas mais precisas das respostas genotípicas.

Nesta metodologia são formadas as escores de componentes principais de interação para cada genótipo, chamada de IPCA (*Interaction Principal Component Analysis*), que refletem a sua contribuição para a interação GxA. Os genótipos, assim como os ambientes, com menores escores, próximos do valor zero, em valor absoluto, são considerados os mais estáveis (SILVA; DUARTE, 2006).

Oliveira et al. (2003) evidenciam que o detalhamento da interação GxA é feito via decomposição da soma dos quadrados originais (SQ_{GxA}), em uma porção denominada padrão e noutra chamada ruído. A primeira possibilita a identificação de fatores ambientais e genotípicos mais diretamente relacionados à interação, sendo obtida após o descarte de ruídos adicionais ao erro experimental. A análise AMMI não tem objetivo de recuperar toda a SQ_{GxA} , mas somente a porção devida aos efeitos da interação GxA, enquanto descarta variações indesejadas (ruídos) (DUARTE; VENCOVSKY,

1999), proporcionando uma melhoria na capacidade preditiva das respostas genotípicas.

Outra vantagem é a representação gráfica simultânea dos genótipos e ambientes, nos chamados biplots, facilitando a interpretação dos resultados. Escores de genótipos e ambientes podem ser plotados no mesmo gráfico e usado para identificar, visualmente, a estabilidade de genótipos e ambientes, além de adaptabilidade específica. Os gráficos biplots de componentes principais mantidos na análise do modelo AMMI e gráficos dos escores de eixos de IPCA contra a produtividade média é uma característica importante deste método (FERREIRA et al., 2006).

Em diversos trabalhos com diferentes espécies, a análise AMMI permitiu identificar genótipos mais estáveis e produtivos, com informações complementares (MAIA et al., 2006; ROCHA et al., 2007; CUCOLOTTI et al., 2007; MELO et al., 2007); estimar a adaptabilidade e estabilidade fenotípicas dos genótipos quanto às épocas de semeadura mais produtivas e adequadas (MORAIS et al., 2003); identificar locais mais contrastantes com interação GxA e realizar um zoneamento agrônômico (PACHECO et al., 2003; YAN et al., 2007); ou, ainda, agrupar os genótipos em um único ambiente (MIRANDA et al., 2009; SAMONTE et al., 2005).

A análise AMMI vem sendo aplicada em diversas culturas, como milho (MIRANDA et al., 2009), soja (OLIVEIRA et al., 2003; VICENTE et al., 2004), mandioca (KVITSCHAL et al., 2006), feijão (GONÇALVES et al., 2009; ROCHA, et al., 2007), arroz irrigado (MORAIS et al., 2008) e recentemente em cana-de-açúcar (GUERRA et al., 2009; SILVEIRA, 2011; VERISSIMO et al., 2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Época de plantio e colheita

Os 10 experimentos de competição de clones RB (República do Brasil) foram instalados em 2006, em áreas cedidas por 10 usinas produtoras de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e conduzidos pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar (PMGCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), vinculado a Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA). Foram utilizados resultados de cana-soca (segundo corte) dos experimentos colhidos em agosto de 2008.

3.2 Clones avaliados e descrição das testemunhas

Na Tabela 2, estão apresentados os 10 clones de cana-de-açúcar avaliados, seus respectivos genitores, algumas características agrônômicas e a reação à quatro doenças importantes. São provenientes de hibridação ocorrida no ano de 1997 (série RB97), com características de maturação de média-tardia. Foram utilizadas como testemunhas as cultivares RB867515 (C11) e SP81-3250 (C12).

A RB867515 é uma cultivar obtida pela Universidade Federal de Viçosa e tem como genitor feminino a RB72454 em um cruzamento multiparental, onde não se conhece o genitor masculino. Nas áreas comerciais, apresenta alta produção agrícola, elevado teor de sacarose e fibra média. A maturação é média-tardia e tem como principal característica a baixa exigência em ambiente (DAROS et al., 2010; MACEDO et al., 2010). Também é tolerante às principais doenças, porém suscetível à Estria Vermelha (*Acidovorax avenae* subsp. *avenae*) em anos que as condições climáticas são muito favoráveis.

A SP81-3250 é uma cultivar obtida pelo programa de melhoramento da Copersucar, possuindo como genitor feminino a CP70-1547 e masculino a SP71-1279. Apresenta boa produtividade agrícola, em cana-planta e cana-soca, alto teor de sacarose, maturação média e teor de fibra alto (COPERSUCAR, 1995). Apesar de ser liberada inicialmente como uma cultivar de baixa exigência, com capacidade de adaptar-se a diferentes solos e climas, atualmente é considerada um material exigente,

com alta responsividade (FRAVET et al, 2010; MACEDO et al., 2010; MARIN, 2012), devendo ser alocadas nos melhores ambientes.

Tabela 2 - Relação dos 10 clones de cana-de-açúcar avaliados, seus respectivos genitores, caracterização agronômica e reação à quatro doenças importantes para a cultura, de acordo com as observações e resultados do PMGCA/UFSCar/RIDESA (sujeito a alterações).

Clones	Genitor feminino	Genitor masculino	Exigência em ambientes	Florescimento	Chochamento	Doenças				
						Carvão	Ferrugem marrom	Ferrugem alaranjada	Escalda-dura	Mosaico
RB975033	RB855206	SP80-185	Média/Baixa	Frequente	Pouco	T	R	R	R	T
RB975039	F147	?	Média	Ausente	Pouco	I	R	T	R	T
RB975086	RB855206	SP80-185	Média	Frequente	Presente	T	R	S	R	T
RB975157	RB855563	RB735200	Média	Ausente	Pouco	R	T	R	R	R
RB975162	RB835486	?	Alta/Média	Frequente	Presente	R	R	R	R	R
RB975184	RB72454	SP79-1011	Média/Baixa	Raro	Pouco	I	R	R	R	R
RB975201	RB855113	?	Média/Baixa	Ausente	Ausente	R	R	R	R	R
RB975242	F147	?	Média/Baixa	Ausente	Ausente	R	R	R	R	R
RB975270	RB855536	RB855035	Alta	Ausente	Pouco	R	R	R	R	R
RB975932	SP80-185	RB855206	Média	Frequente	Pouco	R	R	R	R	R
RB867515**	RB72454	?	Média/Baixa	Frequente	Pouco	R	R	R	R	R
SP81-3250**	CP70-1547	SP71-1279	Alta/Média	Frequente	Pouco	R	R	I	R	R

* Cruzamento multiparental onde não se conhece o genitor masculino

** Testemunhas (cultivares padrão)

R: Resistente; T: Tolerante; I: Intermidiária; S: Suscetível

Fonte: Elaboração do autor.

3.3 Descrição dos locais

Na Tabela 3 estão apresentados os 10 locais no Estado de São Paulo onde foram instalados os experimentos, com a descrição das Usinas parceiras e seus municípios, além das coordenadas geográficas (latitude e longitude) e da altitude. Na Figura 1 é possível verificar a distribuição espacial dos municípios onde foram conduzidos os experimentos.

Tabela 3 – Localização e identificação dos ambientes, Usinas parceiras e dados geográficos dos experimentos de competição de clones de cana-de-açúcar série RB97.

Ambientes	Municípios (SP)	Usinas	Latitude	Longitude	Altitude (m)
A1	Tarumã	Nova América	22°44'48" S	50°34'38" W	509
A2	Nova Europa	Santa Fé	21°47'42" S	48°33'39" W	490
A3	Pradópolis	São Martinho	21°21'34" S	48°03'56" W	538
A4	Guariba	Bonfim	21°21'36" S	48°13'42" W	618
A5	Olímpia	Cruz Alta	20°44'14" S	48°54'53" W	506
A6	Catanduva	Cerradinho	21°08'16" S	48°58'22" W	503
A7	Iracemápolis	Iracema	22°34'50" S	47°31'07" W	608
A8	Guaíra	Colorado	20°19'06" S	48°18'38" W	517
A9	Cosmópolis	Ester	22°38'45" S	47°11'46" W	652
A10	Piracicaba	Costa Pinto	22°43'30" S	47°38'56" W	528

Fonte: Elaboração do próprio autor.

Figura 1 - Distribuição dos locais (municípios) onde foram conduzidos os experimentos no Estado de São Paulo.



Fonte: Elaboração do próprio autor.

3.4 Delineamento experimental

O delineamento em todos os experimentos foi em blocos ao acaso com três repetições, com parcelas constituídas de cinco linhas de 10 m, com espaçamento de 1,5 m entre linhas, totalizando uma área de 75 m² para cada parcela, totalmente utilizável.

3.5 Caracteres mensurados

Os caracteres avaliados foram:

a) Produtividade em toneladas de colmos por hectare (TCH), obtida a partir da massa da parcela em quilogramas (kg m⁻²). Para isso, foi realizada a pesagem total das parcelas, onde foram descartados os ponteiros dos colmos. Posteriormente, os valores foram convertidos para toneladas por hectare;

b) Pol % Cana (PC), realizado nos laboratórios das Usinas, que corresponde à porcentagem de sacarose aparente no caldo da cana-de-açúcar (CONSECANA, 2006);

c) Produtividade em toneladas de pol por hectare (TPH), resultado do produto de TCH e PC ($TPH = \frac{TCH \times PC}{100}$).

3.6 Análises realizadas

3.6.1 Análises de variância

Inicialmente, foram realizadas as análises de variância individual para cada um dos 10 ambientes, considerando todos os clones e os caracteres avaliados. Com estas análises foi possível verificar a variabilidade genética entre os tratamentos (clones), testar a homogeneidade das variâncias pelas estimativas dos erros experimentais, além da precisão dos experimentos (RAMALHO et al., 2012). Para esta análise, considerou-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + G_i + B_j + \varepsilon_{ij}, \text{ em que:}$$

- Y_{ij} : valor observado do i-ésimo genótipo no j-ésimo bloco;
- μ : média geral do experimento;
- G_i : efeito do i-ésimo genótipo;
- B_j : efeito do j-ésimo bloco;
- ε_{ij} : erro aleatório associado à observação Y_{ij} .

Após a realização das análises de variâncias individuais, foi realizada a análise conjunta, considerando o valor menor que sete para a razão entre o maior e menor quadrado médio residual como indicativo de homogeneidade dos erros experimentais (PIMENTEL-GOMES; GARCIA, 2002).

Na análise de variância conjunta considerou-se os efeitos de clones, ambientes e da interação GxA como fixos, segundo o modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + (B/A)_{jk} + G_i + A_j + GA_{ij} + \varepsilon_{ijk}, \text{ em que:}$$

- Y_{ijk} : valor observado do k-ésimo bloco do i-ésimo genótipo no j-ésimo ambiente;
- μ : média geral;
- $(B/A)_{jk}$: efeito do k-ésimo bloco dentro do j-ésimo ambiente;
- G_i : efeito do i-ésimo genótipo;
- A_j : efeito do j-ésimo ambiente;
- GA_{ij} : efeito da interação do i-ésimo genótipo com o j-ésimo ambiente;

- ε_{ijk} : erro aleatório associado à observação Y_{ijk} .

O efeito significativo da interação GxA pelo teste F na análise de variância conjunta evidenciou o comportamento diferenciado dos clones diante da variação ambiental. Com isso foi possível realizar as análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica.

3.6.2 Análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica

3.6.2.1. Método proposto por Cruz, Torres e Vencovsky (1989)

Para a análise de adaptabilidade e estabilidade pela regressão bissegmentada (CRUZ et al., 1989) foi utilizado o programa GENES (CRUZ, 1997), adotando-se o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = b_{0i} + b_{1i} I_j + b_{2i} T(I_j) + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ em que:}$$

- Y_{ij} : média do clone i ($i=1, 2, \dots, c$) no ambiente j ($j=1, 2, \dots, a$);
- b_{0i} : média geral do clone i para todos os ambientes;
- b_{1i} : coeficiente de regressão linear associado aos ambientes desfavoráveis;
- $b_{1i} + b_{2i}$: coeficiente de regressão linear associado aos ambientes favoráveis;
- $I_j = \frac{Y_{.j}}{c} - \frac{Y_{..}}{ac}$: índice ambiental, sendo c o número de clones e a o número de ambientes;
- δ_{ij} : desvio da regressão linear;
- ε_{ij} : erro médio associado à média.

A utilização dos índices I_j para se realizar a regressão, utilizado inicialmente por Finlay e Wilkinson (1963), foi estendida para outros métodos por serem indicativos mais coerentes da qualidade dos ambientes avaliados. Valores negativos de I_j identificam os ambientes desfavoráveis, normalmente associados a regiões de condições edafoclimáticas desfavoráveis para a cultura ou áreas de emprego de baixa tecnologia de produção, em razão do uso de quantidade e qualidade de insumos e/ou equipamentos agrícolas insuficientes. Valores positivos de I_j identificam os ambientes favoráveis, considerados como sendo regiões com condições edafoclimáticas aptas à cultura, associado à utilização de alta tecnologia de produção agrícola.

Cruz et al. (2004) classificaram como genótipo ideal aquele que apresenta alta produtividade (alto b_0), seja pouco responsivo em ambientes desfavoráveis ($b_1 < 1$),

responsivo em ambientes favoráveis ($b_1+b_2>1$) e seja estável. O parâmetro de estabilidade é o quadrado médio dos desvios da regressão, onde os valores próximos de zero indicam genótipos estáveis (previsíveis) e, sendo significativamente diferente de zero, indicam genótipos não estáveis (não previsíveis). O coeficiente de determinação (R^2) pode ser utilizado como medida auxiliar na definição da estabilidade dos genótipos.

3.6.2.2 Método AMMI

A análise AMMI (ZOBEL et al.,1988) combina em um único modelo, componentes aditivos para os efeitos principais de genótipos (g_i) e de ambientes (a_j), e componentes multiplicativos para os efeitos da interação (ga_{ij}) (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

No modelo proposto, além dos termos convencionais de um modelo de análise conjunta de variância, como média geral, efeito de genótipos, efeito de ambientes e erro experimental, conforme descrevem Duarte e Vencovsky (1999), os demais termos resultam da análise de componentes principais aplicadas à matriz de interações

$$GA_{(ga)} = [(\widehat{ga})_{ij}], \text{ sendo } (\widehat{ga})_{ij} = Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y}_{..}.$$

O modelo adotado foi:

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \gamma_{ik} \alpha_{jk} + \rho_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}, \text{ em que:}$$

- Y_{ij} : resposta média do genótipo i no ambiente j ;
- μ : média geral das respostas;
- g_i : efeito fixo do genótipo i ($i=1, 2, \dots, g$);
- a_j : efeito fixo do ambiente j ($j=1, 2, \dots, a$);
- λ_k : k -ésimo valor singular de GA (escalar);
- γ_{ik} : elemento correspondente ao i -ésimo genótipo no vetor singular g_k (vetor singular coluna);
- α_{jk} : elemento correspondente ao j -ésimo ambiente no vetor a_k (vetor singular linha);
- ρ_{ij} : resíduo da análise de componentes principais (ACP) presente na $SQ_{G \times A}$ (porção ruído);
- $\bar{\varepsilon}_{ij}$: erro experimental médio, assumido independentemente;

- k: índice que se refere aos eixos principais da ACP aplicada à matriz GA ($k=1, 2, \dots, p$), sendo p o posto da matriz GA, com mínimo entre $(g-1)$ e $(a-1)$;
- n: número de eixos ou componentes principais selecionados para descrever o padrão da interação G x A.

A soma de quadrados da interação GxA (SQ_{GxA}) foi dividida em n eixos singulares ou componentes principais da interação, o IPCA (*Interaction Principal Component Analysis*), que descreveram a porção padrão, cada eixo correspondendo a um modelo AMMI. A escolha do modelo que melhor descreveu a interação GxA foi feita com base no teste F de Gollob (1968), pela significância de todos os IPCA's relacionados ao quadrado médio residual dos eixos retidos no modelo.

Após a seleção do modelo AMMI, foram realizadas inferências de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pelo gráfico biplot, o qual foi obtido por combinações dos eixos IPCA's. O termo biplot se refere a um tipo de gráfico contendo duas categorias de marcadores, neste caso os genótipos e ambientes. A interpretação gráfica do biplot foi feita com base na variação devida aos efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes e do efeito multiplicativo da interação GxA. No gráfico chamado AMMI1, a abscissa representa os efeitos principais (a média geral do caráter em estudo) e nas ordenadas, o primeiro eixo de interação (IPCA1). Nesse caso, quanto menor o valor do IPCA1 (em valores absolutos), menor é a sua contribuição para a interação GxA, sendo mais estável o genótipo. O genótipo ideal é aquele que apresenta elevada produtividade e valores de IPCA1 próximos de zero. Por outro lado, genótipo indesejável é aquele que apresenta baixa estabilidade e baixa produtividade. No gráfico AMMI2 é acrescentado o segundo eixo da interação (IPCA2), onde são plotados os valores dos IPCA1 na abscissa e IPCA2 no eixo das ordenadas. Os genótipos e ambientes mais próximos da intersecção dos valores zero dos dois escores são considerados os mais estáveis (DUARTE; VENCOVSKY, 1999; FERREIRA et al., 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises de variância

Nas Tabelas 4, 5 e 6 são apresentadas as médias obtidas e a análise de variância individual, respectivamente, para os caracteres TCH, PC e TPH, envolvendo os 12 genótipos de cana-de-açúcar nos 10 ambientes estudados no Estado de São Paulo.

As análises das variâncias individuais permitiram observar que para o caráter PC (Tabela 5) houve significância para clones apenas em dois ambientes (Olimpia e Piracicaba), não havendo significância para a interação GxA (Tabela 7). Como TPH é produto de TCH e PC, os caracteres TCH e TPH foram altamente correlacionados, com $r=0,97$ pelo coeficiente de correlação de Pearson (Figura 2), apresentando resultados similares para todas as análises realizadas. Segundo Vencovsky e Barriga (1992), na interpretação do coeficiente de correlação linear de Pearson, deve-se considerar que, quando o coeficiente de correlação e o efeito direto forem iguais ou semelhantes, em magnitude e sinal, esta correlação direta explica a verdadeira associação existente entre as variáveis, podendo realizar inferências em apenas uma. No manejo da cultura da cana-de-açúcar é desejável que a colheita seja realizada no período de maior acúmulo de sacarose, sendo este altamente influenciado pelo genótipo. Cultivares de cana-de-açúcar podem sofrer diminuição ou aumento de sacarose em curto espaço de tempo, sem alteração na sua produtividade de colmos (DELGADO; CESAR, 1977; STUPIELLO, 1987), sendo importantes os estudos de curvas de maturação dos novos clones para melhor recomendação no manejo da colheita. Como os resultados deste trabalho são provenientes de um único período de colheita dos experimentos (mês de agosto), consideraram-se mais importante para adaptabilidade e estabilidade os resultados do caráter TCH, que serão apresentados e discutidos.

Tabela 4 – Produtividade média de colmos por ha (TCH) de 10 clones e duas testemunhas de cana-de-açúcar e análise de variância em 10 ambientes do Estado de São Paulo.

Clones	Ambientes										Média
	Tarumã	Nova Europa	Prado-polis	Gua-riba	Olimpia	Catan-Duva	Iracema-polis	Guaíra	Cosmopolis	Piracicaba	
RB975033 (C1)	97,56	122,19	110,00	118,10	90,80	145,77	131,11	129,81	100,95	105,71	115,20
RB975039 (C2)	94,47	131,29	118,80	112,38	112,80	119,99	140,56	191,97	111,43	119,52	125,32
RB975086 (C3)	107,86	114,67	96,71	97,14	82,30	177,32	119,45	118,34	112,38	111,67	113,78
RB975157 (C4)	106,31	123,53	121,74	128,57	92,70	159,08	137,78	154,33	101,43	129,29	125,47
RB975162 (C5)	108,51	133,66	103,47	105,24	94,70	168,88	115,00	162,04	96,67	123,81	121,20
RB975184 (C6)	89,17	136,24	121,38	104,29	71,47	178,21	136,11	138,20	107,14	115,95	119,82
RB975201 (C7)	110,72	127,05	122,58	122,86	104,10	172,22	170,55	180,97	99,05	115,24	132,53
RB975242 (C8)	106,79	141,33	108,94	112,38	103,30	142,66	141,11	151,44	114,28	119,29	124,15
RB975270 (C9)	86,37	92,14	95,47	111,91	105,87	179,55	103,89	155,03	95,24	111,91	113,74
RB975932 (C10)	93,63	120,62	108,76	93,81	92,83	156,44	133,89	132,63	115,24	111,43	115,93
RB867515 (C11)	123,23	130,10	118,18	122,86	88,57	171,11	118,33	157,08	123,33	126,19	127,90
SP81-3250 (C12)	90,00	119,28	84,18	105,24	63,53	191,55	116,67	147,10	119,52	116,66	115,37
Média	101,22	124,34	109,18	111,23	91,91	163,57	130,37	151,58	108,06	117,22	120,87
Q.M. Blocos	115,38	27,00	327,92	526,47	43,02	148,18	1927,23	1029,62	10,95	141,65	-
Q.M. Clones	376,87**	485,71**	453,15**	339,09	612,74**	1179,65**	906,53*	1306,72**	260,65*	139,06	-
Q.M. Resíduo	86,79	93,04	100,55	216,02	118,19	68,24	345,01	136,10	105,65	119,26	-
C.V. %	9,20	7,76	9,18	13,21	11,83	5,05	14,25	7,70	9,51	9,32	-

* e **: Significativo pelo teste F, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.

Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 5 – Valores médios de Pol % Cana (PC) de 10 clones e duas testemunhas de cana-de-açúcar e análise de variância em 10 ambientes do Estado de São Paulo.

Clones	Ambientes										Média
	Tarumã	Nova Europa	Prado-polis	Gua-riaba	Olímpia	Catan-Duva	Iracemá-polis	Guaíra	Cosmó-polis	Piracicaba	
RB975033 (C1)	13,77	14,63	15,69	16,05	15,29	15,18	15,41	14,88	14,14	14,26	14,93
RB975039 (C2)	14,03	14,70	15,98	15,36	15,25	15,25	14,51	15,48	15,30	14,57	15,04
RB975086 (C3)	13,98	14,98	16,25	15,74	15,88	15,30	15,52	14,99	14,53	15,21	15,24
RB975157 (C4)	14,19	14,23	15,17	15,43	15,04	15,41	15,45	14,68	14,33	14,89	14,88
RB975162 (C5)	13,12	14,88	15,62	14,95	14,70	15,47	15,69	15,16	14,20	14,98	14,88
RB975184 (C6)	13,71	14,97	15,83	15,42	15,91	15,30	14,62	14,85	14,66	15,43	15,07
RB975201 (C7)	13,18	15,07	15,77	15,46	15,04	15,59	14,98	15,12	14,99	14,45	14,96
RB975242 (C8)	13,46	14,76	15,26	14,70	13,42	15,43	14,97	15,38	14,92	14,48	14,68
RB975270 (C9)	13,42	14,65	15,32	15,44	13,64	15,51	14,36	14,98	14,18	14,19	14,57
RB975932 (C10)	13,44	14,56	15,30	15,62	14,18	15,38	14,98	14,97	14,54	14,83	14,78
RB867515 (C11)	13,81	14,79	15,51	15,72	15,71	15,54	15,34	14,96	14,10	14,62	15,01
SP81-3250 (C12)	13,36	14,78	15,73	15,81	15,28	15,43	15,85	15,06	16,29	15,08	15,27
Média	13,62	14,75	15,62	15,48	14,94	15,40	15,14	15,04	14,68	14,75	14,94
Q.M. Blocos	2,28	0,09	0,44	0,31	0,16	0,05	1,03	0,01	0,29	3,82	-
Q.M. Clones	0,35	0,15	0,31	0,41	2,02*	0,05	0,69	0,15	1,20*	0,45	-
Q,M, Resíduo	0,55	0,11	0,16	0,37	0,73	0,12	0,40	0,18	0,47	0,45	-
C.V. %	5,43	2,21	2,57	3,95	5,73	2,29	4,18	2,84	4,68	4,56	-

* : Significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

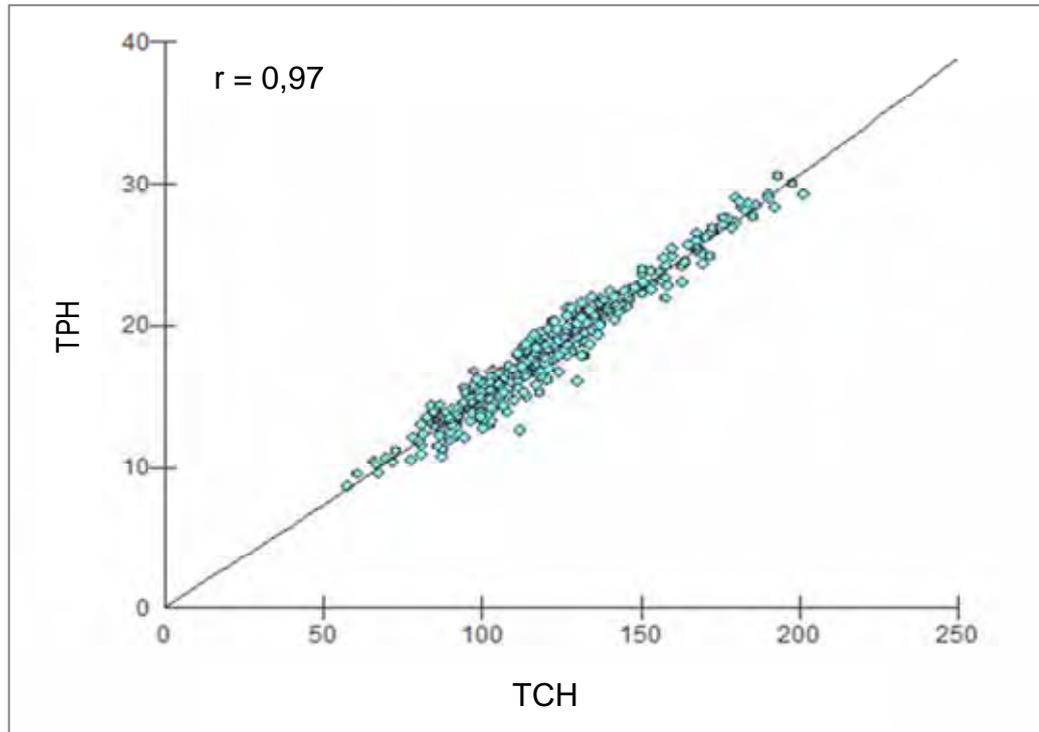
Fonte: Dados da pesquisa.

Tabela 6 – Produtividade média de Pol por ha (TPH) de 10 clones e duas testemunhas de cana-de-açúcar e análise de variância em 10 ambientes do Estado de São Paulo.

Clones	Ambientes										Média
	Tarumã	Nova Europa	Pradópolis	Gua-riaba	Olimpia	Catan-Duva	Iracemópolis	Guaíra	Cosmópolis	Piracicaba	
RB975033 (C1)	13,65	17,95	17,49	18,12	13,85	22,24	18,92	20,11	15,44	15,37	17,31
RB975039 (C2)	13,20	19,66	19,31	17,79	17,93	18,38	21,71	28,74	16,16	18,18	19,11
RB975086 (C3)	15,32	16,33	14,66	14,98	12,38	27,31	18,30	17,37	16,12	16,60	16,94
RB975157 (C4)	13,95	18,40	19,01	19,20	13,70	24,61	21,60	23,40	14,40	19,27	18,75
RB975162 (C5)	14,90	20,03	16,38	16,25	15,09	25,83	16,79	24,09	14,08	19,14	18,26
RB975184 (C6)	11,77	20,53	19,17	16,10	10,73	27,79	20,32	20,90	16,06	16,75	18,01
RB975201 (C7)	14,92	18,74	18,75	18,05	13,95	26,57	25,53	27,81	14,78	16,64	19,58
RB975242 (C8)	14,28	20,70	16,70	17,41	14,08	22,10	20,22	22,67	16,24	16,95	18,14
RB975270 (C9)	11,59	13,41	14,60	17,45	15,05	27,62	15,54	23,23	13,85	16,58	16,89
RB975932 (C10)	12,91	17,82	16,87	14,77	14,57	24,32	20,48	19,83	16,24	16,29	17,41
RB867515 (C11)	17,13	19,07	18,54	19,74	13,51	25,98	18,08	23,29	17,44	17,98	19,08
SP81-3250 (C12)	12,04	17,65	13,23	16,66	9,72	29,55	18,48	22,15	19,47	17,59	17,65
Média	13,80	18,36	17,06	17,21	13,71	25,19	19,66	22,80	15,86	17,28	18,09
Q.M. Blocos	4,08	1,05	5,07	17,57	0,40	4,72	30,01	23,59	0,14	0,62	-
Q.M. Clones	8,02**	12,25**	12,46**	7,01	13,39**	28,58**	20,54**	30,66**	7,28*	4,15	-
Q.M. Resíduo	2,08	2,39	2,91	5,98	3,55	1,79	5,94	2,62	2,47	3,23	-
C.V. %	10,45	8,42	10,00	14,21	13,75	5,31	12,39	7,10	9,92	10,40	-

* e **. Significativo pelo teste F, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade.
Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 2 - Diagrama de dispersão e respectivo coeficiente de correlação de Pearson para os caracteres tonelada de colmos por ha (TCH) e tonelada de pol por ha (TPH).



Fonte: Dados da pesquisa.

Nas análises de variâncias individuais o teste F para TCH foi significativo para clones (Tabela 4), com exceção dos ambientes Guariba e Piracicaba, indicando que não houve diferenças entre os clones nestes dois locais. Os coeficientes de variação oscilaram entre 5,0% e 14,2%, com valor médio de 9,7%, evidenciando boa precisão dos ensaios (PIMENTEL-GOMES, 1990) e corroborando com os resultados de Santos et al. (2004), Ferreira et al. (2005) e Silveira et al. (2012), para o mesmo caráter. O TCH variou de 91,9 t ha⁻¹ (Olímpia) a 163,6 t ha⁻¹ (Catanduva), com média geral de 120,9 t ha⁻¹. Os clones com maior e menor estimativas de produtividade, na média dos locais, foram RB975201 e RB975270, com 132,5 t ha⁻¹ e 113,5 t ha⁻¹, respectivamente.

Na análise de variância conjunta, constatou-se que houve diferença entre os genótipos, entre os ambientes e significância para a interação GxA (Tabela 7). Ao efetuar a decomposição dos quadrados médios da análise conjunta, verificaram-se efeitos significativos para todos os clones testados entre os ambientes (Tabela 7). Esta observação evidencia que houve variação no comportamento das cultivares

entre os ambientes avaliados, e pelos métodos mais antigos de interpretações de estabilidade e adaptabilidade, as cultivares apresentaram comportamento instável (não previsível) entre os ambientes. A significância da interação GxA indica que os genótipos apresentaram um comportamento distinto para TCH nos ambientes estudados, justificando a aplicação das análises de adaptabilidade e estabilidade.

Tabela 7 – Fontes de variação, graus de liberdade (G.L.) e quadrados médios (Q.M.) da análise de variância conjunta para produtividade em toneladas de colmos por hectare (TCH), toneladas de pol por hectare (TPH) e pol%cana (PC) de 10 clones e duas testemunhas comerciais de cana-de-açúcar avaliados em 10 ambientes no Estado de São Paulo.

Fontes de Variação	G.L.	Q.M.		
		TCH	TPH	PC
Blocos/Ambientes	20	429,74	8,73	0,85
Clones	11	1166,48 **	23,74 **	1,28
Ambientes	9	17986,69 **	480,66 **	11,52
Clones x Ambientes	99	543,74 **	13,40 **	0,50
Amb/RB975033	9	895,01 **	22,83 **	1,00 **
Amb/RB975039	9	2094,51 **	49,35 **	1,33 **
Amb/RB975086	9	1897,32 **	47,70 **	0,75 *
Amb/RB975157	9	1391,73 **	44,06 **	1,75 **
Amb/RB975162	9	2058,73 **	47,89 **	1,28 **
Amb/RB975184	9	2659,87 **	72,69 **	1,59 **
Amb/RB975201	9	2764,78 **	80,27 **	1,55 **
Amb/RB975242	9	965,84 **	28,72 **	1,63 **
Amb/RB975270	9	2697,47 **	71,85 **	1,23 **
Amb/RB975932	9	1285,48 **	33,79 **	1,36 **
Amb/RB867515	9	1506,28 **	35,29 **	1,96 **
Amb/SP81-3250	9	3750,83 **	93,61 **	1,59 **
Resíduo Médio	220	138,88	3,30	0,36
Média	-	120,88	18,09	14,94
C.V. (%)	-	9,75	10,03	3,99

* e **: Significativo, respectivamente, a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F.

Fonte: Dados da pesquisa.

4.2 Análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica

4.2.1 Método de regressão bissegmentada

No método de regressão bissegmentada, os ambientes Olímpia, Tarumã, Cosmópolis, Pradópolis, Guariba e Piracicaba foram classificados como desfavoráveis e Nova Europa, Iracemápolis, Guaira e Catanduva como favoráveis, em ordem crescente pela classificação do índice ambiental (I_j) (Tabela 8).

Tabela 8 – Valores médios em toneladas de colmos por ha (TCH) de cana-de-açúcar e respectivos índices ambientais (I_j e $T(I_j)$), em ordem crescente pela classificação do índice ambiental (I_j), conforme o método de Cruz et al. (1989).

Ambientes	Municípios (SP)	Média (TCH)	I_j	$T(I_j)$	Tipo
A5	Olímpia	91,91	-28,962	0,000	Desfavorável
A1	Tarumã	101,30	-19,576	0,000	Desfavorável
A9	Cosmópolis	108,05	-12,821	0,000	Desfavorável
A3	Pradópolis	109,18	-11,693	0,000	Desfavorável
A4	Guariba	111,23	-9,645	0,000	Desfavorável
A10	Piracicaba	117,22	-3,654	0,000	Desfavorável
A2	Nova Europa	124,34	3,466	-18,122	Favorável
A7	Iracemápolis	130,37	9,494	-12,094	Favorável
A8	Guaira	151,58	30,702	9,115	Favorável
A6	Catanduva	163,56	42,689	21,102	Favorável

Média dos ambientes favoráveis: 142,46

Média dos ambientes desfavoráveis: 106,48

Fonte: Dados da pesquisa.

Cruz et al. (2004) classificaram como genótipo ideal aquele que apresenta alta produtividade (alto b_0), seja pouco responsivo em ambientes desfavoráveis ($b_1 < 1$), responsivo em ambientes favoráveis ($b_1 + b_2 > 1$) e seja estável (variância dos desvios da regressão não significativos). No conjunto de materiais estudados, tal genótipo não foi identificado (Tabela 9). A ausência de genótipo ideal pelo método de Cruz et al (1989) coincide com outros trabalhos em diferentes culturas, como aveia

(LORENCETTI et al., 2004), café (FERRÃO et al., 2005), milho (GARBUGLIO et al., 2007) e trigo (ALBRECHT et al., 2007).

As testemunhas RB867515 e SP81-3250 são os genótipos mais cultivados no Estado de São Paulo, ocupando o primeiro e segundo lugar, respectivamente, no ordenamento geral do censo da última safra (CHAPOLA et al., 2011). No conjunto de genótipos e ambientes estudados, a testemunha RB867515 apresentou a segunda maior produtividade e alta estabilidade, com melhor resposta nos ambientes desfavoráveis, apesar do coeficiente $b_1=1$, mas que confere com as recomendações agrônômicas e o comportamento deste material nas áreas comerciais. Os resultados da testemunha SP81-3250 também coincidem com suas recomendações e seu desempenho, apresentando melhor resposta nos ambientes favoráveis. A sua produtividade foi intermediária e com baixa estabilidade, provavelmente devido ao maior número de ambientes desfavoráveis, onde seu desempenho é irregular. Na Figura 3 é possível observar o comportamento distinto entre as testemunhas, confirmando as recomendações da RB867515, que deve ser alocada nos ambientes desfavoráveis e da SP81-3250, nos favoráveis.

No método de Cruz et al. (1989), os clones RB975157, RB975242 e RB975932 apresentaram produtividade superior à testemunha SP81-3250 e alta estabilidade (quadrado médio dos desvios da regressão não significativos), com R^2 de 88,0%, 95,8% e 86,6%, respectivamente. Para os parâmetros de adaptabilidade os três genótipos apresentaram pouca responsividade nos ambientes desfavoráveis ($b_1=1$), indicando possíveis genótipos para ambientes mais pobres (Tabela 8; Figuras 4, 5 e 6, respectivamente). RB975157, juntamente com a testemunha RB867515, podem ser considerados os genótipos mais próximos do ideal, considerando que têm alta produtividade, $b_1=1$, $b_1+b_2=1$ e são estáveis.

O clone RB975201 apresentou a maior produtividade no grupo de genótipos estudados. Entretanto, o seu padrão de resposta nos ambientes desfavoráveis foi significativo ($b_1>1$) e, nos favoráveis, próximo de um, não significativo, indicando adaptabilidade específica a estes ambientes, além de significância para o quadrado médio dos desvios, indicando instabilidade (Tabela 9; Figura 7). Segundo Garbuglio et al. (2007), uma crítica que se pode fazer ao método de Cruz et al. (1989) diz respeito à exigência do genótipo em ser pouco responsivo em ambientes desfavoráveis. Em termos numéricos, este cuidado é para prevenir que a reta da equação de regressão não atinja pontos inferiores (à zero) em ambientes mais

pobres, se ela tiver uma inclinação $b_1 \geq 1$. Mas se b_0 está entre as mais elevadas, o genótipo é valioso e, nesse caso, o método pouco contribui para entender a falta de resposta à melhoria dos ambientes favoráveis, bem como a magnitude e a significância dos desvios da regressão que causam receio quanto à estabilidade de produção.

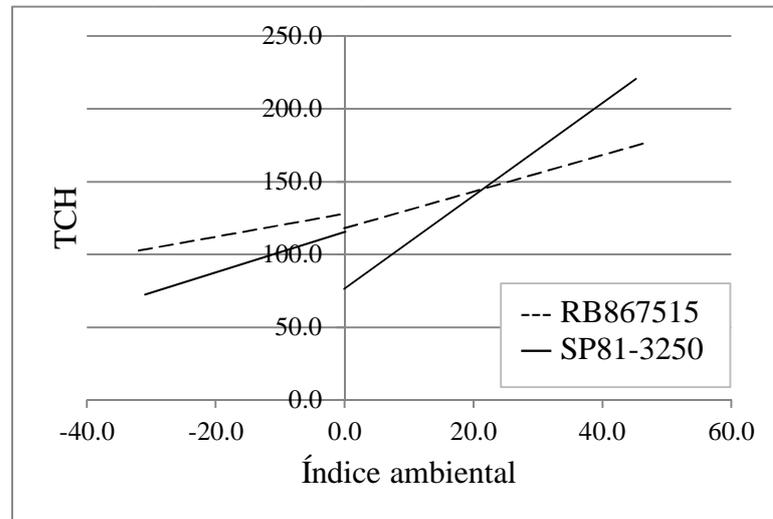
Os clones RB975162 e RB975039, apesar de elevada produtividade, apresentaram baixa estabilidade, porém podem ser recomendados para ambientes específicos. O inverso ocorreu com os clones RB975033 e RB975270, com ótima estabilidade, porém com baixa produtividade. Ainda em relação ao clone RB975270, foi o que apresentou a maior responsividade para os ambientes favoráveis, superior à testemunha SP81-3250, com coeficiente de regressão $b_1 + b_2 = 2,3$ contra 1,8, indicando elevada exigência deste material em ambiente. A sua produtividade foi a mais baixa entre todos os clones estudados, provavelmente devido ao maior número de ambientes desfavoráveis. RB975086 e RB975184 apresentaram-se instáveis e com produtividade baixa.

Tabela 9 – Médias gerais (b_0), médias dos ambientes favoráveis (F), médias dos ambientes desfavoráveis (D), coeficiente de regressão para ambientes desfavoráveis (b_1), coeficientes de regressão para ambientes favoráveis (b_1+b_2), quadrado médio dos desvios da regressão (QMD) e coeficientes de determinação (R^2), estimados segundo a metodologia de Cruz et al. (1989), para o caráter TCH de 10 clones e duas testemunhas comerciais de cana-de-açúcar avaliados em 10 ambientes no Estado de São Paulo.

Clones	b_0	F	D	b_1	b_1+b_2	QMD	R^2 (%)
RB975033	115,2	132,2	103,9	0,793	0,458 *	118,04	89,74
RB975039	125,3	146,0	111,6	0,901	0,202 **	1459,35 **	45,81
RB975086	113,8	132,4	101,3	0,866	1,294	597,25 **	75,52
RB975157	125,5	143,7	113,3	0,917	0,856	214,52	88,01
RB975162	121,2	144,9	105,4	1,067	1,224	297,94 *	88,74
RB975184	119,8	147,2	101,6	1,337 **	0,902	391,89 **	88,54
RB975201	132,5	162,7	112,4	1,305 **	0,916	646,19 **	81,82
RB975242	124,2	144,1	110,8	0,889	0,123 **	52,44	95,78
RB975270	113,7	132,7	101,1	0,822	2,269 **	244,01	92,96
RB975932	115,9	135,9	102,6	0,902	0,703	221,80	86,58
RB867515	128,0	144,2	117,2	0,813	1,250	274,55	85,82
SP81-3250	115,4	143,7	96,5	1,387 **	1,805 **	543,45 **	88,73
Médias	120,9	142,5	106,5	-	-	-	-

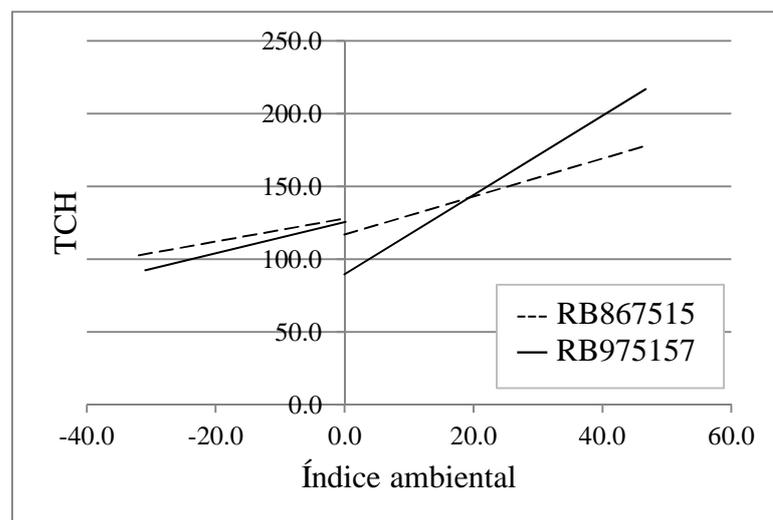
*, ** - Significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste t (b_1 , $b_1+b_2=1$) e pelo teste F (QMD=0).
 Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 3 - Comportamento das testemunhas de cana-de-açúcar RB867515 e SP81-3250 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).



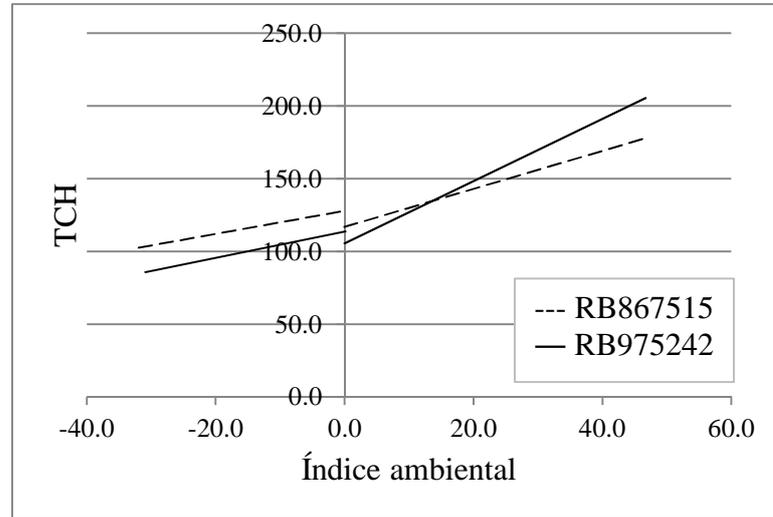
Fonte: Dados da pesquisa

Figura 4 - Comportamento do clone de cana-de-açúcar RB975157 em relação à testemunha RB867515 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).



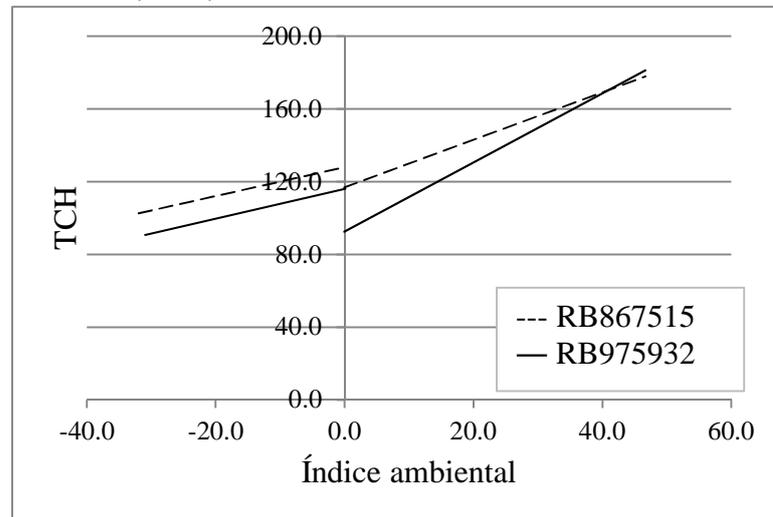
Fonte: Dados da pesquisa

Figura 5 - Comportamento do clone de cana-de-açúcar RB975242 em relação à testemunha RB867515 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).



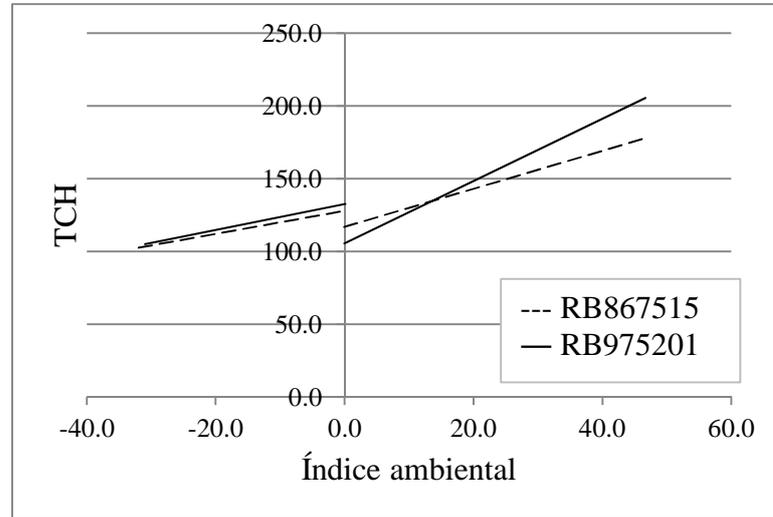
Fonte: Dados da pesquisa

Figura 6 - Comportamento do clone de cana-de-açúcar RB975932 em relação à testemunha RB867515 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).



Fonte: Dados da pesquisa

Figura 7 - Comportamento do clone de cana-de-açúcar RB975201 em relação à testemunha RB867515 pelo método de regressão bissegmentada em 10 locais do Estado de São Paulo para o caráter produtividade de colmos por hectare (TCH).



Fonte: Dados da pesquisa

4.2.2 Método AMMI

Pela análise AMMI, a soma dos quadrados da interação GxA foi decomposta em 10 eixos de componentes principais, chamados de IPCA (*Interaction Principal Component Axis*), onde cinco primeiros eixos foram significativos a 1% de probabilidade pelo teste F de Gollob (1968) (Tabela 10). O primeiro eixo da interação capturou 45,2%, o segundo, 19,1% (64,3% acumulado nos dois primeiros eixos) e o terceiro eixo, 11,7%, totalizando 76,0% da soma dos quadrados da interação GxA. Os valores dos dois primeiros eixos foram próximos aos encontrados por Silveira (2011) e superiores aos de Verissimo et al. (2012), com 67,9 e 40,5%, respectivamente, também para TCH. Nestes primeiros eixos a maior parte da interação corresponde à porção padrão e o restante corresponde à porção ruído.

Tabela 10 – Resumo da análise de variância e decomposição da interação GxA pela análise AMMI, porcentagem de explicação da variância (Exp.) e seu valor acumulado (Ac.) para o caráter TCH de 10 clones e duas testemunhas comerciais de cana-de-açúcar avaliados em 10 ambientes no Estado de São Paulo.

Fontes de Variação	GL	QM	Exp. (%)	Ac. (%)
Clones	11	1166,48 **	-	-
Ambientes	9	17986,69 **	-	-
Clones x Ambientes	99	543,74 **	-	-
IPCA1	19	1280,53 **	45,2	45,2
IPCA2	17	604,80 **	19,1	64,3
IPCA3	15	418,51 **	11,7	76,0
IPCA4	13	373,70 **	9,0	85,0
IPCA5	11	287,79 **	5,9	90,9
Resíduo	220	138,88	-	-

** - Significativo a 1% de probabilidade pelo teste F de Gollob (1968).

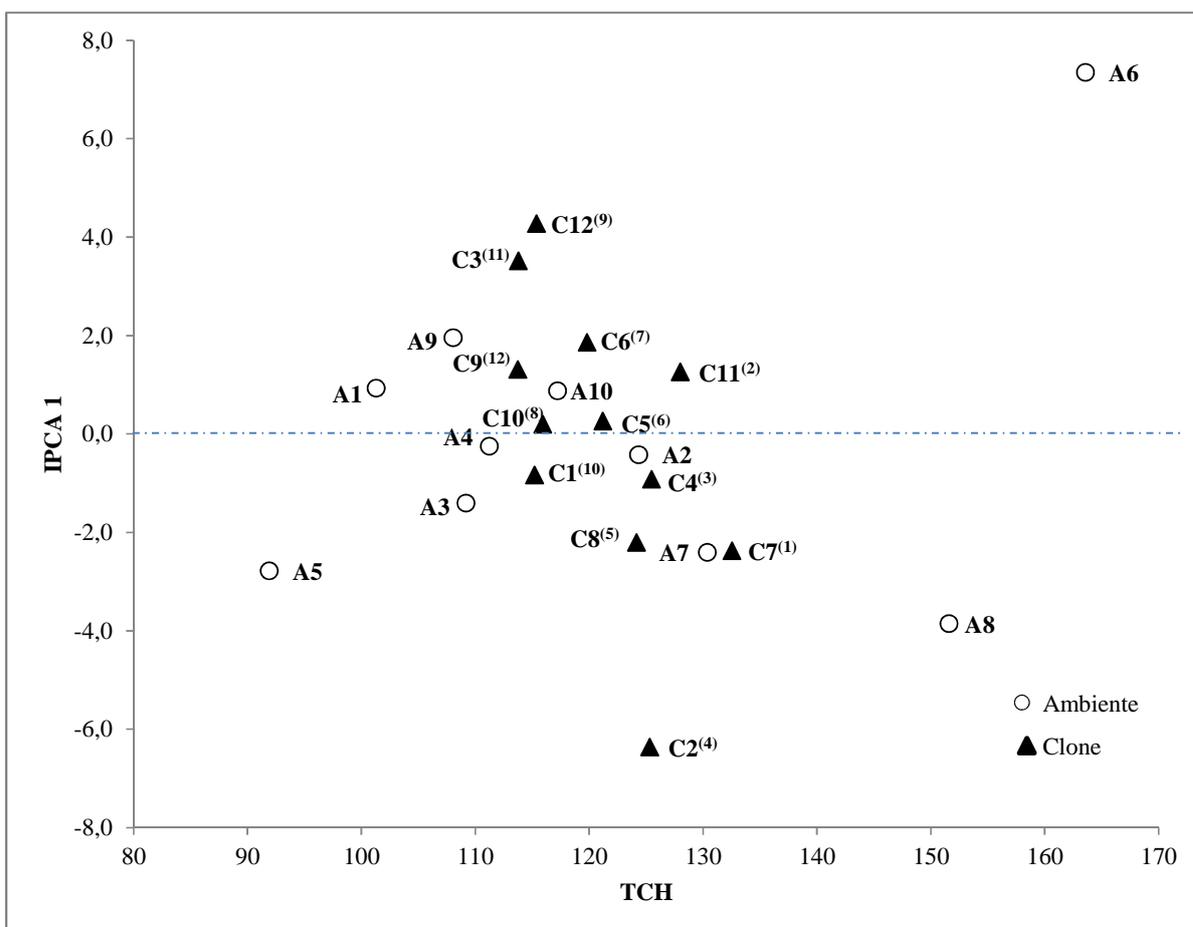
Fonte: Dados da pesquisa.

Os gráficos biplot AMMI1 (IPCA1 x TCH) e AMMI2 (IPCA1 x IPCA2) são preferidos para a interpretação e visualização bidimensional, pois garantem vantagens sobre uma terceira alternativa tridimensional (DUARTE; VENCOVSKY, 1999). No AMMI1 (Figura 8) a abscissa representa os efeitos principais (médias de genótipos) e a ordenada representa o primeiro eixo de interação (IPCA1). Assim, genótipos com valores de IPCA1 próximos de zero são considerados de alta estabilidade nos ambientes de teste. Portanto os clones RB975932 (C10), RB975162 (C5), RB975157 (C4) e RB975033 (C1), apresentaram alta estabilidade fenotípica por estarem próximos da linha do eixo IPCA1. Entretanto, o clone RB975033 apresentou baixa produtividade, abaixo das testemunhas. Os clones RB975201 (C7) RB975242 (C8) apresentaram estabilidade intermediária e adaptabilidade específica com o ambiente Iracemópolis (A7).

Para o gráfico biplot AMMI2 (Figura 9) os genótipos próximos da origem dos eixos são mais estáveis do que aqueles mais afastados, pois contribuíram pouco para a interação. Combinações de genótipos e ambientes com escores IPCA de mesmo sinal têm interações específicas positivas e combinações de sinais opostos apresentam interações específicas negativas (CHAVES, 2001). Neste caso a alta

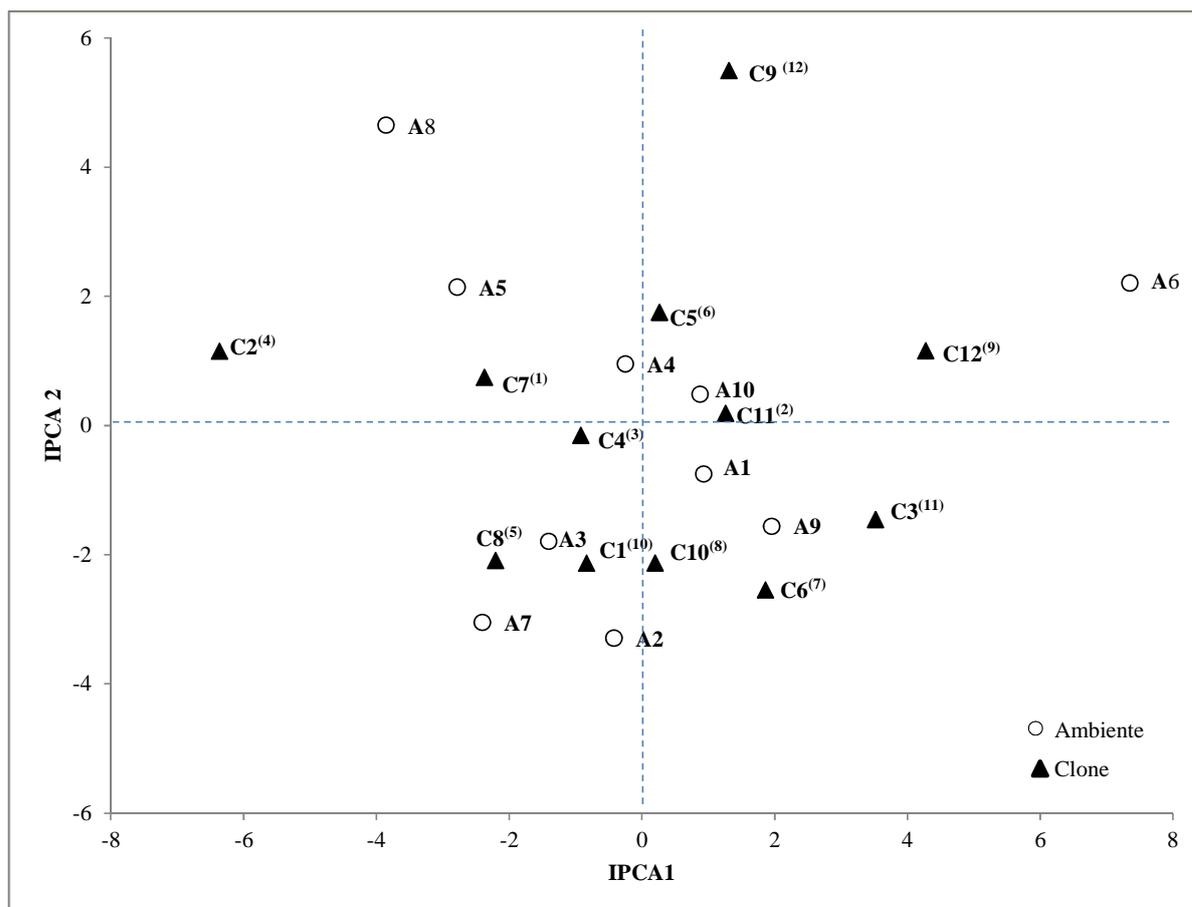
estabilidade foi confirmada para o clone RB975157 (C4), juntamente com a testemunha RB867515 (C11). Os clones RB975201 (C7) e RB975162 (C5), também apresentaram boa estabilidade no AMMI2. O clone RB975242 (C8) apresentou adaptabilidade específica com os ambientes Pradópolis (A3) e Iracemópolis (A7).

Figura 8 - Biplot AMMI1 para produtividade de colmos por ha (TCH) em 12 clones de cana-de-açúcar (C1=RB975033, C12=RB975039, C3=RB975086, C4=RB975157, C5=RB975162, C6=RB975184, C7=RB975201, C8=RB975242, C9=RB975270, C10=RB975932, C11=RB867515 e C12=SP81-3250) e dez ambientes (A1=Tarumã, A2=Nova Europa, A3=Pradópolis, A4=Guariba, A5=Olímpia, A6=Catanduva, A7=Iracemópolis, A8=Guaíra, A9=Cosmópolis e A10=Piracicaba). O expoente em C indica a posição do clone na lista de médias em ordem decrescente.



Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 9 - Biplot AMMI2 para dados de produtividade de colmos por ha em 12 clones de cana-de-açúcar (C1=RB975033, C12=RB975039, C3=RB975086, C4=RB975157, C5=RB975162, C6=RB975184, C7=RB975201, C8=RB975242, C9=RB975270, C10=RB975932, C11=RB867515 e C12=SP81-3250) e dez ambientes (A1=Tarumã, A2=Nova Europa, A3=Pradópolis, A4=Guariba, A5=Olímpia, A6=Catanduva, A7=Iracemápolis, A8=Guaíra, A9=Cosmópolis e A10=Piracicaba). O expoente em C indica a posição do clone na lista de médias em ordem decrescente.



Fonte: Dados da pesquisa.

A análise AMMI proporcionou a observação de ambientes similares e mais estáveis, principalmente no biplot AMMI2. Nos escores de IPCA semelhantes, os ambientes são considerados similares. Ambientes estáveis são aqueles onde o ordenamento dos genótipos apresenta maior consistência e confiabilidade, em relação à média dos ambientes. Nesses ambientes, genótipos com adaptabilidade geral tendem a se destacar e podem ser selecionados com maior segurança, podendo servir de referência para recomendações em outras áreas (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

Os ambientes que menos contribuíram para a interação foram Tarumã (A1), Guariba (A4) e Piracicaba (A10) (Figura 2). Portanto, esses ambientes podem ser considerados mais estáveis e utilizados na avaliação de clones para TCH. A medição nestes ambientes de fatores como tipo de solo, distribuição e total de precipitação pluviométrica, temperaturas máximas e mínimas, etc, correlacionando-os aos escores dos ambientes para os eixos da interação, permitem uma inferência mais segura dessas relações (GAUCH; ZOBEL, 1996).

4.2.3 Comparação dos resultados entre os métodos

Os resultados da análise AMMI são concordantes com o modelo bissegmentado para os clones RB975157 (C4) (AMMI1 e AMMI 2) e RB975932 (C10) (AMMI1), além da testemunha RB867515 (C11) (AMMI2), evidenciando elevada estabilidade. Os métodos também são complementares, sendo que o clone RB975162 (C5), apesar de elevada produtividade, apresentou instabilidade e coeficientes de adaptabilidade não satisfatórios no modelo bissegmentado, mas apresentou alta estabilidade, com adaptabilidade específica com os ambientes Piracicaba (A10) e Nova Europa (A2) no AMMI1 e com Guariba (A4) no AMMI2. O clone RB975201 (C7), com maior produtividade entre os materiais estudados, também apresentou instabilidade no modelo bissegmentado, mas, no AMMI2, que captou mais de 64% da interação, apresentou boa estabilidade, com adaptabilidade específica com os ambientes Itacemópolis (A7) e Guariba (A4) nos biplots AMMI1 e 2, respectivamente. Essa complementação entre os métodos é interessante de ser considerada na indicação dos melhores clones, permitindo explorar também os efeitos positivos da interação, não descartando genótipos considerados instáveis, mas que apresentam adaptabilidade restrita (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

5 CONCLUSÕES

As metodologias utilizadas podem ser incorporadas em programas de melhoramento de cana-de-açúcar, pois permitem a discriminação de clones quanto à adaptabilidade e estabilidade, além da identificação de ambientes mais favoráveis para experimentação.

Embora nenhum dos clones avaliados tenha apresentado comportamento ideal, como preconizado pelo método da regressão bissegmentada, levando em consideração os dois métodos os clones mais promissores, em termos de estabilidade e adaptabilidade geral, são RB975201, RB975157, RB975932 e RB975162. Quanto à adaptabilidade específica, o clone RB975242 é o mais indicado para ambientes semelhantes à Iracemápolis e Pradópolis.

Os ambientes Tarumã, Guariba e Piracicaba, são mais estáveis, podendo servir de referência para recomendações em outras áreas.

REFERÊNCIAS

- ALBRECHT, J. C.; VIEIRA, E. A.; SILVA, M. S.; ANDRADE, J. M. V.; SCHEEREN, P. L.; TRINDADE, M. G.; SOARES SOBRINHO, J.; SOUSA, C. N. A.; REIS, W. P.; RIBEIRO JÚNIOR, W. Q.; FRONZA, V.; CARGNIN, A.; YAMANAKA, C. H. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de trigo irrigado no Cerrado do Brasil Central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 1727-1734, 2007.
- ALVES, S. J.; TOLEDO, J. F. F.; ARAUJO, P. M.; CARBUGLIO, D. D. Comportamento de diferentes classes genéticas de milho em relação à adaptabilidade e estabilidade. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, Sete Lagoas, v. 5, n. 2, p. 291-303, 2006.
- ANSELMO, J. L. **Estabilidade e adaptabilidade de cultivares de soja, incluindo transgênicas, na região dos chapadões**. 2008. 53 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Produção) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.
- BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. Melhoramento genético e recomendação de cultivares. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (Ed.). **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool**. Viçosa: Ed. UFV, 2010. 577 p.
- BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de plantas**. 5. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005. 525 p.
- BRAGA JÚNIOR, R. L. C. Interação genótipo-ambiente em novos clones de cana-de-açúcar. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 6., 1994, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: COPERSUCAR, 1994. p. 119-129.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Anuário Estatístico da Agroenergia**. Brasília, DF: Mapa/ACS, 2009. 160 p. Disponível em <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/AgroenerAgr/estatisticas/anuario_cana.pdf>. Acesso em: 3 set. 2012.
- CALHEIROS, G. G.; BARBOSA, G. V. S. Análise da interação de genótipos RB de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) com ambientes de cultivo em Alagoas. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, 6., 1996, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 1996. p. 253-262.
- CARBONELL, S. A. M.; AZEVEDO FILHO, J. A.; SANTOS, D. L. A.; GONÇALVES, C.; ANTONIO, C. B. Adaptabilidade e estabilidade de produção de cultivares e linhagens de feijoeiro no Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 60, n. 2, p. 69-77, 2001.
- CARVALHO, L. P.; COSTA, J. N.; FREIRE, E. C.; FARIAS, J. C. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens de algodoeiro originárias de materiais silvestres. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 47, n. 271, p. 303-310, 2000.
- CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 307 p.

CHAPOLA, R. G.; HOFFMANN, H. P.; BASSINELLO, A. I.; FERNANDES JUNIOR, A. R.; VIEIRA M. A. S.; SCHIAVINATO, S. R. Censo Varietal 2010 de cana-de-açúcar nos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. **STAB**, Piracicaba, v. 29, n. 3, p. 42-45, 2011.

CHAVES, L. J. Interação de genótipos com ambientes. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos genéticos e melhoramento de plantas**. Rondonópolis: Fundação MT, 2001. p. 673-713.

CHAVES, L. J.; VENCOSKY, R.; GERALDI, I. O. Modelo não linear aplicado ao estudo da interação genótipo x ambiente em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 24, n. 2, p. 259-268, 1989.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar safra 2012/2013**. Brasília, DF: CONAB, 2012. 18 p. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 3 set. 2012.

COOPERATIVA DOS PRODUTORES DE CANA, AÇÚCAR E ÁLCOOL DO ESTADO DE SÃO PAULO – COPERSUCAR. 5. geração de variedades. In: _____. **Boletim Técnico**. Piracicaba, 1995. p. 16-23.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: aplicativo computacional em genética e estatística. Viçosa, MG: UFV, 1997. 442 p.

CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2006. 585 p.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A.J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2. ed., Viçosa, MG: Ed. UFV, 2001. 390 p.

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

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A.; VENCOSKY, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. **Revista Brasileira de Genética**, Ribeirão Preto, v.12, p. 567-580, 1989.

CUCOLOTTO, M.; PIPOLO, V. C.; GARBUGLIO, D. D.; FONSECA JUNIOR, N. S.; DESTRO, D.; KAMIKOGA, M. K. Genotype x environment interaction in soybean: evaluation through three methodologies. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 7, p. 270-277, 2007.

DANIELS, J.; ROACH, B. T. Taxonomy and evolution. In: HEINZ, D. J. (Ed.). **Sugarcane improvement through Breeding**. Amsterdam: Elsevier, 1987. p. 7-84.

DAROS, E.; OLIVEIRA, R. A.; ZAMBON, J. L. C.; BESPALHOK FILHO, J. C. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. Curitiba: Ridesa, 2010. p. 85.

DELGADO, A. A.; CÉSAR, M. A. A. **Elementos de tecnologia e engenharia do açúcar de cana**. Sertãozinho: Zanini, 1977. 1041 p.

DUARTE, J. B.; VENKOVSKY, R. **Interação genótipos x ambientes**: uma introdução à análise "AMMI". Ribeirão Preto: FUNPEC, 1999. 60 p. (Série Monografias, 9). Disponível em: <[http://www.agro.ufg.br/uploads/files/Duarte_&_Vencovsky\(1999\)-Monografia_SBG-AMMI_e_GXE.pdf](http://www.agro.ufg.br/uploads/files/Duarte_&_Vencovsky(1999)-Monografia_SBG-AMMI_e_GXE.pdf)> Acesso em: 3 maio 2011.

DUARTE, J. B.; ZIMMERMANN, M. J. O. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de genótipos de feijoeiro comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 29, n. 1, p. 25-32, 1994.

EBERHART, S. A.; RUSSEL, W. A. Stability parameters for comparig varieties. **Crop Science**, Madison, v. 6, p. 36-40, 1966.

FERRAO, R. G. ; CRUZ, C. D. ; CECON, P. R. ; CARNEIRO, P. C. S. ; FERRAO, M. A. G. ; FONSECA, A. F. A. ; FERRAO, L. M. V. Interação genótipos x ambientais e estimativas de adaptabilidade e estabilidade de produção em clones de café conilon. In: IV Simpósio de pesquisa dos cafés do Brasil, 2005, Londrina-PR. **Anais...** Brasília, DF: Embrapa Café, 2005.

FERREIRA, D. F.; DEMÉTRIO, C. G. B.; MANLY, B. F. J.; MACHADO, A. A.; VENKOVSKY, R. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. **Cerne**, Lavras, v. 12, p. 373-388, 2006.

FERREIRA, F. M; BARBOSA, M. H. P.; CASTRO, R. D.; PETERNELLI, L. A.; CRUZ, C. D. Effects of in breeding on the selection of sugar cane clones. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 5, n. 2, p. 174-182, 2005.

FINLAY, K. W.; WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v. 14, p. 742-754, 1963.

FRAVET, P. R. F. de; SOARES, R. A. B.; LANA, R. M. Q.; LANA, A. M. Q.; KORNDÖRFER, G. H. Efeito de doses de torta de filtro e modo de aplicação sobre a produtividade e qualidade tecnológica da soqueira de cana-de-açúcar. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, p. 618-624, 2010.

GAUCH, H. G. Model selection and validation for yield trials with interaction. **Biometrics**, Washington, DC, v. 44, p. 705-715, 1988.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. AMMI analysis of yield trials. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (Ed.). **Genotype by environment interaction**. Boca Raton: CRC Press, 1996. v. 4, p. 85-122.

GARBUGLIO, D. D.; GERAGE, A. C.; ARAÚJO, P. M.; FONSECA JUNIOR, N. S.; SHIOGA, P. S. Análise de fatores e regressão bissegmentada em estudos de estratificação ambiental e adaptabilidade em milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, n. 2, p. 183-191, 2007.

GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, Baltimore, v. 33, n. 1, p. 73-115, 1968.

GRIVET, L.; DANIELS, C.; GLASZMANN, J. C.; D'HONT, A. A review of recent molecular genetics evidence for sugarcane evolution and domestication. **Ethonobotany Research and Applications**, Fort Worth, v. 2, p. 9-17, 2004.

GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; PERINA, E. F.; CARBONELL, S. A. M. Estabilidade fenotípica em feijoeiro estimado por análise AMMI com genótipo suplementar. **Bragantia**, Campinas, v. 68, p. 863-871, 2009.

GUERRA, E. P.; OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; BESPALHOK FILHO, J. C. Stability and adaptability of early maturing sugarcane clones by AMMI analysis. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 9, p. 260-267, 2009

HOFFMANN, H. P.; FANCELLI, A. L.; MATSUOKA, S. Contribuição de variedades melhoradas de cana-de-açúcar no Estado de São Paulo nos últimos cinquenta anos. **STAB**, Piracicaba, v. 18, p. 22, 1999.

KVITSCHAL, M. V.; VIDIGAL FILHO, P. S.; SCAPIM, C. A.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; PEQUENO, M. G.; SAGRILO, E.; RIMOLDI, F. Evaluation of phenotypic stability of cassava clones by AMMI analysis in northwestern Paraná state. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, MG, v. 7, p. 235-241, 2006.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, J. A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 101-155.

LAVORANTI, O. J. **Estabilidade e adaptabilidade fenotípica através da reamostragem "BOOTSTRAP" no modelo AMMI**. 2003. 166 f. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agrônomoica) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

LORENCETTI, C.; CARVALHO, F. I. F.; ALMEIDA, J. L.; MARCHIORO, V. S.; BENIN, G.; HARTWIG, I. Adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grão em aveia hexaplóide. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre, v. 8, p. 83-91, 2002.

LORENCETTI, C.; CARVALHO, F. I. F.; MARCHIORO, V. S.; BENIN, G.; OLIVEIRA, A. C.; FLOSS, E. L. Implicações da aplicação de fungicida na adaptabilidade e estabilidade de rendimento de grãos em aveia branca. **Ciência Rural**, Rio Grande do Sul, v. 34, p. 693-700, 2004.

MACEDO, G. A. R.; COSTA, É. L.; VIANA, M. C. M.; BOTELHO, W. **Recomendações técnicas para o cultivo da cana-de-açúcar**. Prudente de Moraes-MG: Epamig, 2010. 4 p. Disponível em: <http://www.epamig.br/index.php?option=com_docman&task=doc_download&gid=1408>. Acesso em: 3 set. 2012.

MAIA, M. C. M.; VELLO, N. A.; ROCHA, M. M.; PINHEIRO, J. B.; SILVA JÚNIOR, N. F. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens experimentais de soja selecionadas para caracteres agronômicos através de método uni-multivariado. **Bragantia**, Campinas, v. 65, p. 215-226, 2006.

MARIN, F. R. **Variedades**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_42_1110200717570.html>. Acesso em: 3 set. 2012.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BORÉM, A. (Ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2005. p. 205-251.

MELO, L. C.; SANTOS, P. G.; FARIA, L. C.; DIAZ, J. L. C.; DEL PELOSO, M. J.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro Sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 715-723, 2007.

MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; NAMORATO, H.; OLIVEIRA, L. R.; SOARES, M. O. Multivariate analyses of genotype x environment interaction of popcorn. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 44, p. 45-50, 2009.

MONTEIRO, M. A. R.; CRUZ, J. C.; OLIVEIRA, A. C.; RAMALHO, M. A. P.; PINHO, R. G. von. Desempenho de cultivares de milho para a produção de grãos no Estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 881-888, 2000.

MORAIS, L. K.; PINHEIRO, J. B.; MOURA, M. F.; AGUIAR, A. V.; DUARTE, J. B.; CARBONELL, S. A. M.; ZUCCHI, M. I.; MOURA, N. F. Estabilidade e adaptabilidade de cultivares de soja em diferentes épocas de semeadura utilizando a metodologia AMMI. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v.19, p. 7-14, 2003.

MORAIS, L. K. de; SILVA, R. M. da; CHIORATO, A. F.; AZZINI, L. E.; VILLELA, O. V.; GALLO, P. B.; SAKAI, M.; BASTOS, C. R.; MALAVOLTA, V. M. A. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de arroz irrigado para o Estado de São Paulo. **Revista Biociências**, Taubaté, v. 14, p. 9-16, 2008.

OLIVEIRA, J. S. Environmental stratification, adaptability and stability of commercial hybrids of corn for silage utilization in the south of Brazil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 4, p. 997-1003, 2004.

OLIVEIRA, A. B.; DUARTE, J. B.; PINHEIRO, J. B. Emprego da Análise AMMI na avaliação da estabilidade produtiva em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 38, p. 357-364, 2003.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; ASSUNÇÃO, M. S.; NUNES JUNIOR, J.; CHAVES, A. A. P. Zoneamento e adaptação produtiva de genótipos de soja de ciclo médio de maturação para Goiás. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 33, n. 1, p. 23-27, 2003.

PACHECO, R. M.; DUARTE, J. B.; VENCovsky, R.; PINHEIRO, J. B.; OLIVEIRA, A. B. Use of supplementary genotypes in AMMI analysis. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v. 110, p. 812-818, 2005.

PEDROZO, C. A. **Eficiência da seleção em fases iniciais no melhoramento da cana-de-açúcar**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações pra uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 12. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467 p.

PRADO, E. E.; HIROMOTO, D. M.; GODINHO, V. P. C.; UTUMI, M. M.; RAMALHO, A. R. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de soja em cinco épocas de plantio no cerrado de Rondônia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, p. 625-635, 2001.

RAIZER, A. J.; VENCovsky, R. Estabilidade fenotípica de novas variedades de cana-de-açúcar para o Estado de São Paulo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, Df, v. 34, p. 2241-2246, 1999.

RAMALHO, M. A. P.; FERREIRA, D. F.; OLIVEIRA, A. C. **Experimentação em genética e melhoramento de plantas**. 3. ed. Lavras: Ed. UFLA, 2012. 328 p.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Version 2.15.1. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2009. Disponível em: <www.r-project.org>. Acesso em: 10 out. 2011.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA PARA O DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO – RIDESA. **Histórico**. Disponível em: <<http://www.ridesa.com.br/>>. Acesso em: 15 abr. 2011.

ROACH, B. T. Origin and improvement of the genetic base of sugarcane. **Proceeding Australian Society of Sugarcane Technologists**, New York, v. 11, p. 34-47, 1989.

ROCHA, M. M.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; CARVALHO, H. W. L.; BELARMINO FILHO, J.; RAPOSO, J. A. A.; ALCÂNTARA, J. P.; RAMOS, S. R. R.; MACHADO, C. F. Adaptabilidade e estabilidade produtiva de genótipos de feijão-caupi de porte semi-ereto na Região Nordeste do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 42, p. 1283-1289, 2007.

ROSSE, L. N.; VENCovsky, R.; FERREIRA D. F. Comparação de métodos de regressão para avaliar a estabilidade fenotípica em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 37, n. 1, p. 23-32, 2002.

SAMONTE, S. O. P. B.; WILSON, L. T.; MCCLUNG, A. M.; MEDLEY, J. C. Targeting cultivars onto rice growing environments using AMMI and SREG GGE biplot analyses. **Crop Science**, Madison, v. 45, n. 6, p. 2414-2424, 2005.

SANTOS, M. S. M.; MADALENA, J. A.; SOARES, L.; FERREIRA, P. V.; BARBOSA, G. V. S. Repetibilidade de características agroindustriais em cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 39, p. 301-306, 2004.

SILVA, J. G. C.; BARRETO, J. N. Aplicação de regressão linear segmentada em estudo da interação genótipo x ambiente. In: SIMPÓSIO DE EXPERIMENTAÇÃO AGRÍCOLA, 1., 1985, Piracicaba. **Resumos...** Campinas: Fundação Cargill, 1985. p. 49-50.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 41, p. 23-30, 2006.

SILVEIRA, L. C. I. **Adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar no Estado de Minas Gerais**. 2011. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

SILVEIRA, L. C. I.; KIST, V.; PAULA, T. O. M.; BARBOSA, M. H. P.; RICARDO AUGUSTO DE OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de genótipos de cana-de-açúcar no estado de Minas Gerais. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 42, n. 4, 2012.

STUPIELLO, J. Cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S. B. (Corrd.). **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 2, p. 761-804.

VENCOVSKY, R. Melhoramento genético em vegetais. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 38, n. 7, p. 1155-1160, 1986.

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

VENDRUSCOLO, E. C. G.; SCAPIM, C. A.; PACHECO, C. A.; OLIVEIRA, V. R. ; BRACCINI, A. L.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho-pipoca na região centro-sul do Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 36, n. 1, p. 123-130, 2001.

VERMA, M. M.; CHAHAL, G. S.; MURTY, B. R. Limitations of conventional regression analysis: a proposed modification. **Theoretical and Applied Genetics**, Heidelberg, v. 53, p. 89-91, 1978.

VERISSIMO, M. A. A.; SILVA, S. D. A.; AIRES, R. F.; DAROS, E.; PANZIERA, W. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar no Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 47, p. 561-568, 2012.

VICENTE, D.; PINTO, R. J. B.; SCAPIM, C. A. Análise da adaptabilidade e estabilidade de linhagens elite de soja. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, p. 301-307, 2004.

YAN, W.; KANG, M. S.; MA, B.; WOODS, S.; CORNELIUS, P. L. GGE Biplot vs. AMMI Analysis of Genotype-by-Environment Data. **Crop Science**, Madison, v. 47, p. 643-653, 2007.

ZOBEL, R. W.; WRIGHT, M. J.; GAUCH, H. G. Statistical analysis of a yield trial. **Agronomy Journal**, Madison, v. 80, p. 388-393, 1988.