

EDSON PEREZ GUERRA

**AVALIAÇÃO DA ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CLONES
PRECOSES DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Ciências.

Orientador: Prof. Dr. João Carlos Bessalhoc Filho
Co-orientador: Prof. Dr. Ricardo Augusto de Oliveira

CURITIBA

2010

Guerra, Edson Perez
Avaliação da adaptabilidade e estabilidade de clones precoces de cana-de-
açúcar (*Saccharum* spp.)/ Edson Perez Guerra. – Curitiba, 2010.
132 f.

Orientador: João Carlos Bernaldo Filho
Tese (Doutorado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias,
Universidade Federal do Paraná.

1. Cana-de-açúcar – Melhoramento genético. 2. Cana-de-açúcar –
Genótipo x ambiente. 3. Genética vegetal. I. Título.

CDU 631.523:633.61

CDD 631.523



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA E FITOSSANITARISMO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
PRODUÇÃO VEGETAL

PARECER

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal, reuniram-se para realizar a arguição da Tese de DOUTORADO, apresentada pelo candidato **EDSON PEREZ GUERRA**, sob o título "**AVALIAÇÃO DA ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CLONES PRECOSES DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum spp.*)**", para obtenção do grau de Doutor em Ciências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Produção Vegetal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná.

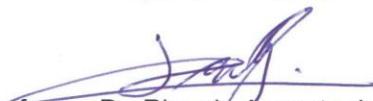
Após haver analisado o referido trabalho e argüido o candidato são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Tese.

Curitiba, 23 de Abril de 2010.

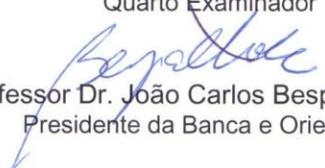

19/ Professora Dra. Louise Larissa May De Mio
Coordenadora do Programa


Professor Dr. Hermann Paulo Hoffmann
Primeiro Examinador


Dr. Nelson da Silva Fonseca Junior
Segundo Examinador


Professor Dr. Ricardo Augusto de Oliveira
Terceiro Examinador


Professor Dr. Edelclaiton Daros
Quarto Examinador


Professor Dr. João Carlos Bespalhok Filho
Presidente da Banca e Orientador

A Deus,

Pai de amor, Filho salvador e Espírito Santo consolador.

À minha amada esposa Ivania – mulher virtuosa

À filha amada Eloise e seu esposo Sidon Junior – serei pai de multidões

À filha amada Juliane – construindo um mundo melhor

Dedico

*Aos meus queridos pais Elsenor e Aparecida
Guerra que nunca mediram esforços para apoiar
minha formação.*

*Aos meus queridos irmãos Elcio, Eliane e Rodrigo
e às suas famílias, cunhados (as) e sobrinhos (as)
do coração.*

Ofereço

“Ainda que eu falasse as línguas dos homens e dos anjos,
e não tivesse amor,
seria como o metal que soa ou como o sino que tine.
E ainda que tivesse o dom de profecia,
e conhecesse todos os mistérios e toda a ciência,
e ainda que tivesse toda a fé,
de maneira tal que transportasse os montes,
e não tivesse amor,
nada seria.” (I Co 13: 1-2)

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo caminho, verdade e vida que nos deu.

Ao Prof. Dr. João Carlos Bespalkok Filho pela orientação profissional e amizade de tantos anos.

Ao Prof. Ricardo Augusto de Oliveira pela co-orientação neste trabalho e amizade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia em Produção Vegetal, da Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este estudo.

Aos técnicos do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná (PMGCA/UFPR/RIDESA), na pessoa do Prof. Dr. Edelclaiton Daros, pelo fornecimento dos dados da fase experimental, com apoio da Fundação da Universidade Federal do Paraná (FUNPAR) e Usinas e Destilarias do Estado do Paraná.

Aos Professores José Luis Camargo Zambon e Osvaldo Teruyo Ido pelas contribuições valiosas na correção deste trabalho e de conhecimentos técnicos da cultura de cana-de-açúcar.

Aos professores da Pós-Graduação pela contribuição na minha formação profissional, aos amigos do curso pelo companheirismo durante as atividades acadêmicas e de confraternização e à secretária Sra. Lucimara Antunes pela simpatia e dedicação na prestação de serviços.

Aos colegas professores da Pontifícia Universidade Católica do Paraná pelo apoio e amizade, em especial aos amigos Eng. Agrônomos Dra. Flora Ozaki e Carlos Henrique Guimarães Coimbra e família.

Ao Dr. Cláudio Guilherme Portela de Carvalho, da EMBRAPA Soja, pela disposição e auxílio na elaboração de um projeto de pesquisa.

Ao Dr. Nelson da Silva Fonseca Junior, do IAPAR, pela valiosa contribuição no projeto.

Ao Dr. Hermann Paulo Hoffmann pelas valiosas contribuições e melhoria deste trabalho.

Aos companheiros da Cooperbiobrasil pelo trabalho solidário para desenvolvimento da agricultora familiar, representado pelo coordenador do projeto de mini-usinas, Pr. Werner Fuchs.

Aos amigos Eng. Agrônomos Maurício Terasawa, Francisco Terasawa e equipe de pesquisa Marcos Kamikoga, Cristiane, Ademir, Paulo e demais integrantes da FT-Sementes, pela confiança e oportunidade de participar da realização de um projeto.

Aos amados do grupo familiar que participam dos momentos de alegria de nossa família.

BIOGRAFIA DO AUTOR

EDSON PEREZ GUERRA, filho de Elsenor de Souza Guerra e Aparecida Perez Guerra, nasceu em Bandeirantes, Estado do Paraná, em 08 de junho de 1961. Casado com Ivania Maria Pavão Guerra desde 20 de setembro de 1985 e completam neste ano o jubileu de prata. Têm a filha Eloise casada com Sidon Junior e a filha Juliane.

Estudou na Escola Técnica Professor Everardo Passos – ETEP, de 1976 a 1980 e trabalhou no Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE, de 1980 a 1983, em São José dos Campos, Estado de São Paulo.

Ingressou no Curso de Agronomia da Fundação Faculdade de Agronomia Luiz Meneghel, em Bandeirantes, Estado do Paraná, em 1983 e concluiu o Curso de Agronomia na Universidade Estadual de Maringá em janeiro de 1987, em Maringá, Paraná.

Trabalhou como Engenheiro Agrônomo de campo na COCAMAR de Maringá, Paraná, no período de 1987 a 1989.

Iniciou estudos de Pós-Graduação na Universidade Estadual de Londrina em 1991, em Genética e Melhoramento Vegetal, formando-se em 1995 em nível de mestrado. Foi professor auxiliar no Curso de Agronomia do Departamento de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Londrina no ano de 1994 e professor assistente entre 1995 e 1997.

Em fevereiro de 1998 ingressou na Pontifícia Universidade Católica do Paraná, no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, onde atua como professor adjunto nos Cursos de Graduação em Agronomia, Engenharia Florestal, Biotecnologia e Biologia, no Curso de Extensão de Cultura de Tecidos Vegetais e na Pós-Graduação no Curso de Especialização de Biotecnologia.

É membro da cooperativa Cooperbiobrasil onde auxilia no trabalho de desenvolvimento de mini-usinas de extração de óleo vegetal a frio, comestível e biocombustível, como parte das atividades da REPAS- Rede Evangélica Paranaense de Assistência Social.

Desenvolve o Programa de Melhoramento Genético de Girassol da FT-Sementes, de Ponta Grossa, Estado do Paraná.

Em março de 2007 iniciou o doutoramento no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Concentração em Produção Vegetal, no Departamento de Fitotecnia e Fitossanitarismo, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
BIOGRAFIA DO AUTOR	vii
LISTA DE TABELAS	x
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvii
1. INTRODUÇÃO	19
2. REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1. Melhoramento da cultura da cana-de-açúcar	22
2.2. Interação genótipo x ambiente	28
2.3. Estabilidade e adaptabilidade fenotípica	29
2.3.1. Método AMMI (<i>Additive Main effects and Multiplicative Interaction analysis</i>) (ZOBEL <i>et al.</i> , 1988)	33
2.3.2. Método Toler e Burrows (1998)	34
2.3.3. Método centróide com pontos adicionais (NASCIMENTO <i>et al.</i> , 2009)	35
2.3.4. Método Eberhart e Russell (1966)	37
2.3.5. Método Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)	38
2.4. Referências	39
3. CAPÍTULO I	
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CLONES PRECOSES DE CANA-DE- AÇÚCAR NO ESTADO DO PARANÁ PELO MÉTODO AMMI	48
3.1. Resumo	49
3.2. Abstract	50
3.3. Introdução	51
3.4. Material e Métodos	52
3.5. Resultados e discussão	55
3.6. Conclusões	64
3.7. Referências	65
4. CAPÍTULO II	
ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CANA-DE- AÇÚCAR DE CICLO PRECOCE POR ANÁLISE DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR.	68
4.1. Resumo	69
4.2. Abstract	70
4.3. Introdução	71
4.4. Material e Métodos	73
4.5. Resultados e discussão	86
4.6. Conclusões	88
4.7. Referências	89
5. CAPÍTULO III	
ASSOCIAÇÃO DE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE CICLO PRECOCE	91

5.1. Resumo	92
5.2. Abstract	94
5.3. Introdução	95
5.4. Material e Métodos	98
5.5. Resultados e Discussão	104
5.6. Conclusões	125
5.7. Referências	126
6. CONCLUSÃO GERAL	131

LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1	Resumo da análise da variância de tonelada pol por hectare (TPH) de 14 clones precoces de cana-de-açúcar em cana planta (2003/2004) e cana soca (2004/2005), em 11 localidades no Estado do Paraná e a decomposição da interação G x A, com porcentagem de explicação da variância e o valor acumulado	55
TABELA 3.2	Médias preditas pelo modelo AMMI2 de tonelada pol por hectare (TPH), de 14 clones precoces de cana-de-açúcar em cana planta (2003/2004), em 11 localidades no Estado do Paraná.	57
TABELA 3.3	Médias preditas pelo modelo AMMI2 de tonelada pol por hectare (TPH), de 14 clones precoces de cana-de-açúcar em cana soca (2004/2005), em 11 localidades no Estado do Paraná.	58
TABELA 4.1	Classificação dos genótipos com base nos padrões de resposta através dos testes de hipóteses (TOLER; BURROWS, 1998).	75
TABELA 4.2	Resumo da análise conjunta de variância para tonelada de pol por hectare de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo de maturação precoce no Paraná.	76
TABELA 4.3	Médias de tonelada de pol por hectare (TPH), índice de qualidade ambiental (μ_j) pelo método de Toler e Burrows (1998) e coeficiente de variância (CV), de 14 genótipos de cana-de-açúcar em 11 ambientes no Estado do Paraná.	78
TABELA 4.4	Médias observadas (Y_i), estimativas dos parâmetros do modelo não-linear de Toler e Burrows (1998) (α , β_{1i} , β_{2i} e β_i), coeficiente de determinação (R^2) e padrões de resposta (grupos A a E) para tonelada de pol por hectare (TPH) em cana planta, de clones precoces de cana-de-açúcar, em 11 ambientes no Estado do Paraná.	79
TABELA 4.5	Médias observadas (Y_i), estimativas dos parâmetros do modelo não-linear de Toler e Burrows (1998) (α , β_{1i} , β_{2i} e β_i), coeficiente de determinação (R^2) e padrões de resposta (grupos A a E) para tonelada de pol por hectare (TPH) em cana soca, de clones precoces de cana-de-açúcar, em 11 ambientes no Estado do Paraná.	80
TABELA 4.6	Médias preditas pelo método Toler e Burrows (1998) de tonelada de pol por hectare, de 14 clones precoces de cana-de-açúcar em cana planta (2003/2004), em 11 localidades no Estado do Paraná.	82
TABELA 4.7	Médias preditas pelo método Toler e Burrows (1998) de tonelada de pol	

	por hectare, de 14 clones precoces de cana-de-açúcar em cana soca (2004/2005), em 11 localidades no Estado do Paraná.	83
TABELA 5.1	Resumo da análise conjunta de variância para tonelada de pol por hectare de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo de maturação precoce, em 11 localidades no Estado do Paraná.	104
TABELA 5.2	Médias de tonelada de pol por hectare e coeficiente de variância (CV %) de 14 clones precoces de cana-de-açúcar em cana planta (2003/2004), em 11 localidades no Estado do Paraná.	105
TABELA 5.3	Médias de tonelada de pol por hectare e coeficiente de variância (CV %) de 14 clones precoces de cana-de-açúcar em cana soca (2004/2005), em 11 localidades no Estado do Paraná.	106
TABELA 5.4	Estimativas dos parâmetros do método de Eberhart e Russell (1966) para médias de tonelada de pol por hectare (TPH), de 14 genótipos precoces de cana-de-açúcar, em 11 localidades no Estado do Paraná.	107
TABELA 5.5	Parâmetros de adaptabilidade e estabilidade para as médias de tonelada de pol por hectare (TPH) para ambientes favoráveis e desfavoráveis (P_i), pelo método proposto por Lin e Binns (1988) e modificado por Carneiro (1998), para genótipos precoces de cana de açúcar, em 11 localidades no Estado do Paraná.	109
TABELA 5.6	Classificação dos ambientes utilizando o índice ambiental (I_j) e valores mínimos e máximos da característica tonelada de pol por hectare (TPH) calculados pelo método centróide com pontos adicionais, de 14 genótipos de cana-de-açúcar em cana planta e cana soca, em 11 localidades no Estado do Paraná.	111
TABELA 5.7	Classificação de 14 genótipos de cana-de-açúcar em cana planta, em um dos sete grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação para a característica tonelada de pol por hectare (TPH), em 11 localidades no Estado do Paraná.	112
TABELA 5.8	Classificação dos genótipos de cana-de-açúcar em cana soca, em um dos sete grupos caracterizados pelos centróides e a probabilidade associada à sua classificação para a característica tonelada de pol por hectare (TPH), em 11 localidades no Estado do Paraná.	113
TABELA 5.9	Estimativas dos autovalores e fração cumulativa explicada pelos componentes principais para a característica tonelada de pol por hectare (TPH), em 11 localidades no Estado do Paraná.	114
TABELA 5.10	Estimativas do coeficiente de correlação de Spearman aplicado às ordens	

de adaptabilidade e estabilidade de cada par de métodos, da análise de 14 genótipos precoces de cana-açúcar, em cana planta e cana soca, em 11 localidades no Estado do Paraná. 118

TABELA 5.11 Resumo da classificação de 14 genótipos precoces de cana-de-açúcar por diferentes métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade de tonelada pol por hectare (TPH), em 11 ambientes no Estado do Paraná 121

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	Representação esquemática das etapas do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da UFPR/RIDESA.	24
FIGURA 3.1	Representação esquemática do biplot IPCA1 x Rendimento médio	54
FIGURA 3.2	Biplot AMMI1 com o primeiro eixo principal da interação (IPCA1) x rendimento médio de tonelada pol por hectare (TPH) de 14 genótipos de cana-de-açúcar, em cana planta (2003/2004) (A) e em cana soca (2004/2005) (B), em 11 localidades no Estado do Paraná. A linha vertical no centro representa a média geral de 16,6 t.ha ⁻¹ (A) e 14,1 t.ha ⁻¹ (B). G1-RB855046, G2-RB855156, G3-RB855453, G4-RB925211, G5-RB925345, G6-RB945961, G7-RB946903, G8-RB955970, G9-RB956911, G10-RB965902, G11-RB965911, G12-RB966925, G13-RB966927, G14-RB966928.	59
FIGURA 3.3	Biplot AMMI2 com os dois primeiros eixos principais de interação (IPCA1 e IPCA2) de tonelada pol por hectare de 14 genótipos de cana-de-açúcar (G1 a G14), em cana planta (2003/2004) (A) e cana soca (2004/2005) (B), em 11 localidades no Estado do Paraná (A1 a A11). G1-RB855046, G2-RB855156, G3-RB855453, G4-RB925211, G5-RB925345, G6-RB945961, G7-RB946903, G8-RB955970, G9-RB956911, G10-RB965902, G11-RB965911, G12-RB966925, G13-RB966927, G14-RB966928. A1: São Tomé; A2: Rondon; A3: Jandaia do Sul; A4: Nova Londrina; A5: Ibaiti; A6: Bandeirantes; A7: Jussara; A8: Mandaguaçu; A9: Cidade Gaúcha; A10: Paranavaí; A11: São Pedro do Ivaí	61
FIGURA 4.1	Comportamento de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo precoce: (A) com mudança de bi-segmentado (grupo A) em cana planta, para uni-segmentado (grupo C) em cana soca; (B) sem mudança de comportamento (grupo C)	87
FIGURA 5.1.	Exemplo de dispersão gráfica de dois componentes principais (CP1 e CP2), obtida a partir de sete centróides. Os sete pontos numerados em algarismos romanos representam os ideótipos.	101
FIGURA 5.2	Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) de 14 genótipos de cana-de-açúcar em cana planta (2003/2004), de tonelada de pol por hectare em 11 localidades no Estado do Paraná. Os pontos de I a VII representam os ideótipos: I – máxima adaptabilidade geral; II – máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III – máxima adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; IV – mínima adaptabilidade; V – média adaptabilidade geral; VI – média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII – média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis. Pontos de 1 a 14 dos clones de cana-de-açúcar: 1-RB855046, 2-RB855156, 3-RB855453, 4-RB925211, 5-RB925345, 6-	

RB945961, 7-RB946903, 8-RB955970, 9-RB956911, 10-RB965902, 11-
RB965911, 12-RB966925, 13-RB966927, 14-RB966928. 115

FIGURA 5.3 Dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2) de 14 genótipos de cana-de-açúcar em cana soca (2004/2005), de tonelada de pol por hectare em 11 localidades no Estado do Paraná. Os pontos de I a VII representam os ideótipos: I – máxima adaptabilidade geral; II – máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; III – máxima adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis; IV – mínima adaptabilidade; V – média adaptabilidade geral; VI – média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis; VII – média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis. Pontos de 1 a 14 dos clones de cana-de-açúcar: 1-RB855046, 2-RB855156, 3-RB855453, 4-RB925211, 5-RB925345, 6-RB945961, 7-RB946903, 8-RB955970, 9-RB956911, 10-RB965902, 11-RB965911, 12-RB966925, 13-RB966927, 14-RB966928. 116

RESUMO

Em programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar busca-se a identificação e indicação de novos clones com melhores qualidades agronômicas, principalmente maior rendimento de açúcar, com ciclo de maturação que aumente o período útil de industrialização e com alta previsibilidade de produção em diferentes regiões. Os programas envolvem seleção de parentais para cruzamentos, seleção de plantas individuais para formação de clones, multiplicação e avaliação de clones em vários locais, com diferentes condições ambientais para estudo da interação genótipo x ambiente (G x A) e análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica para indicação de cultivares. O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo de maturação precoce e estudar a associação de diferentes métodos de avaliação. Foram avaliados 14 genótipos precoces sendo três variedades padrão, em fase de experimentação do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná (PMGCA/UFPR), que faz parte da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), para a característica tonelada de pol por hectare (TPH) em 11 localidades no Estado do Paraná. Após análise de variância conjunta dos experimentos e identificação da interação G x A significativa, efetuou-se análise de adaptabilidade e estabilidade pelos seguintes métodos: AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction analysis*) (Zobel *et al.* 1988), Toler e Burrows (1998), Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) e método centróide com pontos adicionais (NASCIMENTO *et al.*, 2009). Pelo método AMMI pode-se identificar genótipos com adaptação específica a determinados ambientes, como por exemplo, o clone RB965911 para a localidade São Pedro do Ivaí em cana planta e para Nova Londrina em cana soca e o clone RB946903 para Nova Londrina em cana planta. O método AMMI possibilitou a identificação das localidades Paranavaí e Mandaguaçu com a menor interação genótipo x ambiente, com maior estabilidade, onde o ordenamento dos genótipos apresentou maior confiabilidade em relação à média de tonelada pol por hectare (TPH) nos ambientes testados. Estes ambientes podem ser indicados para avaliações nas fases iniciais do Programa. Os genótipos foram classificados nos grupos A, B, C e E pelo método de Toler e Burrows, com comportamento uni-segmentado ou bi-segmentado e diferenciados quanto ao desempenho em ambientes favoráveis ou desfavoráveis. O genótipo RB966928 apresentou alta produtividade de TPH, classificado no grupo C, com alto ajuste do modelo aos dados, indicando adaptabilidade ampla aos diferentes ambientes e estabilidade fenotípica. São Pedro do Ivaí apresentou os maiores valores positivos do índice de qualidade ambiental pelo método de Toler e Burrows, em cana planta e cana soca, contribuindo mais para o aumento da média de TPH. O método AMMI apresentou fraca associação com os métodos baseados em coeficientes de regressão e de médias, podendo ser recomendado para uso simultâneo com os métodos de Toler e Burrows, de Eberhart e Russell, de Lin e Binns modificado por Carneiro e método centróide com pontos adicionais. Os genótipos de cana-de-açúcar RB966928, RB946903 e RB965911 foram identificados como os melhores clones neste trabalho, com maiores produtividades de tonelada pol por hectare, de modo geral classificados como estáveis e de adaptabilidade geral pelos métodos utilizados, podendo ser indicados como clones promissores para plantio no Norte e Noroeste do Estado do Paraná. O uso de métodos baseados nas diferentes técnicas de análise de regressão linear,

regressão não-linear, análise não-paramétrica, análise multivariada e interação de análise univariada com multivariada possibilitaram uma melhor interpretação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos para seleção e indicação de cultivares com maior previsibilidade.

Palavras-chave: AMMI, regressão linear e não-linear, componentes principais, genótipo x ambiente.

ADAPTABILITY AND STABILITY EVALUATION OF EARLY MATURING CLONES OF SUGARCANE (*Saccharum* spp.)

ABSTRACT

Genetic plant breeding programs of sugarcane aims the identification and recommendation of new clones with better agronomic qualities, mainly higher sugar yield, with maturing cycle that elevate useful industrialization period and with high predictability of production in different regions. Programs begins with parent selection for crosses, individual plant selection to form clones, multiplication and evaluation of clones in several places, with different environment conditions to study the genotype x environment interaction (G x E) and to analyse the phenotypic adaptability and stability to recommend the cultivars. The aim of this work was to evaluate the adaptability and stability of sugarcane genotypes with early maturing cycle and to study the association of different evaluation methods. It was evaluated 14 genotypes with early maturing cycle, with three standard varieties, in the experimental stage of the UFPR Sugarcane Breeding Program, part of RIDESA, to tons of pol per hectare trait (TPH) in 11 places at Paraná State. After analysis of combined variance of the experiments and identification of significant G x E interaction, adaptability and stability was studied by the following methods: AMMI (Zobel *et al.* 1988), Toler and Burrows (1998), Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988) modified by Carneiro (1998) and by centroid method with additional points (NASCIMENTO *et al.*, 2009). By the AMMI method, genotypes were identified with specific adaptation to certain environments, such as RB965911 clone to São Pedro do Ivaí place in plant cane and to Nova Londrina place in ratoon cane and RB946903 clone to Nova Londrina place in plant cane. The AMMI method identified Paranavaí and Mandaguaçu as lower G x E interaction, with higher stability and the genotype order showed higher reliability in relation to tons per hectare average (TPH) in tested environments. Both can be indicated to the early stages of the Program. Genotypes were classified into A, B, C and E groups by the Toler and Burrows method, with uni-segmented or bi-segmented behavior, differentiated to performance in the favorable and unfavorable environments. RB966928 genotype showed high TPH yield, classified in C group, with high model fit to data, indicating wide adaptability to different environment and phenotypic stability. São Pedro do Ivaí showed highest positive values of the environmental quality index by the Toler and Burrows method in plant and ratoon cane, contributing more to increase the TPH average. AMMI showed weak association with methods based on regression coefficient and averages, can be recommended for simultaneous use with Toler and Burrows, Eberhart and Russell, Lin and Binns modified by Carneiro and centroid with additional points methods. The RB966928, RB946903 and RB965911 genotypes were identified as the best clones in this experiment, with highest yield of TPH, in general classified as stable and with general adaptability by the methods used, and can be indicated as promising clones to cultivate in North and Northwestern of the Paraná State. The use of methods based in the different techniques by linear regression analysis, non-linear regression, non-parametric analysis, multivariate analysis and by the interaction of univariate with multivariate analysis, permits a better interpretation of the genotypes adaptability and stability to the cultivars selection and indication with higher predictability.

Key-words: AMMI, linear and non-linear regression, principal components, genotype x environmental.

1. INTRODUÇÃO

A cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) destinada à atividade sucroalcooleira foi plantada em área superior a 9,0 milhões de hectares no Brasil na safra 2009/2010. O total de cana moída foi superior a 612 milhões de toneladas, destinada principalmente à produção de açúcar e etanol, com perspectiva de aumento nas próximas safras. O Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar com mais de 34% da produção mundial. O Estado do Paraná é o segundo maior produtor do país, com área de cana-de-açúcar acima de 590 mil hectares e produção acima de 50 milhões de toneladas de cana, distribuídas principalmente nas regiões Norte e Noroeste do Estado, em 30 unidades de usinas e destilarias (CONAB, 2009; ALCOPAR, 2010; BRASIL, 2009).

Os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar buscam identificar novos clones com melhores qualidades agrônômicas, obtidas a partir de cruzamentos entre variedades de *Saccharum* spp. No Estado do Paraná atua o Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná (PMGCA/UFPR/RIDESA), que faz parte da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro – RIDESA, responsável pelo desenvolvimento das variedades RB (República do Brasil). O Programa possui diversas fases de seleção e procurando aumentar o tempo de safra com a introdução de novos clones com ciclos de maturação precoce, médio e tardio e elevado potencial de produtividade agroindustrial. Os genótipos são selecionados com base nas avaliações de caracteres agrônômicos, como ciclo de maturação, maior rusticidade às condições ambientais, tolerância ao estresse hídrico, resistência a pragas e doenças, alto rendimento de açúcar, favorável ao processo de mecanização da cultura, boa capacidade de brotação no plantio mecanizado, uniformidade de perfilhamento, porte ereto e adequação ao corte mecanizado, entre outros.

O nível de adoção de variedades RB está acima de 58 % das áreas cultivadas no Brasil, que representa mais de 5 milhões de hectares

Um dos objetivos do Programa é atender a necessidade da cultura da cana-de-açúcar em diferentes ambientes, favoráveis e desfavoráveis, de variedades de ciclo de maturação precoce. Para isto é preciso realizar ensaios de campo com os clones promissores, identificar a existência da interação genótipo x ambiente de locais contrastantes e efetuar análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica, recomendando variedades com maior previsibilidade de comportamento.

No PMGCA/UFPR/RIDESA utilizam-se, nas diferentes fases de seleção, diferentes métodos estatísticos para avaliação e seleção de clones promissores, nas diferentes fases. Entre estes estão: a metodologia de modelos lineares mistos (REML/BLUP), que permite estimar os componentes de variância e prever os valores genotípicos dos clones candidatos a seleção para caracteres quantitativos, utilizado nas etapas iniciais do programa; a estatística da média harmônica da performance relativa dos valores genotípicos (MHPRVG), de modelos mistos com efeitos genéticos aleatórios; análise de adaptabilidade e estabilidade pela metodologia não-paramétrica de Lin e Binns (1988) e gráficos de Isoquanta nas fases finais de seleção do Programa.

A aplicação de novas metodologias é importante para acrescentar informações e auxiliar na seleção de clones promissores, identificando genótipos com adaptabilidade ampla ou específica e boa estabilidade geral. Assim, podem-se utilizar os seguintes métodos: AMMI (análise de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa) com análise univariada e multivariada, que tem como características a identificação de genótipos de boa estabilidade e genótipos com adaptabilidade específica a uma determinada localidade; método não-linear de Toler e Burrows (1998), que tem a característica de identificar genótipos com ampla adaptabilidade, ou com comportamento de maior ou menor responsividade a ambientes favoráveis ou desfavoráveis; método centróide com pontos adicionais, de análise multivariada por componentes principais, que identifica genótipos com ampla ou média adaptabilidade geral, com alta ou média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis, ou ainda genótipos com pouca adaptabilidade geral. Estes métodos apresentam gráficos de fácil interpretação para classificação dos genótipos quanto à adaptabilidade e estabilidade.

O estudo da associação entre os métodos, verificando-se as similaridades ou divergências quanto ao ordenamento dos genótipos nos diferentes ambientes, também facilita a tomada de decisões de recomendação de genótipos, pois identifica a maior ou menor correlação entre as

metodologias, observando-se quais destes métodos são complementares ou de informações redundantes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de ciclo precoce de cana-de-açúcar na fase experimental do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná, por meio de diferentes métodos e analisar as associações entre estes. O objetivo específico foi avaliar os genótipos precoces com maior adaptabilidade e estabilidade para indicação de cultivares, de acordo com os métodos de regressão linear, de regressão não-linear, não-paramétrico, multivariado e método com interação de univariado e multivariado.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Melhoramento da cultura da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é uma planta da família Poaceae (gramíneas), do gênero *Saccharum* L. em que ocorrem seis espécies. A espécie *Saccharum officinarum* L. é conhecida como “cana nobre” e constitui a espécie-base dos programas de melhoramento, com a qual se faz cruzamentos interespecíficos e retrocruzamentos, processo denominado nobilização. Os cultivares plantados são híbridos de sexta a décima geração (MATSUOKA *et al.*, 1999).

A cana-de-açúcar foi melhorada por muitos séculos de cultivo, originada por uma série de cruzamentos interespecíficos entre *S. officinarum* L. ($2n = 80$) e *S. spontaneum* L. ($2n = 40-128$). As variedades de cana-de-açúcar podem ser poliplóides e aneuplóides, variando de 80 a 130 cromossomos. O nível de heterozigosidade de todas as variedades de cana-de-açúcar é alto e o número básico de cromossomos é $10x$. Estes aspectos genéticos variáveis tornam complexo o melhoramento da espécie (BORÉM *et al.*, 2010). Com exceção de *S. edule* Hassk ($2n = 60-80$), todas as demais espécies - *S. robustum* Brandes e Jeswiet ex Grassl ($2n = 60-205$), *S. barberi* Jeswiet ($2n = 81-124$) e *S. sinense* Roxb. ($2n = 111-120$) - podem estar participando no genoma dos híbridos interespecíficos atualmente cultivados (MATSUOKA *et al.*, 1999).

A cultura de cana-de-açúcar esteve concentrada no Brasil, até início do século XX, nos Estados de Pernambuco e Alagoas. Passou por várias fases de crescimento e crises, culminando com a epidemia do vírus-do-mosaico na década de 1920, devastando os grandes centros açucareiros na América. Os canaviais brasileiros eram formados exclusivamente por canas nobres, muito ricas em açúcar, porém altamente susceptíveis ao mosaico. Novas variedades foram introduzidas e buscou-se o desenvolvimento de novas cultivares por meio de sementes verdadeiras (PEDROZO, 2006).

As primeiras estações experimentais de melhoramento de cana-de-açúcar no Brasil foram: a de Escada, no Estado de Pernambuco, que esteve ativa entre 1913 e 1924, lançando as variedades EB; a estação experimental de Campos, no Rio de Janeiro, entre 1916 e 1972,

variedades CB; de Barreiros, na Bahia, entre 1924 e 1933, variedades EB; de Curado, em Recife, Pernambuco, entre 1933 e 1974; o Instituto Agrônomo de Campinas, em São Paulo, iniciado em 1935 e ativo até os dias atuais, com as variedades IAC; e o Programa de Melhoramento da Coopersucar, iniciado em 1968 a partir da Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo, com as variedades SP.

Atualmente, os principais programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar no Brasil são: o tradicional programa do Instituto Agrônomo de Campinas – IAC; o do Centro de Tecnologia Canavieira – CTC; o das universidades federais que compõem a Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro – RIDESA; e o programa mais recente, Canavialis (Monsanto) (BARBOSA; SILVEIRA, 2010; PEDROZO, 2006).

A RIDESA foi formada em 1991 da união entre universidades federais do país que absorveram as atividades de pesquisa desenvolvidas anteriormente pelo extinto Planalsucar, que era vinculado ao extinto Instituto do Açúcar e Álcool – IAA. Inicialmente participaram a UFSCar, UFV, UFRRJ, UFS, UFAL, UFRPE e UFPR e, posteriormente, foram agregadas a UFG, UFMT e UFPI, desenvolvendo atividades de melhoramento genético, manejo da cultura, sócio-econômica, fitossanidade, solos e adubação, industrialização e as especificidades de cada uma destas áreas (PMGCA/UFPR/RIDESA, 2009; BARBOSA; SILVEIRA, 2010).

O nível de adoção atual de variedades RB (República do Brasil) provenientes de pesquisa da RIDESA está acima de 58 % da área de cana-de-açúcar cultivada no Brasil, que representa mais de 5 milhões de hectares (SCHIAVINATO *et al.*, 2009; RIDESA, 2010a; RIDESA, 2010b). Atualmente o acervo varietal da RIDESA consta de 78 variedades com aptidões de cultivo para todo o Brasil, das quais treze foram liberadas em 2010 (RIDESA, 2010a).

O Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da RIDESA é dividido em fases de desenvolvimento (Figura 2.1). Os genótipos plantados são oriundos de cruzamentos dirigidos (cruzamentos biparentais, cruzamentos de área e policruzamentos), realizados na Estação de Cruzamentos e Florescimento da Serra do Ouro, Município de Murici, Alagoas (9°13'S, 35°50'W, 450 m). Este banco de germoplasma contém 2607 genótipos de cana-de-açúcar (RIDESA, 2010a), até o presente momento, entre cultivares utilizados no país, clones, outras espécies relacionadas ao gênero e cultivares importados de diferentes regiões. As sementes produzidas são enviadas às universidades que compõem a RIDESA, sendo que no Paraná cabe à UFPR o desenvolvimento de novas variedades RB (República do Brasil) de cana-

de-açúcar para o Centro-Sul do país (BARBOSA *et al.*, 2001; PMGCA/UFPR/RIDESA, 2009; BARBOSA; SILVEIRA, 2010; RIDESA, 2010a).

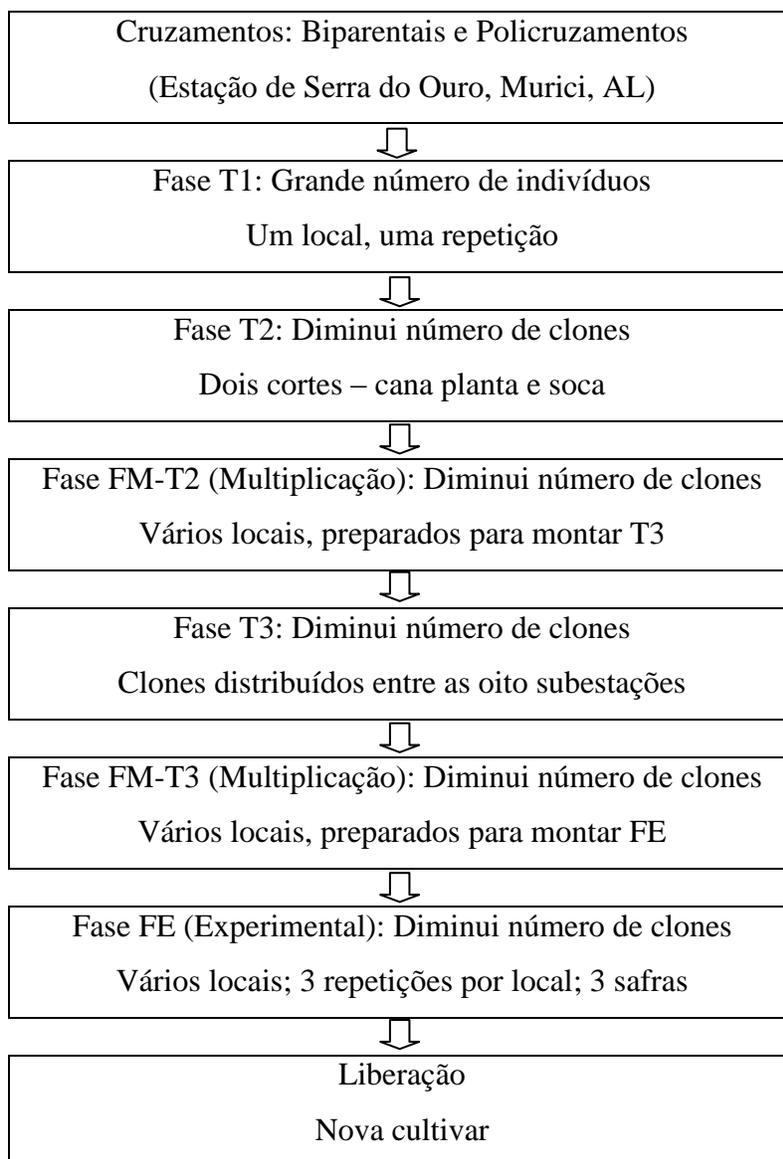


FIGURA 2.1. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DAS ETAPAS DO PROGRAMA DE MELHORAMENTO GENÉTICO DE CANA-DE-AÇÚCAR DA UFPR/RIDESA. FONTE: PMGCA/UFPR/RIDESA (2009).

Para a realização dos cruzamentos deve ocorrer indução do florescimento na planta e desenvolvimento da panícula. As exigências fisiológicas da planta envolvem o fotoperíodo, que

deve ser de dias intermediários a dias curtos e depende de fatores ambientais como latitude, temperatura (exige temperaturas baixas), umidade (déficit hídrico), radiação e qualidade da luz, altitude, nutrição, etc., em combinação e em interação com fatores bióticos, especialmente idade da planta, estágio vegetativo, doenças, etc. (MATSUOKA *et al.*, 1999). Estas condições são observadas na Estação de Cruzamentos e Florescimento da Serra do Ouro, onde ocorre florescimento natural de 90% do germoplasma de cana-de-açúcar.

A fase T1 corresponde à primeira fase de seleção e inicia-se com a germinação de sementes (cariopses) dos cruzamentos, produção de plântulas, transplântio de mudas para o campo, avaliação e seleção de plantas individuais (touceira). A fase T1, no Estado do Paraná, é conduzida em cana planta e cana soca e a seleção é feita em cana soca, em duas épocas, abril e julho, buscando-se clones com característica de precocidade na primeira época. Os genótipos são selecionados comparando-se com variedades padrões comerciais de ciclo de maturação precoce (RB855156, RB855453 e RB925211) e médio/tardio (RB72454, RB835486 e RB867515). São considerados os caracteres de seleção de alta herdabilidade que podem ser correlacionados com a produtividade, como teor de sólidos solúveis (Brix), minimizando a possibilidade de descartar indivíduos superiores, aliado à avaliação das principais doenças da cana-de-açúcar (LOPES, 2007; PMGCA/UFPR/RIDESA, 2009; BARBOSA; SILVEIRA, 2010).

No Estado do Paraná, a fase T1 é conduzida em quatro subestações do PMGCA/UFPR, com plantio anual de 50.000 a 150.000 *seedlings* por subestação. O número de plantas instaladas na fase T1 com seleção no período de 2009 a 2011 corresponde a mais de 1,18 milhões. Resultados de 1994 a 2004 indicaram que a taxa de seleção foi em média de 0,28% para genótipos de ciclo precoce e de 1,65% para genótipos de ciclo tardio (PMGCA/UFPR/RIDESA, 2009).

Na fase T2 é feito o plantio na própria subestação, dos clones selecionados em T1, em dois sulcos de 5,0 m e espaçamento de 1,40 m, intercalado por variedades padrões. Utiliza-se o delineamento em blocos aumentados, sem a necessidade de repetições. A seleção é feita em cana soca no mês de abril para clones precoces e em julho para clones tardios. Os clones selecionados são agrupados e plantados em oito subestações na fase FM-T2, que é fase de multiplicação para instalação da futura fase T3.

Os clones selecionados para a fase T3 são plantados em duas linhas de 5,0 m, espaçadas de 1,40 m, com duas repetições e intercaladas pelos padrões. A pressão de seleção é elevada,

feita em cana soca, separadamente para clones precoces e tardios. Na fase FM-T3 os clones são plantados em quatro linhas de 10,0 m, espaçadas de 1,40 m, intercalados pelos padrões para multiplicação. A partir desta fase, os clones selecionados são trocados com as demais universidades integrantes da RIDESA (PMGCA/UFPR/RIDESA, 2009).

Na fase de experimentação os clones promissores são testados em vários locais e analisados em três ciclos de cultivo. Os delineamentos são em blocos casualizados, com três ou quatro repetições e dois padrões por bloco. Os experimentos são analisados individualmente e em análise conjunta, considerando os diferentes locais e efeito dos ciclos, utilizando o procedimento estatístico MHPRVG, no contexto dos modelos mistos. A área de experimentação conta com aproximadamente 700 ha, distribuídos em oito subestações experimentais no Estado do Paraná (PMGCA/UFPR/RIDESA, 2009; LOPES, 2007).

Na seleção de clones promissores da cana-de-açúcar devem-se levar em consideração vários fatores, dentre estes: a produção de colmos, o teor de açúcar e a época de maturação. A maturação é o processo fisiológico de transporte e armazenamento da sacarose nas células parenquimatosas dos colmos. É altamente influenciada pelas condições edafoclimáticas e requer, de maneira geral, de seis a oito meses com temperaturas elevadas, radiação solar intensa e precipitações regulares para que haja pleno crescimento vegetativo, seguidos de quatro a seis meses com estação seca e/ou de baixas temperaturas, condições essas desfavoráveis ao crescimento e benéfica ao acúmulo de sacarose (BARBOSA; SILVEIRA, 2010).

As condições de precipitação e temperatura nos meses de abril, maio e junho, que correspondem ao início da safra, podem favorecer o desenvolvimento vegetativo da cana, em detrimento do acúmulo de sacarose. A Pol, que é a sacarose aparente, é a metodologia utilizada para determinação da maturação, além do cálculo do pagamento e dos balanços agrícola e industrial. A análise de açúcares em geral que estejam numa solução é medida por refratometria, na escala Brix, que constitui um método físico para medir a quantidade de sólidos solúveis presente na amostra (MARQUES; SILVA, 2008).

A maturação é o momento de acumulação máxima de sacarose, produtos fotoassimilados, nos colmos da cana-de-açúcar, que são os órgãos de reserva. Ocorre o engrossamento e alongamento das células da parede, aumento sensível da matéria seca, gradual desidratação, aumento e retenção da sacarose acumulada, diminuição do alongamento das folhas do colmo e

posterior desprendimento delas. O acúmulo de reservas ocorre da base para o ápice do colmo (DIOLA; SANTOS, 2010).

O Brix é a porcentagem, em peso, de sólidos solúveis aparentes contidos no caldo de cana. Entre estes, a glicose e a frutose são conhecidos como açúcares redutores (AR), pois tem a propriedade de reduzir os íons cúpricos a íons cuprosos. Com o acúmulo de sacarose na maturação, ocorre uma redução do teor de AR e aumento de pureza. A indicação do momento de corte da cana é feita por meio da relação entre o Brix do topo e o Brix da base do colmo, obtendo-se o índice de maturação (IM) (CALDAS; SANTOS, 2010).

$$IM = \frac{\text{Brix do topo do colmo}}{\text{Brix da base do colmo}} \times 100$$

Assim, à medida que o Brix do topo do colmo se assemelha ao Brix da sua base, o valor ficará mais próximo de 1,0 e considera-se a cana madura.

Os cultivares são classificados por época de maturação em: precoce – apresentam teor de sacarose superior a outros cultivares no início da safra (abril e maio); média – apresentam teor de sacarose superior no meio da safra (junho, julho, agosto); tardia – apresentam elevado teor de sacarose a partir de meados para o final da safra (pico de maturação em agosto/setembro). Podem ser classificados com Período Útil de Industrialização curto (PUI < 120 dias), médio (PUI de 120 a 150 dias), ou longo (PUI > 150 dias), dependendo da sanidade do canavial (BARBOSA; SILVEIRA, 2010). A cana-de-açúcar é considerada madura, ou em condição de ser industrializada, quando apresentar teor mínimo de sacarose (Pol% da cana) acima de 12,275% do peso do colmo, sendo melhor o rendimento quanto maior for esta variável (DEUBER, 1988).

No Centro-Sul do Brasil um dos principais objetivos dos programas de melhoramento da cana-de-açúcar é a obtenção de variedades com ciclo de maturação precoce. A antecipação da colheita com o plantio de variedades precoces é importante para estender o tempo de safra da cana, uma vez que o início da safra no Estado do Paraná tem ocorrido no mês de março (OLIVEIRA, 2007). Com a seleção para precocidade, almeja-se também reduzir possíveis prejuízos provocados por geadas, que ocorrem geralmente no mês de julho na região Sul.

2.2. Interação genótipo x ambiente

A interação G x A refere-se à alteração no desempenho relativo dos genótipos em virtude das diferenças de ambiente. Constitui-se num dos maiores problemas dos programas de melhoramento de qualquer espécie, seja na fase de seleção ou na de recomendação de cultivares. Entre as alternativas para minimizar esse problema está a escolha de variedades com ampla adaptação e boa estabilidade (CRUZ; CARNEIRO, 2003; BORÉM, 1997).

A interação G x A representa uma das principais dificuldades para a seleção em programas de melhoramento genético. Nas fases iniciais dos programas, a presença de interação pode inflacionar as estimativas de variância genética, resultando em superestimativas dos ganhos genéticos esperados. Nas fases finais dos programas, os ensaios são conduzidos em vários ambientes (locais, anos e/ou épocas), possibilitando o isolamento deste componente de variabilidade. Na maioria das vezes, a presença de interação faz com que os melhores genótipos num local não o sejam em outros, dificultando a recomendação de novas variedades para todos os ambientes avaliados. Por outro lado, interações positivas associadas com características previsíveis do ambiente oferecem oportunidade de rendimentos mais elevados, tirando-se proveito desta interação (DUARTE; VENKOVSKY, 1999).

Em programas de melhoramento genético quando o objetivo é selecionar genótipos produtivos em um amplo espectro de ambientes, é interessante que haja interação G x A de baixa magnitude ou com efeito não significativo. Para seleção de genótipos altamente adaptados a ambientes específicos preferem-se situações de grande interação G x A (KVITSCHAL, 2003). Entretanto, Borém (1997) ressalta que as condições ambientais são bastante flutuantes e deve-se ter muita cautela na indicação de cultivares com comportamento superior em ambientes muito específicos, mas medíocre em outros.

A interação significativa está relacionada à impossibilidade de uma interpretação aditiva para os efeitos principais. Pode ocorrer interação simples, que resulta da desigualdade das variâncias nas respostas genóticas de um ambiente para outro, sem modificação no posicionamento relativo dos genótipos; ou interação complexa, com total falta de correlação nos comportamentos genóticos entre os ambientes, com inconsistência da ordenação dos genótipos de um ambiente para outro (BORÉM, 1997; DUARTE; VENKOVSKY, 1999).

Silva e Duarte (2006) comentam que é necessário conduzir os experimentos no maior número possível de locais e anos para diminuir o efeito da interação G x A, avaliando-se a magnitude da interação e seu possível impacto sobre a seleção e recomendação de cultivares.

Identificando-se a interação G x A significativa, deve-se efetuar análise de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos, utilizando-se de uma das várias metodologias propostas e que seja mais adequada aos objetivos do programa de melhoramento.

Os componentes da interação podem ocorrer entre genótipos x ambientes, genótipos x locais, genótipos x safra e genótipos x locais x safra. Kimbeng *et al.* (2009) identificaram a interação genótipos x safra em cana-de-açúcar como o componente de variância mais importante nas análises, realçando a importância de teste para capacidade da soqueira. Sugerem que ganhos substanciais por seleção podem ser alcançados aumentando-se o número de anos de cultivo sobre os quais os genótipos são testados. Zeni-Neto *et al.* (2008) considerando a correlação de valores de Pi entre os ciclos de cana planta, cana soca e cana de segunda soca, observaram a presença de interação genótipo x ciclo, sugerindo que para alguns genótipos o desempenho pode ser diferente, dependendo do ciclo da cultura.

2.3. Estabilidade e adaptabilidade fenotípica

Ensaio de competição de genótipos são realizados para avaliação e recomendação de novas variedades ou cultivares. A indicação considerando apenas a média geral, favorece genótipos que se sobressaem nos melhores ambientes, mas não discrimina os que se adaptam às melhores e às piores condições. O conhecimento do comportamento ou adaptabilidade de genótipos a determinados ambientes é de grande importância para a avaliação do valor agrônomo dos cultivares (MURAKAMI *et al.*, 2004).

Na presença de interação de genótipos com o ambiente (G x A) realiza-se análise de adaptabilidade e estabilidade para identificar genótipos de comportamento previsível e que sejam responsivos às variações ambientais, aproveitando vantajosamente aos estímulos, em condições específicas ou amplas (CRUZ *et al.*, 2004). Ao iniciar um programa de melhoramento deve-se definir se o objetivo é pelo desenvolvimento de variedades produtivas em um amplo espectro de ambientes ou de uma variedade altamente adaptada a ambientes específicos (BORÉM, 1997).

A adaptabilidade é a capacidade que um genótipo tem de aproveitar vantajosamente os efeitos ambientais, de maneira a assegurar alto nível de produtividade. A estabilidade está relacionada com a manutenção da produtividade ou de sua previsibilidade com os ambientes diversos (ROCHA, 2002).

Análises de adaptabilidade e estabilidade são procedimentos estatísticos que permitem identificar cultivares de comportamento mais estável e que respondem previsivelmente às variações ambientais. Algumas metodologias também podem dividir os efeitos da interação G x A em efeitos de genótipos e de ambientes, revelando a contribuição relativa de cada um para a interação total (ROCHA, 2002).

A estabilidade da produtividade, em grande amplitude de condições ambientais, tem sido relevante para avaliar o potencial de genótipos, pois permite a identificação dos que interagem o menos possível com os ambientes (MURAKAMI *et al.*, 2004).

Há diversos métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade para avaliação de um grupo de materiais genotípicos, testados numa série de ambientes contrastantes e que apresentem interação G x A. A escolha do método para análise depende dos dados experimentais, do número de ambientes disponíveis, da precisão requerida e tipo de infomação desejada (CRUZ *et al.*, 2004). Os principais métodos baseiam-se em análise de variância, regressão linear, regressão não-linear, análises multivariadas e estatísticas não paramétricas (BASTOS *et al.*, 2007).

O método tradicional é baseado na análise de variância conjunta dos experimentos com desdobramento da soma dos quadrados dos efeitos de ambientes e da interação G x A, em efeitos de ambientes dentro de cada genótipo (CRUZ *et al.*, 2004). Numa modificação do método por Plaisted e Peterson (1959) considera-se que quanto menor a fração de contribuição do genótipo para a interação, mais estável será o material. Mas essas metodologias não apresentam um detalhamento maior dos efeitos ambientais sobre os genótipos e são menos aplicadas.

Os métodos baseados em regressão linear simples e/ou múltiplas são mais empregados, adotando-se o índice ambiental como variável independente e a produtividade média de cada cultivar como dependente (ROSSE, 1999). Os métodos propostos por Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966) baseiam-se em análises de regressão linear, que medem a resposta de cada genótipo às variações ambientais (CRUZ *et al.*, 2004). Diversos autores comentam sobre limitações da metodologia, principalmente pelo risco de descartar bons genótipos quando

apresentarem altos valores de desvios de regressão e forem avaliados por um único coeficiente de regressão (DUARTE; VENKOWSKI, 1999; ROSSE, 1999; FERREIRA *et al.*, 2006).

O método de Toler e Burrows (1998) usa análise de regressão não-linear e bi-segmentada nos parâmetros para estudo da estabilidade fenotípica. É mais eficiente que no método linear, pois descreve o comportamento dos genótipos frente aos vários ambientes e o parâmetro que reflete a qualidade ambiental (μ) não apresenta relação de dependência com as médias fenotípicas do grupo genotípico, como ocorre nas metodologias baseadas em regressão linear. Também permite a escolha de um modelo que explique melhor o desempenho fenotípico dos genótipos, sendo uni ou bissegmentados (KVITSCHAL *et al.*, 2009; NUNES *et al.*, 2006).

Os métodos de análise multivariada envolvem análise de componentes principais, análise de agrupamentos ou a combinação de técnicas como no modelo de efeitos aditivos principais e interação multiplicativa - AMMI. Este é baseado na decomposição das fontes de variação em efeitos aditivos de genótipos e ambientes do modo tradicional e, posteriormente, em efeitos multiplicativos para a interação G x A pela análise de componentes principais, com maior detalhamento da soma de quadrados da interação (ZOBEL *et al.*, 1988).

O método centróide (ROCHA *et al.*, 2005), de análise multivariada com utilização de componentes principais, consiste na comparação da resposta individual dos genótipos avaliados com a resposta de quatro ideótipos referenciais, definidos com base nos dados experimentais. O método modificado por Nascimento *et al.* (2009) inclui mais três ideótipos e é feita interpretação gráfica de genótipos com ampla ou média adaptação geral, alta ou média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis, ou ainda genótipos de baixa adaptabilidade.

O conceito de adaptabilidade e estabilidade no método centróide com pontos adicionais difere das demais metodologias, pois os genótipos de máxima e média adaptação específica não são aqueles que apresentam bom desempenho nos grupos de ambientes favoráveis ou desfavoráveis, mas sim os genótipos que apresentam valores máximos ou médios para determinado grupo de ambientes (favoráveis e desfavoráveis) e mínimo para o outro conjunto (NASCIMENTO *et al.*, 2009).

O método Lin e Binns (1988) é um método de estatística não paramétrica, em que a estimativa da estabilidade genotípica é medida pelo quadrado médio da distância entre a média do genótipo e a resposta média máxima para todos os ambientes (parâmetro P_i). É considerado método de fácil aplicação e interpretação dos parâmetros estimados. Quanto menor o valor de P_i ,

mais estável será o genótipo. Lin *et al.* (1986) propuseram três conceitos de estabilidade: tipo 1 – o cultivar é considerado estável se sua variância ambiental for baixa (biológico); tipo 2 – o cultivar estável é aquele cuja resposta aos ambientes aproxima-se da resposta média de todos os cultivares dos experimentos (agronômico); e tipo 3 – o cultivar será estável se o quadrado médio do desvio de regressão for pequeno, próximo de zero.

A comparação entre as diversas metodologias aplicadas em análise de adaptabilidade e estabilidade tem objetivo de verificar similaridades ou divergências quanto ao ordenamento dos genótipos com os ambientes. Utiliza-se a correlação de Spearman para comparação dos parâmetros de avaliação de cada método. Em análise de correlação entre os métodos AMMI (ZOBEL *et al.*, 1988), Lin e Binns (1988) e Eberhart e Russell (1966) foi observada baixa associação entre AMMI e os demais métodos, sendo os dois últimos os mais discrepantes, não apresentando correlação, identificando-se genótipos mais estáveis e produtivos, com informações complementares obtidas entre os métodos (Melo *et al.*, 2007). Silva e Duarte (2006) recomendam o uso simultâneo dos três métodos por serem pouco correlacionados, com associação relativamente fraca entre eles, mas com correlações de Spearman significativas com a maioria dos outros métodos estudados.

Rosse *et al.* (2002) comparando método linear de Cruz *et al.* (1989) e o não-linear de Toler e Burrows (1990) em cana-de-açúcar, observaram ajuste adequado aos dados pelos dois modelos, com diferenças entre estimativas de qualidade ambiental, porém concordantes em identificar os melhores e piores ambientes. Recomendam o uso do método não-linear para análises de adaptabilidade e estabilidade por suas vantagens estatísticas.

2.3.1. Método AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction analysis*) (ZOBEL *et al.*, 1988)

O método de análise de adaptabilidade e estabilidade AMMI (efeitos aditivos principais e interação multiplicativa), combina um método univariado para os efeitos aditivos de genótipos e ambientes, com um método multiplicativo para os efeitos da interação G x A. Adaptado por Zobel *et al.* (1988) e modificado por Gauch (1992), o objetivo da análise AMMI é modelar os

efeitos da interação através de um modelo de componentes principais (DUARTE; VENCOVSKY, 1999; FERREIRA *et al.*, 2006).

O método pode auxiliar tanto na identificação de genótipos com alta produtividade e amplamente adaptados, como também no zoneamento agrônomico, com a finalidade de recomendação regionalizada e seleção de locais testes (GAUCH; ZOBEL, 1996).

A técnica combina método univariado (análise de variância) com componentes principais e trata a interação multiplicativa desses fatores com base na análise multivariada por componentes principais e decomposição de valores singulares (MAIA *et al.*, 2006). Produz escores de componentes principais de interação para cada genótipo (IPCA – *Interaction Principal Component Analysis*) que refletem a sua contribuição para a interação G x A. O genótipo com menor (es) escore (es), em valor absoluto, é o mais estável (SILVA; DUARTE, 2006).

O detalhamento da interação G x A é feito via decomposição da soma dos quadrados original ($SQ_{G \times A}$), 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. Isso proporciona uma melhoria na capacidade preditiva das respostas genotípicas (OLIVEIRA *et al.*, 2003). A análise AMMI não tem objetivo de recuperar toda a $SQ_{G \times A}$ mas somente a porção devida aos efeitos da interação G x A, enquanto descarta variações indesejadas (ruídos) (DUARTE; VENCOVSKY, 1999).

As coordenadas de genótipos e de ambientes nos eixos principais da interação (IPCA) são representadas em um gráfico biplot, que permite interpretar a estabilidade e a adaptabilidade dos genótipos nos ambientes de teste (OLIVEIRA *et al.*, 2003). A possibilidade de obtenção de gráficos de componentes principais mantidos na análise do modelo AMMI e gráficos dos escores de eixos de IPCA contra o rendimento médio é uma característica importante deste método. Escores de genótipos e ambientes podem ser plotados no mesmo gráfico e usado para identificar, visualmente, a estabilidade e a similaridade entre genótipos e ambientes (FERREIRA *et al.*, 2006). Pode-se ainda representar os componentes principais com o rendimento em gráfico bi ou tri-dimensional (PACHECO *et al.*, 2003).

A análise AMMI apresenta melhor qualidade nas predições de respostas fenotípicas do que os métodos tradicionais, sobretudo quando o padrão da interação G x A é captado apenas

pelo primeiro termo multiplicativo da análise (OLIVEIRA *et al.*, 2003). Assim, podem-se agrupar genótipos com adaptações específicas a épocas de semeadura mais adequadas e mais produtivas (Morais *et al.*, 2003); identificar genótipos mais estáveis e produtivos com informações complementares (ROCHA *et al.*, 2007; CUCOLOTTO *et al.*, 2007; MELO *et al.*, 2007; MAIA *et al.*, 2006); identificar locais mais contrastantes com interação G x A e classificar em zonas agronômicas (PACHECO *et al.*, 2003; YAN *et al.*, 2007); ou classificar um único mega ambiente (CASANOVES *et al.*, 2005; SAMONTE *et al.*, 2005).

O uso simultâneo do método AMMI (ZOBEL *et al.* 1988) com outras metodologias de análise de adaptabilidade e estabilidade é recomendado por diversos autores. Ferreira *et al.* (2006) em estudo de modelos estatísticos recomendam o uso simultâneo do modelo de regressão não-linear de Toler e Burrows (1998) e AMMI. A mesma recomendação foi verificada por Kvitschal *et al.* (2009) em estudo com genótipos de mandioca. Namorato *et al.* (2009) indicam o uso dos métodos multivariados AMMI e GGE (*Genotype main effects and Genotype x Environment interaction*) (YAN *et al.*, 2000) por serem mais eficientes e explicarem cerca de 50% da soma dos quadrados da interação G x A, enquanto o método proposto por Eberhart e Russell (1966) explicou somente de 9,1 % a 15,8 % em cada ano de avaliação.

O uso isolado do método AMMI também é decididamente preferido quando comparado aos modelos GGE (*Genotype main effects and Genotype x Environment interaction*) e análise de componentes principais, pois é superior a estes, não por razões estatísticas, mas agrícolas (GAUCH, 2006).

Bajpai e Kumar (2005) avaliaram genótipos de cana-de-açúcar e concluíram que os modelos AMMI e BLUP de análise de adaptabilidade e estabilidade, são superiores em comparação a modelos de regressão quando estão sob grande interação G x A não-linear. O modelo AMMI deve ser preferido neste caso.

2.3.2. Método de Toler e Burrows (1998)

O método de Toler e Burrows (1998) é um modelo de regressão não-linear nos parâmetros. É considerado um aprimoramento estatístico dos modelos lineares de estabilidade

por contornar os problemas relacionados com a estimativa do índice ambiental, em que esta variável era estimada com os próprios dados dos genótipos (ROSSE *et al.*, 2002).

O método proposto por Toler (1990) de análise bissegmentada é um modelo não-linear com objetivo de dar um sentido mais biológico à resposta dos genótipos, tornando as estimativas mais coerentes com a realidade vegetal. O modelo surgiu como uma alternativa para contornar os problemas relacionados à estimativa do índice ambiental e apresenta testes de hipóteses mais rigorosos para os padrões de respostas, permitindo classificar os genótipos em vários grupos. Representa um aprimoramento das análises de estabilidade que empregam a regressão linear (ROSSE, 1999). Toler e Burrows (1998) comentam sobre críticas ao modelo proposto por Eberhart e Russell (1966) e citam vantagens estatísticas do modelo de regressão não-linear nos parâmetros apresentado por Digby (1979).

Toler e Burrows (1998) propuseram um modelo uni-segmentado e bi-segmentado em que o índice ambiental é um parâmetro a ser estimado. Usa variáveis indicadoras para ambientes favoráveis e desfavoráveis e são incomuns porque a variável independente não é observada (FERREIRA *et al.*, 2006).

São realizados testes de hipóteses dos parâmetros (teste t de Student) que informam sobre o padrão de resposta dos genótipos, possibilitando enquadrá-los em cinco grupos. O ajustamento do modelo aos dados é avaliado por meio do coeficiente R^2 (ROSSE *et al.*, 2002). Os genótipos são classificados nos grupos de A a E, respectivamente, de acordo com a resposta: convexa e duplamente desejável; linear simples, desejável em ambientes de alta qualidade; linear simples, sem desvios de resposta média nos ambientes; linear simples, desejável em ambientes de baixa qualidade; ou côncava e duplamente indesejável (KVITSCHAL *et al.* 2009).

Aplicando-se o método em conjunto com outras metodologias, observou-se que Toler e Burrows e AMMI foram os mais específicos no detalhamento de adaptações específicas de genótipos para ambientes favoráveis e desfavoráveis, indicando o uso simultâneo destes (KVITSCHAL *et al.*, 2009); Rosse *et al.* (2002) avaliaram genótipos de cana-de-açúcar e observaram que não houve diferenças para as estimativas de qualidade ambiental obtidas pelo modelo linear de Cruz *et al.* (1989) e o não-linear de Toler e Burrows (1998). Porém, apenas metade coincidiu na classificação com base na produtividade e no padrão de resposta. Recomendam o uso do modelo não-linear para análise de estabilidade devido às vantagens estatísticas e à maior coerência biológica que apresenta.

2.3.3. Método centróide com pontos adicionais (NASCIMENTO *et al.*, 2009)

Proposto por Rocha *et al.* (2005), o método centróide para estudo da interação genótipo x ambiente é baseado em metodologia de análise multivariada utilizando componentes principais. Consiste na comparação da resposta individual dos genótipos com a resposta de quatro cultivares ideais, de máxima ou mínima resposta em relação ao conjunto de dados avaliados. A comparação é feita por valores de distância cartesiana entre os genótipos e as referências ideais, representando genótipos de máxima adaptabilidade geral, máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis e os genótipos de mínima adaptabilidade.

O método permite uma análise simultânea de desempenho de um número elevado de genótipos, em virtude da facilidade de interpretação dos resultados, pois representa a variação do desempenho dos genótipos nos ambientes em uma dispersão no plano com poucos eixos (BARROS *et al.*, 2008).

Nascimento *et al.* (2009) propuseram alteração no método centróide, incluindo mais três ideótipos relacionados à estabilidade média geral em todos os ambientes, ou estabilidade média específica a ambientes favoráveis ou desfavoráveis, utilizados para comparações com os genótipos. Observaram em análise de genótipos de alfafa, que o novo método conferiu maior sentido biológico, pois dos 27 genótipos classificados como de mínima adaptabilidade geral no método centróide original, apenas cinco foram classificados da mesma forma pelo novo método. Também observaram maior facilidade de análise e interpretação da adaptabilidade pelo método centróide com pontos adicionais, em relação à metodologia de Lin e Binns (1988), não permitindo duplicidade de interpretação.

O método centróide (ROCHA *et al.*, 2005) apresenta coerência de resultados com outros métodos: observado por Barros *et al.* (2008) ao analisarem adaptabilidade e estabilidade pelos métodos centróide, Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992); observado por Barros *et al.* (2009) ao analisarem entre os métodos centróides e de Eberhart e Russell (1966); e observado por Rios *et al.* (2009) ao estudarem a adaptabilidade e estabilidade pelos métodos centróide, de Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988).

2.3.4. Método de Eberhart e Russell (1966)

A metodologia proposta por Eberhart e Russell (1966) tem sido comumente utilizada para análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica de grupos de genótipos distintos, testados numa série de ambientes contrastantes. É baseada em análise de regressão linear simples, estimando-se uma equação de regressão para cada genótipo em teste ($Y = a + bx$) (CRUZ; REGAZZI, 2001; KVITSCHAL, 2003).

A metodologia surgiu da expansão do modelo proposto por Finlay e Wilkinson (1963) e propuseram que tanto os coeficientes de regressão dos valores fenotípicos de cada genótipo, em relação ao índice ambiental, quanto os desvios desta regressão, proporcionam estimativas de parâmetros de estabilidade e adaptabilidade. Foi adotado o seguinte modelo de regressão linear (CRUZ; REGAZZI, 2001):

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ onde:}$$

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ; β_{0i} : média geral do genótipo i ; β_{1i} : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente; I_j : índice ambiental codificado; δ_{ij} : desvio da regressão, estimado por σ^2_{di} ; e ε_{ij} : erro experimental médio.

O índice ambiental é a variável independente e a produtividade média de cada genótipo, em cada ambiente, representa a variável dependente. Os parâmetros coeficiente de regressão (β_i) e a produtividade média estimam a adaptabilidade do genótipo, enquanto a variância dos desvios de regressão (σ^2_{di}) mede a estabilidade. A metodologia considera como genótipo ideal aquele que apresenta alta produção média, coeficiente de regressão igual a 1,0 e desvio de regressão estatisticamente igual a zero. São estimados também, os coeficientes R^2 para cada uma das equações obtidas para cada um dos genótipos, para verificar o ajuste da equação ao genótipo, possibilitando estimar a resposta fenotípica de todo genótipo a partir de índices de qualidade ambiental (CRUZ; REGAZZI, 2001).

A análise é capaz de fornecer estimativas referentes à estabilidade pelos desvios de regressão ($S_d^2 = \delta_{ij}$), bem como à adaptabilidade dos genótipos pelos coeficientes de regressão (β_{1i}) dos valores fenotípicos de cada genótipo em relação ao índice ambiental, sendo de adaptabilidade ampla ou específica (CRUZ; REGAZZI, 2001). Considera-se que um genótipo com coeficiente de regressão superior a 1,0 tem comportamento consistentemente melhor em ambientes favoráveis ($\beta_{1i} > 1,0$), enquanto outro que apresente coeficiente de regressão inferior a

1,0 é tido como de desempenho relativamente melhor em ambientes desfavoráveis ($\beta_{li} < 1,0$). Quando $\beta_{li} = 1,0$ os genótipos são de adaptabilidade ampla ou geral. A magnitude e a significância da variância dos desvios da regressão dão uma estimativa da previsibilidade de produção do material genético (CRUZ *et al.*, 2004; MURAKAMI *et al.*, 2004).

Vencovsky e Barriga (1992) comentam que o método de Eberhart e Russell deve ser empregado quando se dispõe de um número de ambientes entre três e sete, indicando que é o método viável nestas condições.

Embora o método de regressão linear seja amplamente utilizado, o fato de que a média de todos os cultivares em cada ambiente seja tomada como uma medida do índice ambiental e seja usada como uma variável independente na regressão, pode ser considerada uma limitação séria para este procedimento, porque não poderá haver independência entre as variáveis, especialmente quando o número de cultivares for menor que 15 (CROSSA *et al.*, 1990). O método proposto por Lin e Binns (1988), porém, não apresenta esta limitação relacionada ao uso de regressão (SCAPIN *et al.*, 2000).

2.3.5. Método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998)

A metodologia de Lin e Binns (1988) é um método de estatística não paramétrica que caracteriza os genótipos superiores por um índice de estabilidade P_i , que corresponde ao quadrado médio da distância entre a média do cultivar e a resposta média máxima para todos os ambientes. Quanto menor o valor de P_i , maior a superioridade geral do genótipo, menor o desvio em torno da produtividade máxima e mais estável será o genótipo.

O método foi modificado por Carneiro (1998) para atender a necessidade de identificar os genótipos superiores nos grupos de ambientes favoráveis ($<P_{if}$) e desfavoráveis ($<P_{id}$), utilizando a mesma metodologia de classificação de ambientes definida por Eberhart e Russell (1966).

A avaliação da adaptabilidade e estabilidade em cultura com dependência entre os anos de cultivo, como no caso da cana-de-açúcar, a análise dos três parâmetros facilita a interpretação. Zeni-Neto *et al.* (2008) observaram o comportamento de genótipo com a mesma classificação em segundo lugar pelo parâmetro P_i em cana planta, em cana soca e em cana de segunda soca, indicando estabilidade e adaptabilidade em todos os ciclos. Também identificaram clones

precoces com ampla adaptabilidade e elevada estabilidade por apresentarem os menores valores de P_i geral, em ambientes favoráveis e em desfavoráveis.

2.4. Referências

ALCOPAR – ASSOCIAÇÃO DE PRODUTORES DE ÁLCOOL E AÇÚCAR DO ESTADO DO PARANÁ. Disponível em: <www.alcopar.com.br>, acessado em 10 mar. 2010.

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfalfa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.4, p. 269-278, 1992.

BAJPAI, P. K.; KUMAR, R. Comparison of methods for studying genotype x environment interaction in sugarcane. **Sugar Tech**, v.7, n.4, p. 129-135. 2005.

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. Melhoramento genético e recomendação de cultivares. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (eds.) **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas**. Viçosa, 2010. 577 p.

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I.; OLIVEIRA, M. W.; SOUZA, V. F. M.; RIBEIRO, S. N. N. RB867515 Sugarcane cultivar. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.1, n.4, p. 437-438, 2001.

BARROS, H.B.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. de C.; CRUZ, C.D. Análises paramétricas e não-paramétricas para determinação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja. **Scientia Agraria**, v.9, p.299-309, 2008.

BARROS, H.B.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. de C.; REIS, M. S.; CRUZ, C.D. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja, no Estado do Mato Grosso. **Bioscience Journal**, v.25, n.3, p. 119-128, 2009.

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C.R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p. 195-203, 2007.

BORÉM, A. Melhoramento de plantas. Viçosa: UFV, 1997. 547 p.

BORÉM, A.; SILVA, J. A. da; DIOLA, V. Biologia molecular e biotecnologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (eds.) **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas**. Viçosa, 2010. 577 p.

BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Anuário estatístico da agroenergia**. Brasília, MAPA/ACS, 2009. 160 p.

CALDAS, C.; SANTOS, F. Controle de qualidade nas indústrias de açúcar e álcool. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (eds.) **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas**. Viçosa, 2010. 577 p.

CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CASANOVA, F.; BALDESSARI, J.; BALZARINI, M. Evaluation of multienviromental trials of peanut cultivars. **Crop Science**, v.45, n.1, p. 18-26, 2005.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Central de informações agropecuárias: safras – cana**. 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> acessado em 10 mar. 2010.

CROSSA, J.; GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Additive main effects and multiplicative analysis of two international maize cultivar trials. **Crop Science**, v.30, p. 493–500. 1990.

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2.ed. Viçosa: UFV, 2001. 309 p.

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

CRUZ, C. D.; TORRES, R. A. A.; VENCovsky, R. An alternative approach to the stability analysis proposed by Silva and Barreto. *Revista Brasileira de Genética*, Ribeirão Preto, v.12, n.3, p. 567-580, 1989.

CUCOLOTO, M.; PÍPOLO, 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**, v.7, p. 270-277, 2007.

DIGBY, P. G. N. Modified joint regression analysis for incomplete variety x environment data. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.93, p. 81-86, 1979.

DIOLA, V.; SANTOS, F. Fisiologia. In: SANTOS, F.; BORÉM, A.; CALDAS, C. (eds.) **Cana-de-açúcar: Bioenergia, açúcar e álcool – Tecnologias e perspectivas**. Viçosa, 2010. 577 p.

DUARTE, J. B.; VENCovsky, R. Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise “AMMI”. FUNPEC, Ribeirão Preto, 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)> acessado em 03 out. 2008.

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

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

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

GAUCH, H. G. **Statistical analysis of regional yield trials**: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science, New York, 1992. 278 p.

GAUCH, H. G. Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. **Crop Science**, v.46, n.4, p. 1488-1500, 2006.

GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Optimal replication in selection experiments. **Crop Science**, v.36, p.838-843, 2006.

KIMBENG, C. A.; ZHOU, M. M.; SILVA, J. A. Genotype x environment interactions and resource allocation in sugarcane yield in the Rio Grande Valley Region of Texas. **Journal of the American Society of Sugar Cane Technologists**, v.29, p. 11-24, 2009.

KVITSCHAL, M. V. **Avaliação da estabilidade e da adptabilidade de clones de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. 2003. 141 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá.

KVITSCHAL, M. V.; VIDIGAL, M. C. G.; SCAPIM, C. A.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; SAGRILO, E.; RIMOLDI, F. Comparison of phenotypic adaptability and stability methodologies for storage roots yield and dry matter content of cassava genotypes (*Manihot esculenta* Crantz). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.52, p. 163-175, 2009.

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A method of analyzing cultivars x location x year experiments: new stability parameter. **Theoretical Applied Genetics**, Berlim, v.76, p. 425-430, 1988.

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

LOPES, V. R. **Divergência genética entre clones de cana-de-açúcar da série RB97**. 2007. 87f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MAIA, M. C. C.; VELLO, N. A.; ROCHA, M. M.; PINHEIRO, J. B.; SILVA JUNIOR, N. F. Adaptabilidade e estabilidade de linhagens experimentais de soja selecionadas para caracteres agronômicos, através de método uni-multivariado. **Bragantia**, v.6, n.2, p. 215-226, 2006.

MARQUES, T. C.; SILVA, W. H. da. Crescimento vegetativo e maturação em três cultivares de cana-de-açúcar. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**. UFPB, p. 54-60. 2008.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; CALHEIROS, G. C. Hibridação de cana-de-açúcar. In: BORÉM, A (ed.). **Melhoramento de espécies cultivadas**. Editora UFV, p. 205-251, 1999.

MELO, L. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C. DE; DIAZ, J. L. C.; PELOSO, M. J. D.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. DA. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.5, p. 715-723, 2007.

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**, v.19, p. 7-14, 2003.

MURAKAMI, D. M.; CARDOSO, A. A.; CRUZ, C. D.; BIZÃO, N. Considerações sobre duas metodologias de análise de estabilidade e adaptabilidade. **Ciência Rural**, v.34, n.1, p. 71-78, 2004.

NAMORATO, H.; MIRANDA, G. V.; SOUZA, L. V.; OLIVEIRA, L. R.; DELIMA, R. O.; MANTOVANI, E. E. Comparing biplot multivariate analyses with Eberhart and Russell' method for genotype x environment interaction. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.9, p. 299-307, 2009.

NASCIMENTO, M.; CRUZ, C. D.; CAMPANA, A. C. M.; TOMAZ, R. S.; SALGADO, C. C.; FERREIRA, R. P. Alteração no método centróide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, n.3, p. 263-269, 2009.

NUNES, G. H. D.; MEDEIROS, A. E. D.; GRANGEIRO, L. C.; SANTOS, G. M.; JUNIOR, R. S. Estabilidade fenotípica de híbridos de melão amarelo avaliados no Pólo Agrícola Mossoró-Assú. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.9, p. 1369-1376, 2006.

OLIVEIRA, R. A. **Seleção de famílias de maturação precoce em cana-de-açúcar via REML/BLUP**. 2007. 142 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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**, v.33, n.1, p. 23-27, 2003.

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

PLAISTED, R. L.; PETERSON, L. C. A technique for evaluating the ability of selections to yield consistently in different locations or seasons. **American Potato Journal**, v.36, n.11, p. 381-385, 1959.

PMGCA/UFPR/RIDESA- Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná, Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucro-Alcooleiro. **Relatório Técnico - ano/2008**, 88 p. 2009.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO – RIDESA. **Catálogo nacional de variedades “RB” de cana-de-açúcar**. RIDESA, Curitiba, 136 p. 2010a.

REDE INTERUNIVERSITÁRIA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR SUCROALCOOLEIRO – RIDESA. **Melhoramento genético**. Disponível em: <www.ridesa.com.br>, acessado em 10 mar. 2010b.

RIOS, S. A.; PAES, M. C. D.; BORÉM, A.; CRUZ, C. D.; GUIMARÃES, P. E. O.; SCHAFFERT, R. E.; CARDOSO, W. S.; PACHECO, C. A. P. Adaptability and stability of carotenoids in maize cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.9, p. 313-319, 2009.

ROCHA, M. M. **Seleção de linhagens experimentais de soja para adaptabilidade e estabilidade fenotípica**. 2002. 173 p. Tese (Doutorado – Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz – Universidade de São Paulo.

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**, v.42, n.9, p. 1283-1289, 2007.

ROCHA, R. B.; MURO-ABAD, J. I.; ARAUJO, E. F.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centroide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.15, p.255-266, 2005.

ROSSE, L. N. **Modelo de regressão não-linear aplicado na avaliação da estabilidade fenotípica em plantas**. 1999. 179 f. Tese (Doutorado) – Piracicaba – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

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**, v.37, n.1, p. 25-32, 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**, v.45, n.6, p. 2414-2424, 2005.

SCAPIN, C. A.; OLIVEIRA, V. R.; BRACCINI, A. L.; CRUZ, C. D.; ANDRADE, A. A. B.; VIDIGAL, M. C. G. Yield stability in maize (*Zea mays* L.) and correlations among the parameters of the Eberhart and Russell, Lin and Binns and Huehn models. **Genetic and Molecular Biology**, v.23, n.2, p. 387-393, 2000.

SCHIAVINATO, S. R.; HOFFMANN, H. P.; CARNEIRO, M. S.; VIEIRA, M. A. S.; ROSA, J. R. B. F.; CHAPOLA, R. G. Censo varietal 2008 de cana-de-açúcar da região Centro-Sul do Brasil. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA 17., 2009, São Carlos. **Anais... UFSCar**, v.5, p. 446, 2009.

SILVA, W. C. J.; DUARTE, J. B. Métodos estatísticos para estudo de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.1, p. 23-30, 2006.

TOLER, J. E. **Patterns of genotypic performance over environmental arrays**. 1990. 154 f. Thesis (Ph. D.) – Clemson University, South Carolina, USA.

TOLER, J. E.; BURROWS, P. M. Genotypic performance over environmental arrays: A non-linear grouping protocol. **Journal of Applied Statistics**, v.25, n.1, p. 131-143, 1998.

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

YAN, W.; HUNT, L.A., SHENG, Q.; SZLAVNICS, Z. Cultivar evaluation and mega-environment investigation based on the GGE biplot. **Crop Science**, v.40, p. 597-605, 2000.

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

ZENI-NETO, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; BESPALHOK FILHO, J. C.; OLIVEIRA, R. A.; WEBER, H. Adaptabilidade e Estabilidade Fenotípica de Clones Precoces de Cana-de-açúcar no Estado do Paraná. **Scientia Agraria**, v. 9, p. 283-289, 2008.

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

CAPÍTULO I

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CLONES PRECOSES DE CANA-DE- AÇÚCAR NO ESTADO DO PARANÁ POR ANÁLISE AMMI

3. CAPÍTULO I

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CLONES PRECOCES DE CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTADO DO PARANÁ POR ANÁLISE AMMI

3.1. RESUMO

Avaliou-se a estabilidade e adaptabilidade de 14 clones precoces de cana-de-açúcar, em 11 localidades no Estado do Paraná, nos ciclos de cana planta e cana soca pelo método AMMI. O modelo utilizado foi AMMI2, com explicação acumulada da variância de 59,44% em cana planta e 54,22% em cana soca, nos dois primeiros componentes principais de tonelada por hectare (TPH). O genótipo RB966928 apresentou médias elevadas de TPH, alta estabilidade fenotípica e adaptabilidade geral, podendo ser indicado como clone precoce de ampla adaptabilidade para a região Norte e Noroeste do Estado do Paraná. As avaliações nas localidades Paranavaí e Mandaguaçu apresentaram a menor interação genótipo x ambiente, com maior estabilidade, onde o ordenamento dos genótipos apresentou maior confiabilidade em relação à média dos ambientes testados. Foi observada adaptabilidade específica do genótipo RB965911 para a localidade São Pedro do Ivaí em cana planta e Nova Londrina em cana soca e do genótipo RB946903 para Nova Londrina em cana planta.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., componentes principais, análise multivariada, genótipo x ambiente.

STABILITY AND ADAPTABILITY OF EARLY MATURING SUGARCANE CLONES IN PARANÁ STATE BY AMMI ANALYSIS

3.2. ABSTRACT

Stability and adaptability of 14 early maturing sugarcane clones were evaluated at 11 locations in the State of Paraná, in plant cane and ratoon cycles, by the AMMI methods. By AMMI2, 59.44 % cumulative variance was explained in plant cane and 54.22 % in ratoon cane by the first two principal components of tons of pol per hectare (TPH). For the genotype RB966928 the TPH was medium to high, phenotypic stability high and adaptability general, recommending this early maturing clone with wide adaptability for Northern and Western Paraná. The genotype-environment interaction was lowest in Paranavaí and Mandaguaçu (most stable locations), where the ranking of genotypes was more reliable than the means of the environments tested.

Key-words: *Saccharum* spp., principal components, multivariate analysis, genotype x environment.

3.3. INTRODUÇÃO

A interação genótipos x ambientes (G x A) refere-se à alteração no desempenho relativo dos genótipos em virtude das diferenças de ambiente. Constitui-se num dos maiores problemas dos programas de melhoramento de qualquer espécie, seja na fase de seleção ou na de recomendação de cultivares. Entre as alternativas para minimizar esse problema está a escolha de variedades com ampla adaptação e boa estabilidade (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Diferentes metodologias podem ser utilizadas para avaliar a adaptabilidade e a estabilidade dos genótipos. As principais baseiam-se em análise de variância, regressão linear, regressão não-linear, análises multivariadas e estatísticas não paramétricas (BASTOS *et al.*, 2007). Zeni-Neto *et al.* (2008) avaliaram clones precoces de cana-de-açúcar no Estado do Paraná através da metodologia não paramétrica de Lin e Binns (1988). Oliveira *et al.* (2005) e Bastos *et al.* (2007) utilizaram de modelos mistos para avaliar a estabilidade e adaptabilidade de clones de cana-de-açúcar em fase final de seleção.

Um dos métodos que tem se destacado nos estudos de interação G x A é o método AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction analysis* – efeitos aditivos principais e interação multiplicativa) que combina um método univariado para os efeitos aditivos de genótipos e ambientes, com um método multiplicativo para os efeitos da interação G x A (ZOBEL *et al.*, 1988). O uso deste método pode auxiliar tanto na identificação de genótipos com alta produtividade e amplamente adaptados, como no zoneamento agrônomico com a finalidade de recomendação regionalizada e seleção de locais testes (GAUCH; ZOBEL, 1996). Uma vantagem do AMMI é que ele elimina os ruídos da interação G x A (BASTOS *et al.*, 2007; SILVA; DUARTE, 2006). Outra vantagem é a interpretação gráfica dos resultados das análises estatísticas por meio do procedimento biplot (MELO *et al.*, 2007). Este método já foi utilizado para estudar a estabilidade de genótipos em várias culturas, mas poucos estudos foram feitos para cana-de-açúcar, como em Bajpai e Kumar (2005).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a estabilidade e adaptabilidade de clones precoces promissores de cana-de-açúcar no Estado do Paraná pelo método AMMI.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo de interação genótipo x ambiente (G x A) foi aplicado em clones do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná (PMGCA/UFPR/RIDESA). Foram avaliados 14 genótipos, sendo 11 clones RB de ciclo de maturação precoce das Séries 94, 95 e 96 e três variedades padrão: RB855156, RB855453 e RB925211. Os ensaios foram conduzidos em 11 Unidades Produtoras no Estado do Paraná, em fase final de experimentação, no período de 2003 a 2005 em cana planta e cana soca.

As 11 localidades, coordenadas e altitudes foram: A1- São Tomé (23°32'S, 52°35'W, 420 m); A2- Rondon (23°23'S, 52°43'W, 530 m); A3- Jandaia do Sul (23°37'S, 51°37'W, 760 m); A4- Nova Londrina (22°55'S, 53°15'W, 480 m); A5- Ibaiti (23°50'S, 50°11'W, 850 m); A6- Bandeirantes (23°06'S, 50°22'W, 492 m); A7-Jussara (23°50'S, 52°27'W, 408 m); A8- Mandaguaçu (23°21'S, 52°05'W, 580 m); A9- Cidade Gaúcha (23°22'S, 52°56'W, 550 m); A10- Paranavaí (23°05'S, 52°27'W, 503 m); A11- São Pedro do Ivaí (23°52'S, 51°41'W, 400 m).

Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental em blocos completos casualizados com três repetições, em parcelas de quatro linhas de 8,0 m de comprimento e 1,40 m de espaçamento. O plantio foi realizado em março de 2003, com 18 gemas por metro linear. A colheita da cana planta foi feita em abril de 2004 e da cana soca em abril de 2005. Foram avaliados: número de colmos por parcela – contagem do número de colmos na parcela, dividindo-se pelo comprimento da parcela, obtém-se o número de colmos por metro (NCM); massa de 15 colmos (Kg) – pesagem de 15 colmos desprezando-se os ponteiros, com três repetições por parcela, dividindo-se por 15 obtém-se a massa de um colmo (Kg) (M1C); teor de pol de 10 colmos por parcela (POL); tonelada de cana por hectare (TCH) ($t.ha^{-1}$), calculado pela fórmula: $TCH = NCM \times M1C \times 7,14$; tonelada de pol por hectare ($t.ha^{-1}$) (TPH), calculada pela fórmula: $TPH = TCH \times POL/100$ (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Foram realizadas análises de variância para cada localidade em cana planta e cana soca, anotando-se as médias e variâncias (dados não apresentados). A análise conjunta foi efetuada para os dados de cana planta e de cana soca separadamente, obtendo-se informações individuais para interpretações. Primeiramente foi feito o teste de homogeneidade das variâncias residuais dos experimentos (QMr), verificada por meio da relação entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo, considerada homogênea pela razão inferior a sete.

Após a verificação da existência de interação G x A (teste F significativo) pela análise de variância conjunta, procedeu-se a análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pela metodologia AMMI (ZOBEL *et al.*, 1988). O modelo é uni-multivariado, composto pela análise da variância dos efeitos principais, genótipos e ambientes, e pela análise multivariada dos efeitos da interação G x A (análise de componentes principais e decomposição de valores singulares) (GAUCH, 1992). O modelo AMMI é descrito por Duarte e Vencowsky (1999):

$$Y_{ij} = \mu + g_i + a_j + \sum_{k=1}^n \lambda_k \alpha_{ik} \gamma_{jk} + r_{ij} + \bar{\varepsilon}_{ij}$$

Onde: Y_{ij} : é a resposta média do genótipo i no ambiente j ; μ : é a média geral dos ensaios; g_i : é o efeito fixo do genótipo i ($i=1, 2, \dots, g$); a_j : é o efeito fixo do ambiente j ($j=1, 2, \dots, a$); ε_{ij} : é o erro experimental médio, assumido independentemente; a interação G x A é moderada pelos fatores: λ_k : valor singular do k -ésimo componente principal da interação (IPCA), ($k=1, 2, \dots, p$, em que p é o número máximo de componentes principais estimáveis); α_{ik} : valor singular do i -ésimo genótipo no k -ésimo IPCA; γ_{jk} : valor singular do j -ésimo ambiente no k -ésimo IPCA; r_{ij} : resíduo da interação G x A ou resíduo AMMI (ruído presente nos dados); k : raízes características não nulas, $k = [1, 2, \dots, \min(g-1, e-1)]$.

A $SQ_{G \times A}$ foi particionada em n eixos singulares ou componentes principais da interação (IPCA- *Interaction Principal Component Analysis*) que descreveram a porção padrão, cada eixo correspondendo a um modelo AMMI. A seleção do modelo que melhor descreve a interação foi realizada pelo teste F de Gollob (1968), obtido pela significância de cada IPCA relacionado ao $QM_{\text{Erro Médio}}$ dos eixos a serem retidos no modelo.

Após a seleção do modelo AMMI foi feito o estudo de estabilidade e adaptabilidade pelo gráfico biplot, obtido por combinações dos eixos ortogonais IPCA. O termo biplot se refere a um tipo de gráfico contendo duas categorias de pontos ou marcadores, neste caso referindo-se aos genótipos e aos ambientes. A interpretação gráfica do biplot é feita inicialmente com base na variação devida aos efeitos aditivos principais de genótipos e ambientes e do efeito multiplicativo da interação G x A (Figura 3.1). A abscissa representa os efeitos principais (a média geral de TPH dos genótipos testados) e a ordenada, o primeiro eixo de interação (IPCA1). Quanto menor for o valor do IPCA1 (em valores absolutos), menor será sua contribuição para a interação G x A e mais estável será o material. O genótipo ideal é aquele com produtividade alta

e valores de IPCA1 próximos de zero. Um genótipo indesejável tem baixa estabilidade associada à baixa produtividade (DUARTE; VENCOVSKY, 1999; FERREIRA *et al.*, 2006).

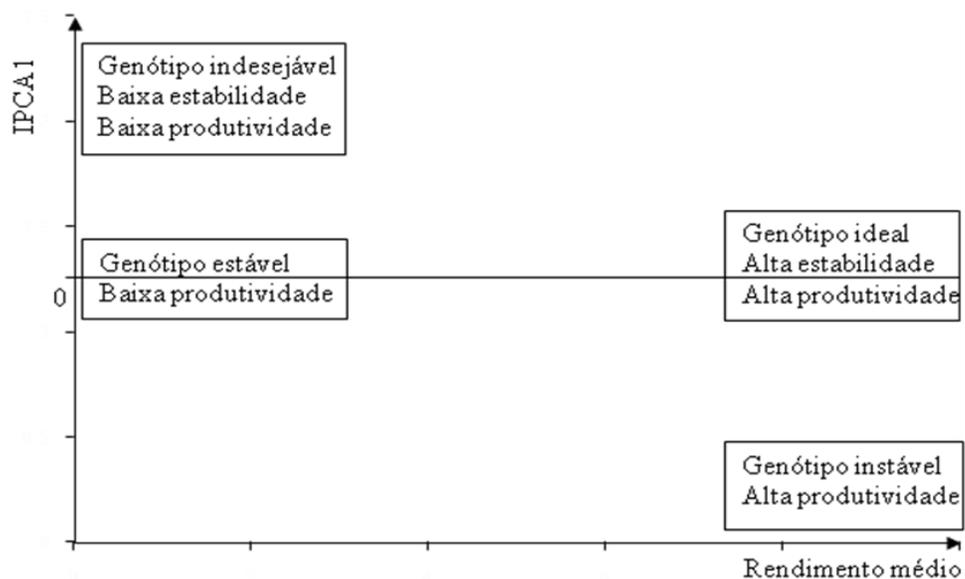


FIGURA 3.1. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO BILOT IPCA1 X RENDIMENTO MÉDIO. (Adaptado de FERREIRA *et al.*, 2006)

Os dados foram analisados nos programas computacionais GENES (CRUZ, 2006) para ANOVA e Estabilidade (FERREIRA, 2000) para análise AMMI.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises conjuntas dos 11 ensaios em cana planta e cana soca indicaram diferenças altamente significativas ($P < 0,01$) de genótipos, de ambientes e da interação genótipo x ambiente (Tabela 3.1), ocorrendo interação simples e complexa, indicando que os melhores clones em um ambiente não são necessariamente os melhores em outro. Isto justifica a necessidade de se levar em conta a estabilidade e a adaptabilidade para seleção e recomendação dos clones precoces promissores de cana-de-açúcar.

TABELA 3.1. RESUMO DA ANÁLISE DA VARIÂNCIA DE TONELADA POL POR HECTARE (TPH) DE 14 CLONES PRECOSES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA PLANTA (2003/2004) E CANA SOCA (2004/2005), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ E A DECOMPOSIÇÃO DA INTERAÇÃO G X A, COM PORCENTAGEM DE EXPLICAÇÃO DA VARIÂNCIA E O VALOR ACUMULADO.

Fonte de variação	GL	TPH - Planta				TPH - Soca			
		SQ	QM	Expl. (%)	Acum. (%)	SQ	QM	Expl. (%)	Acum. (%)
Bloco/Amb	22	135,5	6,16			209,0	9,50		
Genótipo	13	511,4	39,34**			646,1	49,70**		
Ambiente	10	3801,3	380,13**			3377,0	337,70**		
G x A	130	2203,5	16,95**			1114,1	8,57**		
IPCA 1	22	880,7	40,03**	39,95	39,95	361,2	16,42**	32,40	32,40
IPCA 2	20	423,4	21,17**	19,48	59,44	243,2	12,16**	21,81	54,22
IPCA 3	18	315,0	17,50**	14,29	73,73	205,7	11,43**	18,45	72,67
Desvios	70	578,9	8,27*			304,5	4,35 ^{n.s.}		
Resíduo	286	1624,5	5,68			1204,1	4,21		

* e ** significativo a 5% e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente; IPCA – Análise de componentes principais da interação; Expl. – explicada; Acum. – acumulada.

O modelo AMMI busca recuperar uma parcela da $SQ_{G \times A}$ que determina o que é verdadeiramente resultante da interação G x A, sendo esta porção chamada de padrão (efeitos de

genótipos e de ambientes) e uma porção ruído, que é o resíduo adicional, de respostas imprevisíveis e não interpretáveis (CROSSA *et al.*, 1990). Para escolha do modelo AMMI, o ponto de parada será o n-ésimo IPCA que for significativo. Os modelos podem ser: AMMI0, quando não inclui nenhum eixo ou termo de interação; AMMI1, que inclui somente o primeiro eixo da interação; AMMI2, os dois primeiros eixos e assim por diante (CORNELIUS *et al.*, 1996). O desdobramento da $SQ_{G \times A}$, indicou os três primeiros componentes principais (IPCA1 a IPCA3) com diferenças significativas ($P < 0,01$) para cana planta e cana soca (Tabela 3.1). O desvio não significativo para IPCA3 indica que poderiam ser utilizados apenas três eixos para explicar a interação G x A.

No modelo AMMI2 a explicação acumulada da variância pelos eixos IPCA1 e IPCA2 somaram 59,44% e 54,22% para cana planta e cana soca, respectivamente, usando apenas 42 graus de liberdade (32,3% dos 130 G.L. que compõem a $SQ_{G \times A}$) (Tabela 3.1). A porcentagem de explicação acumulada em cada eixo de componentes principais é importante, pois deve haver maior concentração do padrão da interação G x A nos primeiros eixos e, à medida que se eleva o número de eixos selecionados, aumenta-se a porcentagem de ruído, reduzindo-se o poder de predição da análise AMMI (OLIVEIRA *et al.*, 2003). Embora os valores obtidos sejam relativamente baixos, de acordo com Gauch (1988), os primeiros eixos capturam a maior porção padrão da interação G x A, enquanto os eixos subseqüentes mostram diminuição do padrão e aumento de ruído. Assim, a avaliação gráfica de interação usando o biplot bi-dimensional AMMI2 é aceitável, podendo-se observar os genótipos e ambientes que menos contribuíram para a interação (mais estáveis) e as combinações de genótipos e ambientes desejáveis quanto à adaptabilidade específica (MORAIS *et al.*, 2003). Definido o modelo AMMI2, as médias preditas de TPH foram obtidas a partir do cálculo do segundo componente principal, IPCA2 em cana planta (Tabelas 3.2) e cana soca (Tabela 3.3).

TABELA 3.2. MÉDIAS PREDITAS PELO MODELO AMMI2 DE TONELADA POL POR HECTARE (TPH), DE 14 CLONES PRECOSES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA PLANTA (2003/2004), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

Genótipo	TPH (t.ha ⁻¹)											
	Ambientes (em cana planta)**											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Média
RB855046	13,3	12,9	15,1	9,6	17,3	22,3	15,3	14,1	12,4	20,2	20,2	15,7
RB855156*	12,6	15,5	13,5	13,7	14,9	19,0	17,3	13,6	12,0	19,5	22,4	15,8
RB855453*	12,0	14,7	14,5	21,7	14,4	19,5	16,3	14,4	12,9	18,8	18,7	16,2
RB925211*	14,8	16,3	15,7	11,8	17,8	22,1	18,4	15,3	13,6	21,6	24,0	17,4
RB925345	12,7	16,9	14,0	20,4	14,3	18,5	18,4	14,5	13,0	19,5	22,2	16,8
RB945961	12,1	14,1	14,5	18,9	14,9	19,9	15,9	14,1	12,6	18,9	18,8	15,9
RB946903	14,3	18,6	16,1	24,7	15,9	20,4	20,0	16,6	15,1	21,2	23,0	18,7
RB955970	11,4	14,6	13,6	20,6	13,6	18,4	16,2	13,7	12,2	18,2	19,0	15,6
RB956911	12,6	18,3	13,3	21,3	13,4	17,1	19,5	14,3	12,8	19,4	23,9	16,9
RB965902	13,6	17,5	14,2	15,8	15,4	19,2	19,2	14,6	13,0	20,5	24,5	17,0
RB965911	14,5	20,0	14,0	15,2	15,5	18,5	21,5	15,0	13,4	21,5	28,1	17,9
RB966925	12,3	12,5	14,3	12,1	15,9	21,0	14,7	13,5	11,8	19,1	18,9	15,1
RB966927	12,3	15,4	12,8	11,6	14,5	18,3	17,2	12,9	11,3	19,2	23,1	15,3
RB966928	14,0	17,2	15,4	19,0	16,2	20,5	18,9	15,5	14,0	20,8	23,0	17,7
Média	13,0	16,0	14,4	16,9	15,3	19,6	17,8	14,4	12,9	19,9	22,1	16,6

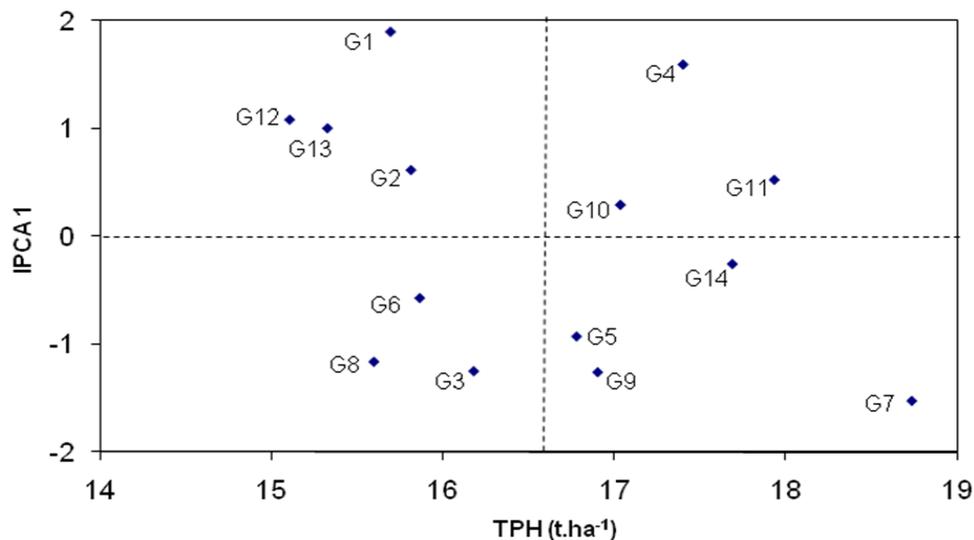
*variedade padrão; **A1: São Tomé; A2: Rondon; A3: Jandaia do Sul; A4: Nova Londrina; A5: Ibaiti; A6: Bandeirantes; A7: Jussara; A8: Mandaguaiçu; A9: Cidade Gaúcha; A10: Paranavaí; A11: São Pedro do Ivaí.

TABELA 3.3. MÉDIAS PREDITAS PELO MODELO AMMI2 DE TONELADA POL POR HECTARE (TPH), DE 14 CLONES PRECOCES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA SOCA (2004/2005), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

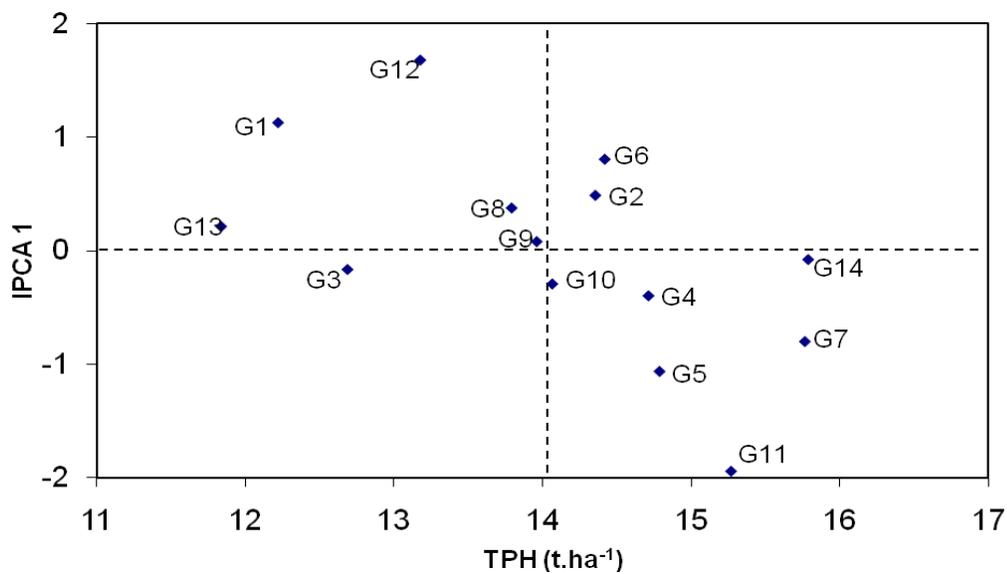
Genótipo	TPH (t.ha ⁻¹)											Média
	Ambientes (em cana soca)**											
	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	
RB855046	9,8	9,0	13,4	11,9	7,7	13,7	11,1	12,9	13,4	12,8	18,8	12,2
RB855156*	13,3	12,5	14,7	13,7	9,1	11,3	16,4	15,2	17,7	14,8	19,2	14,4
RB855453*	11,0	8,7	13,3	16,4	8,2	13,4	10,1	12,6	13,5	13,5	18,9	12,7
RB925211*	13,7	11,5	14,9	18,0	9,9	13,1	13,9	14,7	16,6	15,5	20,1	14,7
RB925345	14,5	11,8	14,5	19,4	9,7	11,4	14,4	14,6	17,3	15,6	19,4	14,8
RB945961	12,0	10,7	15,5	15,4	10,0	16,3	12,4	14,8	15,2	15,1	21,1	14,4
RB946903	14,9	12,3	15,8	20,3	10,9	14,0	14,4	15,5	17,5	16,6	21,0	15,8
RB955970	11,3	9,3	14,9	16,9	9,6	16,8	10,0	13,8	13,7	14,6	20,9	13,8
RB956911	12,5	10,8	14,5	16,0	9,2	13,2	13,1	14,2	15,7	14,6	19,6	14,0
RB965902	13,0	10,9	14,3	17,0	9,2	12,5	13,4	14,1	16,0	14,8	19,4	14,1
RB965911	15,1	11,3	14,8	23,2	10,4	12,5	12,8	14,3	16,8	16,4	20,1	15,3
RB966925	10,7	10,6	14,5	10,6	8,5	14,2	13,6	14,3	15,0	13,5	19,6	13,2
RB966927	10,1	8,3	12,5	14,0	7,2	12,2	10,3	12,0	13,1	12,5	17,9	11,8
RB966928	14,2	12,2	16,3	18,7	11,1	15,7	14,1	15,8	17,1	16,5	21,7	15,8
Média	12,6	10,7	14,6	16,5	9,3	13,6	12,9	14,2	15,6	14,8	19,9	14,1

*variedade padrão; **A1: São Tomé; A2: Rondon; A3: Jandaia do Sul; A4: Nova Londrina; A5: Ibaí; A6: Bandeirantes; A7: Jussara; A8: Mandaguaçu; A9: Cidade Gaúcha; A10: Paranavaí; A11: São Pedro do Ivaí.

O biplot AMMI1 é apresentado nas Figuras 3.2A e 3.2B. A abscissa representa os efeitos principais (a média geral de TPH dos genótipos testados) e a ordenada, o primeiro eixo de interação (IPCA1). Este primeiro componente principal explica 39,95 % dos efeitos da interação G x A em cana planta e 32,40 % em cana soca. Quanto menor for o valor do IPCA1 (em valores absolutos), menor será sua contribuição para a interação G x A e mais estável será o material. (FERREIRA *et al.*, 2006).



A (planta)



B (soca)

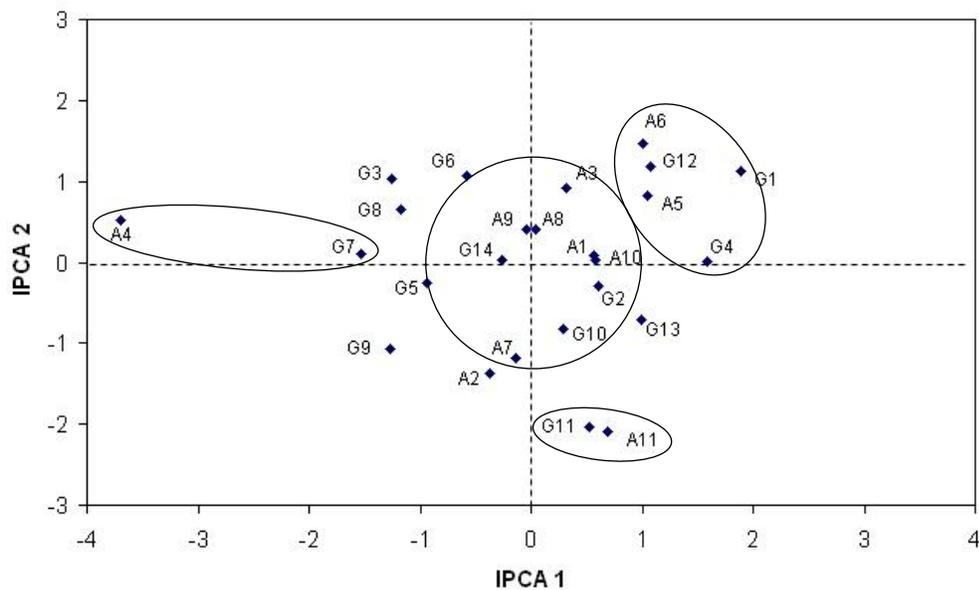
FIGURA 3.2. BIPLÔT AMMI1 COM O PRIMEIRO EIXO PRINCIPAL DA INTERAÇÃO (IPCA1) X RENDIMENTO MÉDIO DE TONELADA POL POR HECTARE (TPH) DE 14 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM CANA PLANTA (2003/2004) (A) E EM CANA SOCA (2004/2005) (B), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ. A LINHA VERTICAL NO CENTRO REPRESENTA A MÉDIA GERAL DE 16,6 T.HA⁻¹ (A) E 14,1 T.HA⁻¹ (B). G1-RB855046, G2-RB855156, G3-RB855453, G4-RB925211, G5-RB925345, G6-RB945961, G7-RB946903, G8-RB955970, G9-RB956911, G10-RB965902, G11-RB965911, G12-RB966925, G13-RB966927, G14-RB966928.

Em cana planta (Figura 3.2 A), o clone RB946903 (G7) apresentou o maior valor de TPH, porém apresentou baixa estabilidade. Já os clones RB965911 (G11), RB966928 (G14) e RB965902 (G10), apresentaram produtividade acima da média geral e elevada estabilidade agronômica. O padrão RB855156 (G2) apresentou produtividade abaixo da média e estabilidade média. Os genótipos que mais contribuíram para a interação G x A em cana planta foram os clones RB855046 (G1), RB925211 (G4) e RB946903 (G7), e os que menos contribuíram (mais estáveis) foram RB965911 (G11), RB966928 (G14) e RB965902 (G10) pois apresentaram as menores coordenadas para o eixo IPCA1 (Figura 3.2 A). Entre estes, destacam-se os clones RB965911 e RB966928 com as maiores produtividades, acima da média geral.

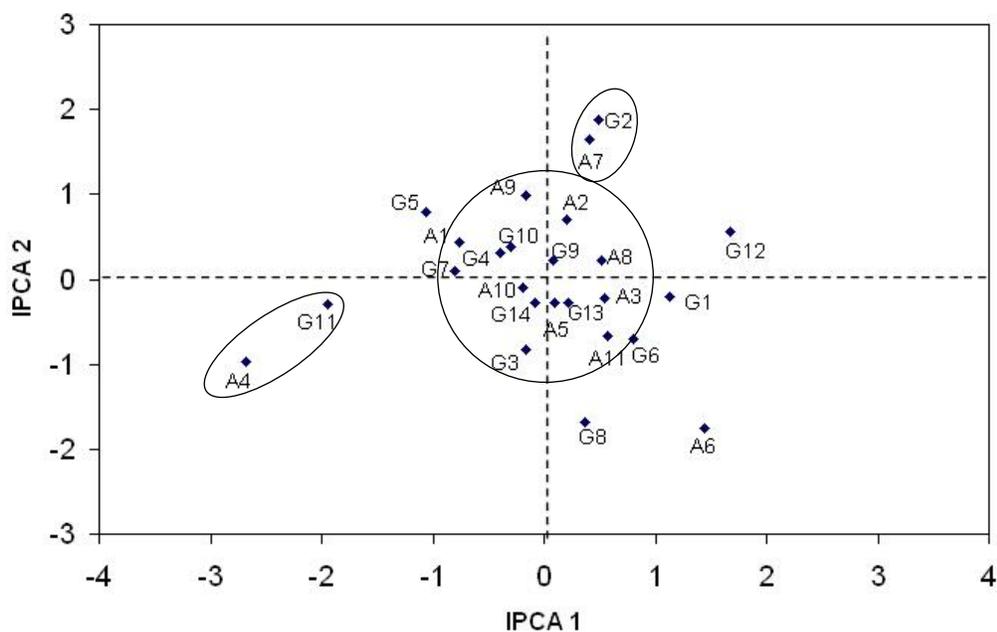
Em cana soca (Figura 3.2 B), os clones promissores RB966928 (G14) e RB946903 (G7) apresentaram os maiores valores de TPH, com alta estabilidade e média estabilidade, respectivamente. Entre os mais produtivos e com alta estabilidade estão RB966928 (G14), seguido por RB925211 (G4), RB965902 (G10), RB956911 (G9) e RB855156 (G2).

Para alguns clones foi observada uma mudança de desempenho entre os ciclos. Por exemplo, a variedade padrão RB855156 (G2) apresentou uma melhora de desempenho, subindo de décimo lugar na análise conjunta dos ambientes em cana planta para sétimo lugar na cana soca. Uma explicação para isso pode ser devido à baixa germinação no primeiro ano de cultivo, porém compensada pela ótima brotação de soqueira. Esse tipo de instabilidade observada para alguns clones entre os ciclos neste estudo justifica a análise de interação G x A em ciclos separados.

A análise AMMI2 foi interpretada graficamente com base no efeito multiplicativo da interação G x A. As Figuras 3.3 A e 3.3 B apresentam o biplot AMMI2 para cana planta e cana soca, respectivamente. Os gráficos captam a porção padrão da interação G x A, mostram os genótipos e ambientes que menos contribuíram para a interação (menores escores, em valores absolutos e mais estáveis) e as combinações de genótipos e ambientes desejáveis quanto à adaptabilidade específica. Com a análise AMMI2 podem-se identificar genótipos com adaptação ampla ou identificar macroambientes homogêneos (FERREIRA *et al.*, 2006; DUARTE; VENCOWSKY, 1999; GAUCH; ZOBEL, 1996). Os genótipos e ambientes estatisticamente estáveis são apresentados por pontos próximos à origem no biplot AMMI2, com valores praticamente nulos para os dois eixos de interação (IPCA1 e IPCA2).



A (planta)



B (soca)

FIGURA 3.3. BIPLLOT AMMI2 COM OS DOIS PRIMEIROS EIXOS PRINCIPAIS DE INTERAÇÃO (IPCA1 E IPCA2) DE TONELADA POL POR HECTARE DE 14 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR (G1 A G14), EM CANA PLANTA (2003/2004) (A) E CANA SOCA (2004/2005) (B), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ (A1 A A11). G1-RB855046, G2-RB855156, G3-RB855453, G4-RB925211, G5-RB925345, G6-RB945961, G7-RB946903, G8-RB955970, G9-RB956911, G10-RB965902, G11-RB965911, G12-RB966925, G13-RB966927, G14-RB966928. A1: SÃO TOMÉ; A2: RONDON; A3: JANDAIA DO SUL; A4: NOVA LONDRINA; A5: IBAITI; A6: BANDEIRANTES; A7: JUSSARA; A8: MANDAGUAÇÚ; A9: CIDADE GAÚCHA; A10: PARANAÍ; A11: SÃO PEDRO DO IVAÍ.

Os genótipos RB966928 (G14) e RB965902 (G10) foram considerados de alta estabilidade para TPH em cana planta (Figura 3.3 A) e os que menos contribuíram para a interação G x A. Os genótipos RB858046 (G1) e RB965911 (G11) apresentaram a maior interação G x A e foram os menos estáveis.

Em cana soca, os genótipos RB966928 (G14), RB956911 (G9) e RB966927 (G13) foram considerados de alta estabilidade para TPH, observando-se o biplot AMMI2 (Figura 3.3 B), seguidos de RB965902 (G10), RB925211 (G4) e RB855453 (G3), e que menos contribuíram para a interação G x A. Ao contrário, os genótipos RB965911 (G11) e RB966925 (G12) foram os que apresentaram menor estabilidade, seguidos de RB955970 (G8) e RB855156 (G2), influenciando diretamente na interação G x A em cana soca. De maneira geral foi observado maior estabilidade de genótipos e ambientes em cana soca, comparada com cana planta.

Com relação às localidades, as avaliações realizadas nas localidades Paranavaí (A10) e Mandaguaçu (A8) podem ser consideradas de alta estabilidade, enquanto em Nova Londrina (A4) e Bandeirantes (A6) apresentaram a menor estabilidade para cana planta e cana soca (Figuras 3.3A e 3.3B).

As relações adaptativas podem ser facilmente percebidas num biplot AMMI, observando-se os sinais dos escores para cada par de genótipos e ambientes. Se apresentarem o mesmo sinal, devem interagir positivamente e se tiverem sinais opostos, negativamente (DUARTE; VENKOVSKY, 1999). Melo *et al.* (2007) identificaram genótipos e ambientes com escores IPCA de mesmo sinal, que apresentaram interações específicas positivas na cultura do feijoeiro. Maia *et al.* (2006) observaram as interações positivas entre genótipos e ambientes e qualificaram os grupos em: genótipos adaptados e de maior estabilidade; com capacidade de aproveitar bem a condição ambiental; de comportamento responsivo; de explorar positivamente o efeito interativo do ambiente; ou de sinergismo adaptativo nas condições do ambiente.

Através destas figuras é possível fazer o zoneamento agrônômico, escolhendo grupos de genótipos e ambientes que estão localizados próximos e na mesma região no gráfico (FERREIRA *et al.*, 2006). Observam-se, por exemplo, os ambientes Rondon (A2) e Jussara (A7) posicionados muito próximos nas Figuras 3.3A e 3.3B, em cana planta e cana soca, no mesmo quadrante e com o mesmo sinal, indicando similaridade no ordenamento dos genótipos.

Condição semelhante pode ser observada entre Jandaia do Sul (A3), Ibaiti (A5) e Bandeirantes (A6), em cana planta e cana soca.

O método AMMI possibilita identificar genótipos com adaptabilidade específica para uma determinada localidade. Em cana planta, RB965911 (G11) apresentou adaptabilidade específica para São Pedro do Ivaí (A11) e RB946903 (G7) para Nova Londrina (A4). Os genótipos RB855046, RB925211 e RB966925 foram específicos para Ibaiti (A5) e Bandeirantes (A6) (Figura 3.3A). Em cana soca, o genótipo RB855156 (G2) apresentou adaptabilidade específica para a localidade Jussara (A7) e RB965911 (G11) para Nova Londrina (A4) (Figura 3.3B).

As avaliações de clones promissores na fase experimental devem ser conduzidas em diferentes ambientes, com diversidade de classificação em favoráveis e desfavoráveis, para representar as áreas de implantação da cultura. Locais que apresentem o ordenamento dos genótipos com alta previsibilidade e estabilidade, como observado em Paranaíba (A10) e Mandaguaçu (A8), podem servir de referência para recomendações em outras áreas. Essas localidades testadas, por apresentarem baixa interação G x A, podem ser consideradas adequadas para o desenvolvimento de fases preliminares de seleção de cana-de-açúcar. Em ambientes com alta estabilidade, genótipos com adaptabilidade geral tendem a se destacar e podem ser selecionados com maior segurança. Já ambientes com alta interação G x A (alta instabilidade) como Nova Londrina (A4) e Bandeirantes (A6), devem ser evitados em fases preliminares, pois a tendência é pela seleção de genótipos com adaptabilidade específica nestes locais. A ordem dos genótipos num ambiente estável será de maior confiança, pois a classificação é determinada pelos efeitos genotípicos (quando a interação G x A é nula) (DUARTE; VENCOSKY, 1999).

Combinando-se estimativas dos efeitos principais com a estimativa da interação revelada pelo padrão AMMI2, foi possível estimar as respostas fenotípicas finais de cada genótipo em um dado ambiente (Tabelas 3.2 e 3.3, em cana planta e cana soca, respectivamente). Os dados confirmam a adaptação específica, já discutida, como a do clone RB965911 (G11) ao local Nova Londrina (A4) com 23,2 t.ha⁻¹ de pol de açúcar em cana soca.

3.6. CONCLUSÕES

Entre os clones testados, o genótipo RB966928 se destacou por apresentar médias elevadas de tonelada de pol por hectare (TPH) e alta estabilidade, com adaptabilidade geral em cana planta e cana soca, podendo ser indicado como clone precoce de ampla adaptabilidade para a região Norte e Noroeste do Estado do Paraná.

Pelo método AMMI pode-se identificar genótipos precoces de cana-de-açúcar com adaptação específica a determinados ambientes, como por exemplo, o clone RB965911 para a localidade São Pedro do Ivaí em cana planta e Nova Londrina em cana soca; e o clone RB946903 para Nova Londrina em cana planta.

As avaliações de TPH dos genótipos nas localidades Paranavaí e Mandaguaçu apresentaram a menor interação genótipo x ambiente, com maior estabilidade, onde o ordenamento dos genótipos apresentou maior confiabilidade em relação à média dos ambientes testados. Estes ambientes podem ser indicados para avaliações nas fases iniciais do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da UFPR.

3.7. REFERÊNCIAS

BASTOS, I. T.; BARBOSA, M. H. P.; RESENDE, M. D. V.; PETERNELLI, L. A.; SILVEIRA, L. C.; DONDA, L. R.; FORTUNATO, A. A.; COSTA, P. M. A.; FIGUEIREDO, I. C.R. Avaliação da interação genótipo x ambiente em cana-de-açúcar via modelos mistos. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, p. 195-203, 2007.

BAJPAI, P. K.; KUMAR, R. Comparisom of methods for studying genotype x environment interaction in sugarcane. **Sugar Tech**, v.7, p. 129-135, 2005.

CORNELIUS, P. L.; CROSSA, J.; SEYEDSADR, M. S. Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction. In: KANG, M. S.; GAUCH, H. G. (eds.). **Genotype-by-environment interaction**. CRC Press, Boca Raton, FL. p. 199–234, 1996.

CROSSA, J.; GAUCH, H. G.; ZOBEL, R. W. Additive main effects and multiplicative analysis of two international maize cultivar trials. **Crop Science**, v.30, p. 493–500, 1990.

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

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: Biometria. Viçosa: UFV, 2006, 382 p.

DUARTE, J. B.; VENKOVSKY, R. Interação genótipos x ambientes: uma introdução à análise “AMMI”. FUNPEC, Ribeirão Preto, 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)> acessado em 03 out. 2008.

FERREIRA, D. F. **Aplicativo Estabilidade**. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Exatas. 2000. Disponível em <www.ufla.br/dex> Acessado em out. 2008.

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

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

GAUCH, H. G. **Statistical analysis of regional yield trials**: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier Science, New York, 1992, 278 p.

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

GOLLOB, H. F. A statistical model which combines features of factor analytic and analysis of variance techniques. **Psychometrika**, v.33, p. 367-376, 1968.

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

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

MELO, L. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C. de; DIAZ, J. L. C.; PELOSO, M. J. D.; 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**, v.42, n.5, p. 715-723, 2007.

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**, v.19, p. 7-14, 2003.

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

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; BESPALHOK FILHO, J. C.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; WEBER, H.; RESENDE, M. D. V.; ZENI-NETO, H. Seleção de famílias de cana-de-açúcar via modelos mistos. **Scientia Agraria**, v.9, p. 269-274, 2008.

OLIVEIRA, R. A.; RESENDE, M. D. V.; DAROS, E.; BESPALHOK FILHO, J. C.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; WEBER, H.; KOEHLER, H. S. Genotypic evaluation and selection of sugarcane clones in three environments in the state of Paraná. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.5, p. 426-434, 2005.

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**, v.33, n.1, p. 23-27, 2003.

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

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

ZENI-NETO, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; BESPALHOK FILHO, J. C.; OLIVEIRA, R. A.; WEBER, H. Adaptabilidade e Estabilidade Fenotípica de Clones Precoces de Cana-de-açúcar no Estado do Paraná. **Scientia Agraria**, v.9, p. 283-289, 2008.

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

CAPÍTULO II

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE CICLO PRECOCE POR ANÁLISE DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR

4. CAPÍTULO II

ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE CICLO PRECOCE POR ANÁLISE DE REGRESSÃO NÃO-LINEAR

4.1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de clones promissores de cana-de-açúcar pelo método de Toler e Burrows (1998). Foram avaliados 14 genótipos de ciclo de maturação precoce e três variedades padrão, em fase de experimentação do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná (PMGCA/UFPR), que faz parte da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), em 11 localidades no Estado do Paraná. Os ambientes foram classificados em favoráveis e desfavoráveis pela estimativa do índice de qualidade ambiental, sendo São Pedro do Ivaí o que apresentou maiores valores positivos e que mais contribuiu para o aumento da média ambiental. Os genótipos foram classificados nos grupos A, B, C e E pela análise de tonelada de pol por hectare (TPH). Houve mudanças na classificação de uma safra para outra, de cana planta para cana soca, com apenas seis genótipos permanecendo no mesmo grupo. No grupo A foram classificados a variedade padrão RB925211 em cana planta e o genótipo RB965911 em cana soca, considerados de resposta convexa e duplamente desejável. O genótipo RB946903 teve a maior produtividade em TPH e foi classificado como grupo E, de resposta côncava em cana planta, mudando para grupo C em cana soca, de ampla adaptabilidade. O genótipo RB966928, de alta produtividade de TPH, foi classificado no grupo C em cana planta e soca, com alto ajuste do modelo aos dados, indicando adaptabilidade ampla aos diferentes ambientes e boa estabilidade fenotípica.

Palavras chave: Toler e Burrows, *Saccharum* spp, melhoramento genético, interação genótipo x ambiente.

ADAPTABILITY AND STABILITY OF SUGARCANE GENOTYPES WITH EARLY MATURING CICLE BY THE NON-LINEAR REGRESSION ANALYSIS

4.2. ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the adaptability and stability of sugarcane promising clones by the Toler and Burrows methods (1988). It was evaluated 14 genotypes with early maturing cycle, with three standard varieties, in the experimental stage of the UFPR Sugarcane Breeding Program, part of RIDESA, to the tons of pol per hectare trait (TPH) in 11 places at Paraná State. The environments were classified as favorable and unfavorable by the estimative of environmental quality indices, being São Pedro do Ivai the one that showed the higher positive values and most contributed to elevate environmental average. Genotypes were classified in A, B, C and E groups by the analysis of TPH. There were changes in the classification from one season to another, from plant cane to ratoon cane, with only six genotypes remaining in the same group. In the A group was classified the standard variety RB925211 in plant cane and the RB965911 genotype in ratoon cane, considered with convex answer and doubly desirable. The RB946903 genotype has the higher yield in TPH and was classified as E group, concave answer in plant cane, changing to C group in ratoon cane, with wide adaptability. The RB966928 genotype, with high yield in TPH, was classified at C group in plant cane and ratoon cane, with high model adjusts to data, indicating wide adaptability to the different environments and good phenotypic stability.

Key words: Toler and Burrows, *Saccharum* spp, plant breeding, genotype x environmental interaction

4.3. INTRODUÇÃO

A cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) apresenta grande importância econômica e social para o Brasil. A agro-indústria canavieira é responsável pela geração de milhares de empregos e de divisas no Brasil, pela produção de açúcar, etanol e outros subprodutos. O sucesso dessa cultura é devido em grande parte ao desenvolvimento de variedades mais produtivas e resistentes a doenças pelos vários programas de melhoramento.

No caso do Centro-Sul do Brasil, um dos principais objetivos dos programas de melhoramento da cana-de-açúcar é a obtenção de variedades com ciclo de maturação precoce. A antecipação da colheita com o plantio de variedades precoces é importante para estender a safra de cana e reduzir possíveis prejuízos provocados por geadas, que ocorrem geralmente no mês de julho.

A interação genótipo ambiente (G x A) é de grande importância para o melhoramento, pois influencia o ganho por seleção e dificulta a recomendação das variedades. Na presença de interação complexa, o ranqueamento dos genótipos muda de um ambiente para outro (CRUZ; REGAZZI, 2001). Entre as possibilidades para minimizar esse problema está a escolha de variedades com adaptabilidade ampla e boa estabilidade (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Diversas metodologias estatísticas são utilizadas na avaliação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de espécies de importância econômica, para recomendação de cultivares superiores na presença de G x A. Em cana-de-açúcar, vários estudos sobre estabilidade e adaptabilidade já foram publicados baseados em análises de regressão linear (ROSSE *et al.*, 2002, REA; SOUZA-VIEIRA, 2002) e regressão não-linear (ROSSE *et al.*, 2002), análises multivariada (GUERRA *et al.*, 2009, BAJPAI; KUMAR, 2005) e estatísticas não paramétricas (ZENI-NETO *et al.*, 2008). Pereira *et al.* (2009) comentam a importância de se utilizar mais de um método de análise de estabilidade e adaptabilidade, pois cada um possui peculiaridades que podem contribuir para o aprimoramento da análise e, em alguns casos, podem ser complementares entre si.

O método de Toler e Burrows (1998) é baseado na análise de regressão não-linear em função de um índice de qualidade ambiental, estimado por um processo iterativo de quadrados mínimos. O parâmetro que reflete a qualidade ambiental não apresenta relação de dependência com a média fenotípica dos grupos genotípicos, como ocorre nas metodologias baseadas em

regressão linear em que o índice ambiental é obtido pelas produtividades médias dos genótipos. Esta metodologia apresenta testes de hipótese mais rigorosos para os padrões de resposta, permitindo a classificação de genótipos em vários grupos e a escolha de um modelo uni-segmentado ou bi-segmentado que explique melhor o desempenho fenotípico dos genótipos (KVITSCHAL *et al.*, 2009; NUNES *et al.*, 2006). O método apresenta uma variável indexadora que permite avaliar o comportamento dos genótipos de forma diferenciada, com índice ambiental negativo nos ambientes desfavoráveis e índice ambiental positivo nos favoráveis (CARGNELUTTI *et al.*, 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de clones de cana-de-açúcar de ciclo de maturação precoce pelo método de Toler e Burrows (1998).

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo da interação genótipo x ambiente (G x A) foi realizado em clones de maturação precoce do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar, da Universidade Federal do Paraná e Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (PMGCA/UFPR/RIDESA). Os ensaios foram conduzidos em 11 Unidades Produtoras no Estado do Paraná com as seguintes coordenadas e altitudes: São Tomé (23°32'S, 52°35'W, 420 m), Rondon (23°23'S, 52°43'W, 530 m), Jandaia do Sul (23°37'S, 51°37'W, 760 m), Nova Londrina (22°55'S, 53°15'W, 480 m), Ibaiti (23°50'S, 50°11'W, 850 m), Bandeirantes (23°06'S, 50°22'W, 492 m), Jussara (23°50'S, 52°27'W, 408 m), Mandaguaçu (23°21'S, 52°05'W, 580 m), Cidade Gaúcha (23°22'S, 52°56'W, 550 m), Paranavaí (23°05'S, 52°27'W, 503 m), São Pedro do Ivaí (23°52'S, 51°41'W, 400 m). Esses ensaios corresponderam à fase final de experimentação, no período de 2003 a 2005, avaliando-se as safras de cana planta e cana soca.

Foram avaliados 11 clones de ciclo de maturação precoce, RB855046, RB925345, RB945961, RB946903, RB955970, RB956911, RB965902, RB965911, RB966925, RB966927, RB966928 e três variedades padrão, RB855156, RB855453 e RB925211.

Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental em blocos completos casualizados com três repetições, em parcelas de quatro linhas de 8,0 m de comprimento e 1,40 m de espaçamento. O plantio foi realizado em março de 2003, com 18 gemas por metro linear. A colheita da cana planta foi feita em abril de 2004 e da cana soca em abril de 2005. Foram avaliados: número de colmos por parcela – contagem do número de colmos na parcela, dividindo-se pelo comprimento da parcela, obtém-se o número de colmos por metro (NCM); massa de 15 colmos (Kg) – pesagem de 15 colmos desprezando-se os ponteiros, com três repetições por parcela, dividindo-se por 15 obtém-se a massa de um colmo (Kg) (M1C); teor de pol de 10 colmos por parcela (POL); tonelada de cana por hectare (TCH) ($t \cdot ha^{-1}$), calculado pela fórmula: $TCH = NCM \times M1C \times 7,14$; tonelada de pol por hectare ($t \cdot ha^{-1}$) (TPH), calculada pela fórmula: $TPH = TCH \times POL/100$ (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

TCH– tonelada de cana por hectare; TPH– tonelada de pol por hectare ($t \cdot ha^{-1}$); NCM– número de colmos por metro linear; M1C– massa de um colmo (kg); POL– teor de pol (%).

Foram realizadas análises de variância de cada experimento e feito o teste de homogeneidade das variâncias residuais dos experimentos, considerado homogêneo pela razão

entre o maior e menor quadrado médio ser menor que 7,0 (dados não apresentados). Foram realizadas as análises conjuntas de variâncias para cana planta e cana soca, separadamente, com auxílio do aplicativo computacional GENES (CRUZ, 2006). Verificando-se a existência de interação G x A significativa, procedeu-se a análise de estabilidade e adaptabilidade fenotípica pelo método de Toler e Burrows (1998) utilizando-se o software Estabilidade (FERREIRA, 2000), segundo o modelo geral proposto (equação I):

$$Y_{ij} = \alpha_i + [Z_j \beta_{1i} + (1-Z_j) \beta_{2i}] \mu_j + \varepsilon_{ij} \quad (\text{I})$$

Onde: Y_{ij} : resposta do genótipo i no ambiente j ; α_i : parâmetro que reflete o valor da resposta do genótipo i na interseção com $\mu_j = 0$, podendo assumir valor igual ou diferente da média geral do genótipo i conforme os testes das hipóteses; β_{1i} e β_{2i} : refletem a sensibilidade da resposta fenotípica do genótipo i nos ambientes desfavorável e favorável, respectivamente; ε_{ij} : erro experimental médio; μ_j : reflete a qualidade do ambiente j com $Z_j = 1$, se $\mu_j \leq 0$ e $Z_j = 0$, se $\mu_j > 0$.

Para explicar o desempenho fenotípico dos genótipos quando a hipótese H ($\beta_{1i} = \beta_{2i}$) for rejeitada, o modelo bi-segmentado será escolhido; quando a hipótese for aceita, o modelo será uni-segmentado e a equação (I) é reduzida à equação (II) (KVITSCHAL *et al.*, 2009):

$$Y_{ij} = \alpha_i + \beta_i \mu_j + \varepsilon_{ij} \quad (\text{II})$$

Onde β_i é o coeficiente de sensibilidade de resposta para o genótipo i , ou β_i comum.

Os genótipos podem ser classificados em cinco grupos através dos testes de hipóteses dos parâmetros pelo teste t de Student (Tabela 4.1).

TABELA 4.1. CLASSIFICAÇÃO DOS GENÓTIPOS COM BASE NOS PADRÕES DE RESPOSTA ATRAVÉS DOS TESTES DE HIPÓTESES (TOLER; BURROWS, 1998).

Grupo	Critério	Classificação
A	Rejeita-se $H (\beta_{1i} = \beta_{2i})$ e aceita-se $\beta_{1i} < 1 < \beta_{2i}$	Resposta convexa e duplamente desejável;
B	Não se rejeita $H (\beta_{1i} = \beta_{2i})$ e rejeita-se $H (\beta_i = 1)$, sendo $\beta_i > 1$	Resposta linear simples e desejável em ambientes de alta qualidade;
C	Não se rejeita $H (\beta_{1i} = \beta_{2i})$ e aceita-se $H (\beta_i = 1)$	Resposta linear simples não desviando da resposta média dos ambientes;
D	Não se rejeita $H (\beta_{1i} = \beta_{2i})$ e rejeita-se $H (\beta_i = 1)$, sendo $\beta_i < 1$	Resposta linear simples e desejável em ambientes de baixa qualidade;
E	Rejeita-se $H (\beta_{1i} = \beta_{2i})$ e aceita-se $\beta_{1i} > 1 > \beta_{2i}$	Resposta côncava e duplamente indesejável;

O ajustamento do modelo aos dados foi avaliado por meio do coeficiente de determinação R^2 , estimado entre os valores observados de TPH e os valores estimados pelo modelo não-linear de Toler e Burrows (1998), para estimar a estabilidade e previsibilidade de comportamento dos genótipos.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise conjunta de variância apresentou diferenças altamente significativas dos efeitos de ambientes, de genótipos e da interação de genótipo x ambiente (G x A) pelo teste F, em cana planta e cana soca para a variável TPH (Tabela 4.2). A interação G x A significativa mostra que o ranking dos genótipos variou entre os ambientes testados, dificultando a seleção e recomendação de genótipos para a região em estudo, justificando a análise da adaptabilidade e estabilidade.

As médias gerais de TPH observadas (Tabela 4.2) são consideradas elevadas e apresentam, no geral, redução de valor de TPH do ciclo de cana planta para o ciclo de cana soca. Zeni-Neto *et al.*, 2008 observaram diminuição da produtividade de TPH de cana-de-açúcar com o passar dos ciclos, de 15,80 t.ha⁻¹ em cana planta para 14,35 t.ha⁻¹ em cana soca e 11,82 t.ha⁻¹ em cana de segunda soca, em 18 clones precoces e duas variedades padrão, em 11 localidades no Estado do Paraná. Os coeficientes de variância apresentaram valores aceitáveis, indicando boa precisão experimental.

TABELA 4.2. RESUMO DA ANÁLISE CONJUNTA DE VARIÂNCIA PARA TONELADA DE POL POR HECTARE DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE CICLO DE MATURAÇÃO PRECOCE NO PARANÁ.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Cana planta (2003/2004)	Cana soca (2004/2005)
Blocos/Ambientes	22	6,16	9,50
Genótipo (G)	13	39,34 **	49,71 **
Ambiente (E)	10	380,13 **	337,70 **
Interação G x A	130	16,95 **	8,58 **
Resíduo	286	5,68	4,22
Média geral (t.ha ⁻¹)		16,58	14,06
CV (%)		14,38	14,61

** diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F.

A estimativa de qualidade ambiental (μ_j) apresentou amplitude de $8,93 \text{ t.ha}^{-1}$ entre os ambientes de maior e de menor produtividade de TPH em cana planta e de $10,39 \text{ t.ha}^{-1}$ em cana soca (Tabela 4.3). Esta amplitude de variação reflete a grande diversidade entre os locais dos experimentos, o que permite inferir que as condições climáticas, edáficas e ecológicas são bem divergentes, favorecendo a identificação e recomendação de genótipos com adaptabilidade geral. Também favorece a interpretação pelo método de Toler e Burrows (1998), que classifica os genótipos em comportamento não-linear uni-segmentado e bi-segmentado e sua adaptabilidade a ambientes desfavoráveis e favoráveis.

Em cana planta, verificou-se que os ambientes São Tomé, Cidade Gaúcha, Mandaguaçu, Jandaia do Sul e Ibaiti foram os que mais contribuíram para a diminuição da média ambiental, com estimativas de índices ambientais negativas ($\mu_j < 0$) (Tabela 4.3). Nos ambientes São Pedro do Ivaí, Bandeirantes e Paranaíba as estimativas foram mais positivas ($\mu_j > 0$), contribuindo para o aumento da média geral de ambientes.

Em cana soca, os ambientes Ibaiti, Rondon, São Tomé e Jussara apresentaram estimativas de índices ambientais negativas e que mais contribuíram para a diminuição da média ambiental, sendo Ibaiti o ambiente mais desfavorável (Tabela 4.3). São Pedro do Ivaí, Nova Londrina e Cidade Gaúcha tiveram valores positivos e que mais contribuíram para o aumento da média ambiental.

Verificou-se que o ambiente São Pedro do Ivaí apresentou as maiores médias gerais de ambiente e maiores valores positivos de índice de qualidade ambiental, sendo o que mais contribuiu para o aumento da média ambiental em cana planta e cana soca (Tabela 4.3).

A correlação de Pearson entre os índices de qualidade ambiental de cana planta e cana soca apresentou valor de 0.48, indicando que o ranqueamento das localidades em função do TPH dos genótipos apresentou grande variação de um ciclo para o outro. Em Cidade Gaúcha e Jandaia do Sul observou-se uma mudança da estimativa do índice de qualidade ambiental de negativo ($\mu_j < 0$) em cana planta, para positivo ($\mu_j > 0$) em cana soca, apresentando também, aumento na média geral ambiental de TPH de cana planta para cana soca. Em Bandeirantes e Jussara ocorreu o inverso, com mudança no índice ambiental de positivo para negativo (Tabela 4.3). Isto justifica a necessidade de efetuar a análise de Toler e Burrows (1998) separadamente para cana planta e cana soca.

Os coeficientes de variância para cada ambiente apresentaram valores considerados baixos a médios para a maioria das localidades, em cana planta e cana soca, indicando boa precisão experimental. Apenas em Paranavaí, em cana soca, observou-se valor alto de CV, de 24.9% (Tabela 4.3).

TABELA 4.3. MÉDIAS DE TONELADA DE POL POR HECTARE (TPH), ÍNDICE DE QUALIDADE AMBIENTAL (μ_j) PELO MÉTODO DE TOLER E BURROWS (1998) E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA (CV), DE 14 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM 11 AMBIENTES NO ESTADO DO PARANÁ.

Ambiente	Cana planta (2003/2004)			Cana soca (2004/2005)		
	(TPH) (t.ha ⁻¹)	μ_j	CV (%)	(TPH) (t.ha ⁻¹)	μ_j	CV (%)
São Tomé	13,03	-3,49	18,7	12,57	-1,58	11,1
Rondon	16,03	-0,66	15,4	10,72	-3,35	10,9
Jandaia do Sul	14,38	-2,16	14,8	14,56	0,53	11,1
Nova Londrina	16,89	0,00	10,8	16,54	2,75	12,6
Ibaiti	15,30	-1,99	15,4	9,32	-4,68	11,6
Bandeirantes	19,63	3,35	13,2	13,61	-0,39	15,8
Jussara	17,76	1,52	11,2	12,85	-1,23	10,2
Mandaguaçu	14,42	-2,21	17,2	14,21	0,13	8,6
Cidade Gaúcha	12,86	-3,14	11,2	15,62	1,46	13,4
Paranavaí	19,89	3,32	12,8	14,78	0,66	25,5
São Pedro do Ivaí	22,14	5,44	15,4	19,85	5,71	14,7

A adaptabilidade dos genótipos de cana-de-açúcar foi analisada pelo método de Toler e Burrows (1998). Esta metodologia envolve técnicas não-lineares de estimação de um modelo uni ou bi-segmentado para avaliação da estabilidade para cada genótipo (KVITSCHAL *et al.*, 2009). Nas Tabelas 4.4 e 4.5 são apresentadas as estimativas dos parâmetros de padrões de resposta, associados às hipóteses $H(\beta_1 = \beta_2)$ do modelo não-linear bi-segmentado e $H(\beta_1 = 1)$ para o modelo não-linear uni-segmentado. Assim, genótipos com diferenças altamente significativas ($P < 0.01$) para a primeira hipótese, mostram diferenças entre os ambientes favoráveis e os desfavoráveis, sendo melhor representadas por dois segmentos de reta e enquadradas nos grupos A ou E. Os demais se comportam melhor por uma única linha diante de vários ambientes e a

significância da segunda hipótese determinará entre os grupos B, C ou D. Também foi avaliado o ajustamento do modelo aos dados por meio do coeficiente R^2 , indicando a previsibilidade do comportamento do genótipo nos diferentes ambientes.

TABELA 4.4. MÉDIAS OBSERVADAS (Y_i), ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DO MODELO NÃO-LINEAR DE TOLER E BURROWS (1998) (α , β_{1i} , β_{2i} E β_i), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) E PADRÕES DE RESPOSTA (GRUPOS A ATÉ E) PARA TONELADA DE POL POR HECTARE (TPH) EM CANA PLANTA, DE CLONES PRECOCES DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM 11 AMBIENTES NO ESTADO DO PARANÁ.

Parâmetros estimados (TPH) em cana planta									
Genótipo	Y_i	α	$\beta_{2i}-\beta_{1i}$	β_{1i}	β_{2i}	β_i	Grupo	R^2	
1 RB855046	15,69	13,43	1,86 ^{**}	-0,28 ^{**}	1,59 [*]	-	A	56,2	
2 RB855156	15,81	15,81	-0,15 ^{ns}	-	-	1,00 ^{ns}	C	63,3	
3 RB855453	16,18	18,10	-1,59 [*]	1,71 ^{ns}	0,12 ^{**}	-	E	75,2	
4 RB925211	17,40	14,68	2,25 ^{**}	-0,22 ^{**}	2,03 ^{**}	-	A	86,5	
5 RB925345	16,78	16,78	-0,97 ^{ns}	-	-	0,82 ^{ns}	C	55,3	
6 RB945961	15,86	15,86	-0,35 ^{ns}	-	-	1,07 ^{ns}	C	62,9	
7 RB946903	18,74	21,40	-2,20 ^{**}	2,16 ^{**}	-0,05 ^{**}	-	E	76,4	
8 RB955970	15,60	15,60	-1,15 ^{ns}	-	-	0,80 ^{ns}	C	60,1	
9 RB956911	16,90	16,90	-1,05 ^{ns}	-	-	1,16 ^{ns}	C	75,7	
10 RB965902	17,04	17,04	0,70 ^{ns}	-	-	1,02 ^{ns}	C	80,9	
11 RB965911	17,93	17,93	-0,01 ^{ns}	-	-	1,49 ^{**}	B	77,6	
12 RB966925	15,11	15,11	0,86 ^{ns}	-	-	0,85 ^{ns}	C	62,6	
13 RB966927	15,33	12,98	1,94 ^{**}	-0,05 ^{**}	1,89 ^{**}	-	A	85,5	
14 RB966928	17,69	17,69	-0,14 ^{ns}	-	-	1,05 ^{ns}	C	86,3	

^{ns} não significativo; * e ** diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t de Student.

TABELA 4.5. MÉDIAS OBSERVADAS (Y_i), ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DO MODELO NÃO-LINEAR DE TOLER E BURROWS (1998) (A , B_{1i} , B_{2i} E B_i), COEFICIENTE DE DETERMINAÇÃO (R^2) E PADRÕES DE RESPOSTA (GRUPOS A ATÉ E) PARA TONELADA DE POL POR HECTARE (TPH) EM CANA SOCA, DE CLONES PRECOSES DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM 11 AMBIENTES NO ESTADO DO PARANÁ.

Parâmetros estimados (TPH) em cana soca								
Genótipo	Y_i	α	$\beta_{2i}-\beta_{1i}$	β_{1i}	β_{2i}	β_i	Grupo	R^2
1 RB855046	12,22	12,22	-0,42 ^{ns}	-	-	0,91 ^{ns}	C	76,6
2 RB855156	14,35	14,35	-0,21 ^{ns}	-	-	0,84 ^{ns}	C	54,8
3 RB855453	12,69	12,69	0,05 ^{ns}	-	-	1,11 ^{ns}	C	85,5
4 RB925211	14,71	14,71	0,54 ^{ns}	-	-	0,91 ^{ns}	C	78,7
5 RB925345	14,79	14,79	-0,26 ^{ns}	-	-	1,04 ^{ns}	C	75,1
6 RB945961	14,42	14,42	0,49 ^{ns}	-	-	1,38 ^{**}	B	86,7
7 RB946903	15,76	15,76	0,11 ^{ns}	-	-	1,07 ^{ns}	C	91,4
8 RB955970	13,79	13,79	-0,12 ^{ns}	-	-	0,97 ^{ns}	C	71,9
9 RB956911	13,96	13,96	0,09 ^{ns}	-	-	1,00 ^{ns}	C	91,8
10 RB965902	14,06	14,87	0,79 [*]	1,10 ^{ns}	0,32 ^{**}	-	E	79,1
11 RB965911	15,27	14,22	1,02 [*]	0,67 ^{ns}	1,69 ^{**}	-	A	78,6
12 RB966925	13,18	13,18	0,20 ^{ns}	-	-	0,78 ^{ns}	C	54,9
13 RB966927	11,84	11,84	-0,44 ^{ns}	-	-	1,00 ^{ns}	C	76,5
14 RB966928	15,79	15,79	-0,26 ^{ns}	-	-	1,09 ^{ns}	C	96,0

^{ns} não significativo; * e ** diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente, pelo teste t de Student.

Os genótipos estudados foram enquadrados nos grupos A, B, C e E em cana planta (Tabela 4.4) e cana soca (Tabela 4.5).

Nos genótipos RB855046, RB925211 e RB966927 em cana planta e RB965911 em cana soca, observou-se a estimativa β_{1i} significativamente menor do que β_{2i} ($\beta_{1i} < 1 < \beta_{2i}$), implicando na escolha do modelo bi-segmentado com padrão de resposta fenotípica do tipo convexo (grupo A), considerado duplamente desejável (Tabelas 4.4 e 4.5). Esses genótipos apresentam boa adaptação a ambientes favoráveis, sendo responsivos com o aumento da qualidade ambiental, tendendo a mostrar resultados cada vez mais satisfatórios para a característica avaliada (TOLER;

BURROWS, 1998). Porém os valores baixos e negativos de β_{1i} para estes genótipos, indicam baixa responsividade para ambientes desfavoráveis.

Nos genótipos RB855453 e RB946903 em cana planta e RB965902 em cana soca, observou-se a estimativa β_{1i} significativamente maior do que β_{2i} ($\beta_{1i} > 1 > \beta_{2i}$), implicando na escolha do modelo bi-segmentado com padrão de resposta côncavo (grupo E), que Toler e Burrows (1988) classificam como duplamente indesejáveis. Porém, neste trabalho estes genótipos apresentam alto rendimento TPH e são responsivos às melhorias de qualidade ambiental, principalmente em ambientes desfavoráveis, embora apresentem uma curva com formato côncavo.

Os demais genótipos tiveram a expressão fenotípica explicada por um modelo uni-segmentado, com padrão de resposta simples para a característica TPH, em que as estimativas β_{1i} e β_{2i} não diferiram estatisticamente e foram classificados nos grupos B ou C (Tabelas 4.4 e 4.5). No grupo B foram classificados RB965911 em cana planta e RB945961 em cana soca, de resposta linear simples e desejável, com adaptação específica a ambientes de alta qualidade ($\beta_i > 1$) ou favoráveis.

A maioria dos genótipos foram classificados no grupo C ($\beta_i = 1$): RB855156, RB925345, RB945961, RB955970, RB956911, RB965902, RB966925, RB966928 em cana planta (57,1% dos genótipos testados); e RB855046, RB855156, RB855453, RB925211, RB925345, RB946903, RB955970, RB956911, RB966925, RB966927 e RB966928 em cana soca (78,6% dos genótipos) (Tabelas 4.4 e 4.5). Estes genótipos são considerados de adaptação ampla.

Nenhum dos genótipos estudados foi classificado no grupo D, que seriam mais adaptados a ambientes desfavoráveis ou de baixa qualidade ($\beta_i < 1$) e menos adaptados a ambientes favoráveis. Isto pode ter ocorrido em função do estágio avançado do programa de melhoramento, na fase final de experimentação, em que já houve várias etapas de seleção, permanecendo os clones precoces selecionados mais promissores. Rosse *et al.* (2002) avaliaram 20 genótipos de cana-de-açúcar na última fase de experimentação do programa de melhoramento e observaram apenas três genótipos no grupo D, que ficaram entre os 20% menos produtivos do experimento. Os genótipos foram classificados de A a E pelo método de Toler e Burrows (1998), estando os sete mais produtivos nos grupos B e E, com médias de TPH de 10,9 a 14,7 t.ha⁻¹.

Nas Tabelas 4.4 e 4.5 estão apresentadas as correlações R^2 para ajustamento do modelo aos dados de médias TPH preditas pelo método de Toler e Burrows (1998) (Tabelas 4.6 e 4.7).

Observaram-se valores variando de 55 % para o genótipo RB925345 a 86 % para RB925211 e RB966928 em cana planta; e de 55 % para RB855156 e RB966925 a 96 % para RB966928 em cana soca. Para vários pesquisadores, o conceito de estabilidade dos genótipos está relacionado com a previsibilidade (ROSSE *et al.*, 2002). Utilizando esse conceito, pode-se afirmar que os clones testados possuem boa estabilidade, com destaque para o clone RB966928 que apresentou altos valores de R^2 tanto em cana planta como em cana soca. Outra observação é que em média, os valores de R^2 foram maiores para cana soca (78.4 %) do que para cana planta (71.7 %). Guerra *et al.* (2009), trabalhando com análise AMMI (*Additive Main effects and Multiplicative Interaction analysis*) para os mesmos 14 genótipos nos 11 ambientes, também observaram maior estabilidade fenotípica dos genótipos em cana soca do que em cana planta.

Os genótipos com as maiores médias previstas nas 11 localidades, em cana planta e cana soca, foram RB946903, RB965911 e RB966928 (Tabelas 4.6 e 4.7). A maioria dos genótipos testados apresentou redução de produtividade do primeiro para o segundo ciclo, de cana planta para cana soca. Porém, especialmente em alguns locais ocorreu o inverso, com aumento de TPH em cana soca. Em Cidade Gaúcha, 13 dos 14 genótipos tiveram aumento e em São Tomé, Rondon e Nova Londrina, 50% dos genótipos tiveram produtividade igual ou maior em cana soca.

A amplitude de variação da produtividade média de TPH dos 14 genótipos de cana-de-açúcar foi de 3,6 t.ha⁻¹ em cana planta e 4,0 t.ha⁻¹ em cana soca (Tabelas 4.6 e 4.7). Os valores variaram de 15,1 t.ha⁻¹ para RB966925 a 18,7 t.ha⁻¹ para RB946903 em cana planta. Em cana soca observou-se de 11,8 t.ha⁻¹ para RB966927 a 15,8 t.ha⁻¹ para RB966928. As variedades padrão, RB855156, RB855453 e RB925211, utilizadas no experimento como referência, apresentaram valores entre 15,8 t.ha⁻¹ a 17,4 t.ha⁻¹ em cana planta e entre 12,7 t.ha⁻¹ e 14,8 t.ha⁻¹ em cana soca. O genótipo RB925211 apresentou a melhor média TPH entre os padrões, observando-se três genótipos, RB946903, RB965911 e RB966928, com médias previstas superiores ao melhor padrão em cana planta e cana soca, além do RB925345 também superior em cana soca.

TABELA 4.6. MÉDIAS PREDITAS PELO MÉTODO TOLER E BURROWS (1998) DE TONELADA DE POL POR HECTARE, DE 14 CLONES PRECOCES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA PLANTA (2003/2004), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

Genótipo	Tonelada de pol por hectare (t.ha ⁻¹) em cana planta											Média
	A1**	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	
RB855046	14,4	13,6	14,0	13,4	14,0	18,8	15,9	14,0	14,3	18,7	22,1	15,7
RB855156*	12,2	15,3	13,6	16,0	13,8	19,2	17,4	13,6	12,5	19,1	21,1	15,8
RB855453*	12,2	17,0	14,4	18,1	14,7	18,5	18,3	14,3	12,7	18,5	18,7	16,1
RB925211*	15,5	14,8	15,2	14,7	15,1	21,5	17,8	15,2	15,4	21,4	25,7	17,5
RB925345	13,1	17,0	15,0	18,0	15,2	19,4	18,6	14,9	13,6	19,3	20,2	16,7
RB945961	11,8	15,4	13,5	16,3	13,7	19,5	17,7	13,4	12,2	19,4	21,4	15,9
RB946903	13,9	20,0	16,7	21,4	17,1	21,2	21,3	16,6	14,6	21,2	21,1	18,7
RB955970	11,7	16,0	13,7	17,0	14,0	18,2	17,5	13,6	12,2	18,2	19,0	15,6
RB956911	11,9	17,0	14,3	18,2	14,6	20,7	19,3	14,2	12,6	20,6	22,2	16,9
RB965902	14,1	15,8	14,9	16,2	15,0	20,6	18,2	14,9	14,3	20,5	23,3	17,1
RB965911	12,8	17,0	14,8	17,9	15,0	22,8	20,2	14,7	13,3	22,8	25,9	17,9
RB966925	12,8	13,8	13,3	14,1	13,3	18,2	15,9	13,3	12,9	18,1	20,7	15,1
RB966927	13,2	13,0	13,1	13,0	13,1	19,3	15,9	13,1	13,1	19,3	23,2	15,4
RB966928	13,8	17,1	15,4	17,9	15,6	21,3	19,4	15,3	14,2	21,3	23,4	17,7
Média geral	13,1	15,9	14,4	16,6	14,6	19,9	18,1	14,4	13,4	19,9	22,0	16,6

*variedade padrão; **A1: São Tomé; A2: Rondon; A3: Jandaia do Sul; A4: Nova Londrina; A5: Ibaí; A6: Bandeirantes; A7: Jussara; A8: Mandaguaçu; A9: Cidade Gaúcha; A10: Paranavaí; A11: São Pedro do Ivaí.

TABELA 4.7. MÉDIAS PREDITAS PELO MÉTODO TOLER E BURROWS (1998) DE TONELADA DE POL POR HECTARE, DE 14 CLONES PRECOCES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA SOCA (2004/2005), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

Genótipo	Tonelada de pol por hectare (t.ha ⁻¹) em cana soca											Média
	A1**	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	
RB855046	10,9	8,9	13,0	14,6	7,4	12,2	11,3	12,7	13,7	13,1	16,7	12,2
RB855156*	13,1	11,4	15,0	16,6	10,1	14,2	13,4	14,7	15,6	15,1	18,8	14,4
RB855453*	10,9	9,0	13,2	15,7	7,6	12,2	11,3	12,8	14,3	13,4	19,1	12,7
RB925211*	13,2	12,1	14,8	17,4	11,2	13,9	13,4	14,3	15,9	14,9	20,8	14,7
RB925345	13,2	11,1	15,5	17,6	9,5	14,6	13,6	15,2	16,4	15,7	20,3	14,8
RB945961	12,2	10,2	14,8	18,3	8,7	13,5	12,5	14,1	16,3	15,0	23,1	14,4
RB946903	14,1	12,3	16,2	18,7	10,9	15,3	14,4	15,8	17,3	16,4	22,0	15,8
RB955970	12,3	10,4	14,4	16,4	9,0	13,5	12,6	14,0	15,3	14,5	19,2	13,8
RB956911	12,4	10,7	14,4	16,7	9,4	13,5	12,7	14,0	15,4	14,6	19,8	14,0
RB965902	13,1	11,2	15,0	15,7	9,7	14,4	13,5	14,9	15,3	15,1	16,7	14,1
RB965911	13,2	12,0	15,1	18,9	11,1	14,0	13,4	14,4	16,7	15,3	23,9	15,3
RB966925	11,9	10,7	13,4	15,4	9,9	12,7	12,1	13,1	14,2	13,5	17,9	13,2
RB966927	10,3	8,1	12,7	14,5	6,5	11,8	10,8	12,4	13,5	12,8	16,9	11,8
RB966928	14,1	11,9	16,6	18,7	10,3	15,6	14,5	16,2	17,5	16,7	21,6	15,8
Média	12,5	10,7	14,6	16,8	9,4	13,7	12,8	14,2	15,5	14,7	19,8	14,1

*variedade padrão; **A1: São Tomé; A2: Rondon; A3: Jandaia do Sul; A4: Nova Londrina; A5: Ibaiti; A6: Bandeirantes; A7: Jussara; A8: Mandaguaçu; A9: Cidade Gaúcha; A10: Paranavaí; A11: São Pedro do Ivaí.

As informações obtidas pela análise de Toler e Burrows (1998) aliada às informações do método AMMI se complementam e são adequadas para uma melhor tomada de decisão em relação à indicação de cultivares, pois apresentam ausência de associação entre as estimativas de parâmetros de estabilidade IPCA e as estimativas de parâmetros de adaptabilidade β_{1i} e β_{2i} (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2009). Alguns autores têm sugerido o uso simultâneo dos dois métodos para análise de estabilidade e adaptabilidade fenotípica (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2009, KVITSCHAL *et al.*, 2009, FERREIRA *et al.*, 2006). A análise AMMI apresenta alta

capacidade de identificação de interação específica entre genótipos e ambientes, enquanto a metodologia de Toler e Burrows (1998) propicia um melhor detalhamento das adaptações específicas dos genótipos a ambientes favoráveis e desfavoráveis (KVITSCHAL *et al.*, 2009).

Guerra *et al.* (2009) utilizando o método de análise multivariada AMMI, avaliaram a adaptabilidade e estabilidade para os mesmos dados de TPH dos 14 genótipos de cana-de-açúcar, avaliados nos 11 ambientes. São apresentados a seguir, comparações dos resultados das duas análises de estabilidade e adaptabilidade para os genótipos mais produtivos e outros destaques.

Observou-se, pelo método Toler e Burrows (1998), que o genótipo RB946903 foi classificado no grupo E em cana planta, de resposta côncava e duplamente indesejável, apesar de apresentar a maior média entre todos os genótipos testados. Em cana soca foi classificado no grupo C, de resposta linear simples, com adaptação ampla. Apresentou estimativas de previsibilidade altas (R^2) de 76,4% e 91,4% em cana planta e soca, respectivamente, indicando ajuste adequado do modelo aos dados. Na análise AMMI apresentou baixa estabilidade fenotípica para TPH em cana planta e moderada em cana soca, identificando-se ainda, a adaptabilidade específica para a localidade Nova Londrina em cana planta e para São Tomé, em cana soca (GUERRA *et al.*, 2009).

O genótipo RB965911, de alta produtividade, foi classificado como tipo B em cana planta, de resposta linear simples e com adaptação a ambientes favoráveis; e do tipo A em cana soca, de resposta convexa e duplamente desejável. Apresentou baixa estabilidade para TPH pela análise AMMI e adaptabilidade específica para São Pedro do Ivaí em cana planta; e adaptabilidade específica para Nova Londrina, em cana soca. Os dois métodos confirmam a adaptabilidade a ambientes favoráveis.

A variedade padrão RB925211 foi classificada como tipo A em cana planta e tipo C em cana soca. No AMMI foi mais estável em cana soca, confirmando adaptabilidade ampla (GUERRA *et al.*, 2009).

O genótipo RB966928, de alta produtividade, foi classificado no grupo C em cana planta e em cana soca, com adaptabilidade ampla. Na análise AMMI apresentou boa estabilidade, tendo boa produtividade tanto em ambientes favoráveis como desfavoráveis (GUERRA *et al.*, 2009).

A correlação entre as médias de TPH de cana planta e cana soca foi de 0,45. Esta interação observada entre os ciclos da cultura também justifica a necessidade de verificação da interação genótipo x ambiente individualmente, em cada ciclo. Assim, há diferenças no comportamento de

genótipos em diferentes ambientes do primeiro para o segundo ciclo da cultura. Dos 14 genótipos testados, 50% apresentaram mudança de bi-segmentado para uni-segmentado, ou vice-versa. Uma das razões para isso pode ser a diferente capacidade de brotação de soqueira dos genótipos testados.

Na Figura 4.1 são apresentadas as curvas de resposta do modelo de regressão não-linear uni-segmentado e bi-segmentado de alguns dos genótipos avaliados para TPH. A variedade padrão RB925211 apresentou mudança de comportamento de grupo A, em cana planta, para grupo C em cana soca (Figura 4.1 A). Em cana planta teve resposta bi-segmentada convexa e duplamente desejável, partindo de um patamar de produtividade de TPH ($15,5 \text{ t.ha}^{-1}$) no ambiente de baixo índice ambiental (São Tomé, $\mu = -3,49$), acima da média dos ambientes desfavoráveis ($13,1 \text{ t.ha}^{-1}$) e atingiu o maior valor ($25,7 \text{ t.ha}^{-1}$) no ambiente de alto índice ambiental (São Pedro do Ivaí, $\mu = 5,44$), acima da média dos ambientes favoráveis ($22,0 \text{ t.ha}^{-1}$). Em cana soca apresentou resposta linear simples, grupo C, não desviando da resposta média dos ambientes. Partiu de um patamar de TPH ($11,2 \text{ t.ha}^{-1}$) no ambiente de baixo índice ambiental (Ibaiti, $\mu = -4,68$), acima da média dos ambientes desfavoráveis ($9,4 \text{ t.ha}^{-1}$) e atingiu o maior valor ($20,8 \text{ t.ha}^{-1}$) no ambiente de alto índice ambiental (São Pedro do Ivaí, $\mu = 5,71$), acima da média dos ambientes favoráveis ($19,8 \text{ t.ha}^{-1}$).

O genótipo RB966928 não apresentou mudança de classificação (grupo C) de resposta linear simples (Figura 4.1 B), com $17,7 \text{ t.ha}^{-1}$ em cana planta, terceira maior média, variando de $13,8 \text{ t.ha}^{-1}$ a $23,4 \text{ t.ha}^{-1}$. Em cana soca obteve $15,8 \text{ t.ha}^{-1}$, maior produtividade, variando de $10,3 \text{ t.ha}^{-1}$ a $21,6 \text{ t.ha}^{-1}$. Em todos os ambientes testados ficou entre os mais produtivos e apresentou-se superior à média local em ambientes desfavoráveis e favoráveis, com adaptabilidade ampla.

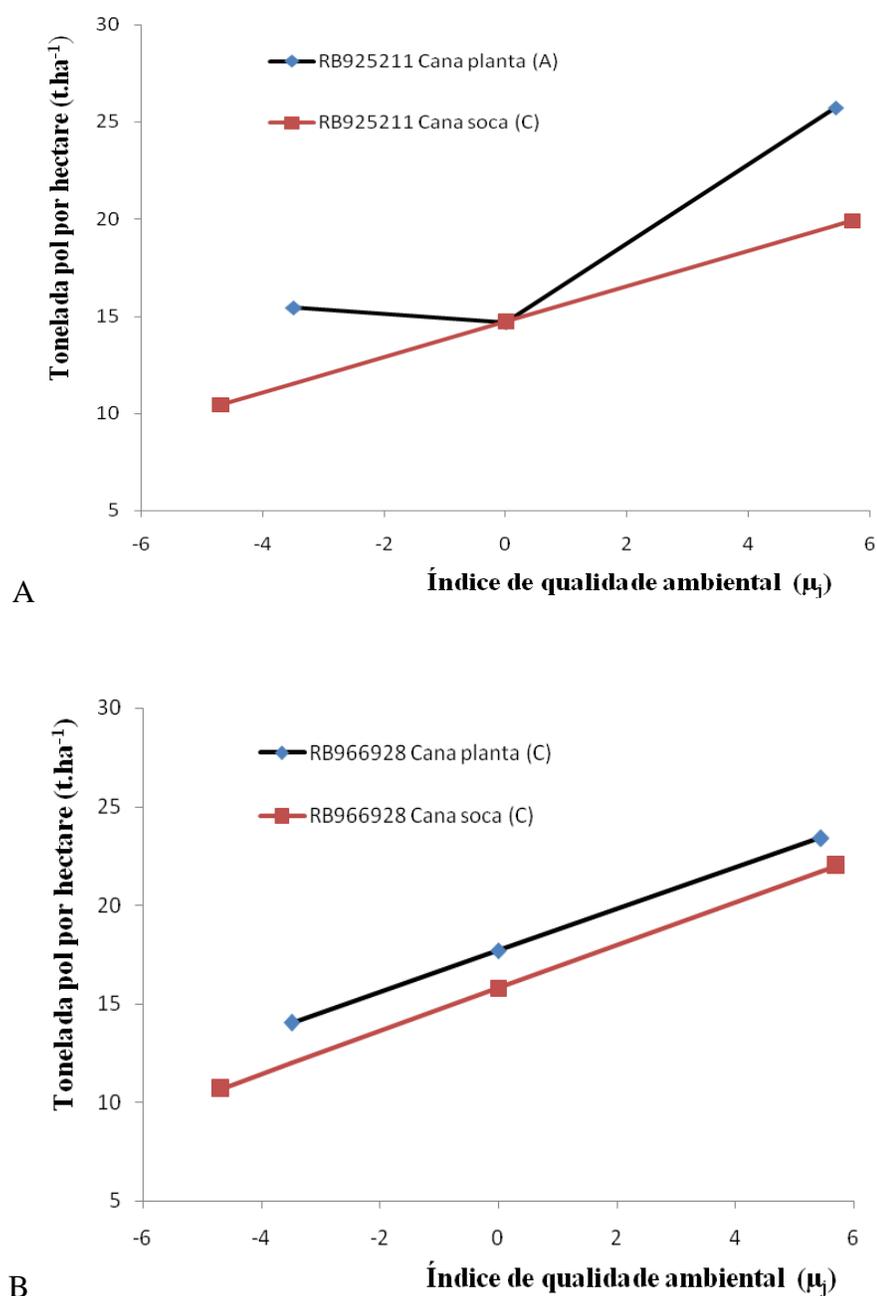


FIGURA 4.1. COMPORTAMENTO DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE CICLO PRECOCE: (A) COM MUDANÇA DE BI-SEGMENTADO (GRUPO A) EM CANA PLANTA, PARA UNI-SEGMENTADO (GRUPO C) EM CANA SOCA; (B) SEM MUDANÇA DE COMPORTAMENTO (GRUPO C).

4.6. CONCLUSÕES

A análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Toler e Burrows (1998) propiciou a classificação de genótipos de cana-de-açúcar nos grupos A, B, C e E, com comportamento uni-segmentado ou bi-segmentado e a discriminação dos genótipos quanto ao desempenho em ambientes favoráveis ou desfavoráveis.

O genótipo RB966928 apresentou alta produtividade de tonelada de pol por hectare (TPH), classificado no grupo C em cana planta e cana soca, com alto ajuste do modelo aos dados, indicando adaptabilidade ampla aos diferentes ambientes e estabilidade fenotípica.

A variedade padrão RB925211 em cana planta e o genótipo RB965911 em cana soca, apresentaram comportamento convexo do tipo A, duplamente desejável.

A estimativa de índice de qualidade ambiental identificou os ambientes que mais contribuíram para a diminuição ou aumento da média de TPH em cada localidade de avaliação, sendo que São Pedro do Ivaí apresentou os maiores valores positivos do índice, em cana planta e cana soca.

4.7. REFERÊNCIAS

BAJPAI, P. K.; KUMAR, R. Comparison of methods for studying genotype x environment interaction in sugarcane. **Sugar Tech**, v.7, n.4, p. 129-135, 2005.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; RIBOLDI, J.; GUADAGNIN, J. P. Associação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.2, p. 340-347, 2009.

CRUZ, C. D. **Programa Genes**: Biometria. Viçosa: UFV, 2006. 382 p.

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

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. 2ª ed. ver. Viçosa: UFV, 2001. 309 p.

FERREIRA, D. F. **Aplicativo Estabilidade**. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências Exatas. 2000. Disponível em <www.ufla.br/dex> Acessado em out. 2008.

FERREIRA, D. F.; DEMÉTRIO, C. G. B.; MANLY, B. F. J.; MACHADO, A. A.; VENCOVSKY, R. Statistical models in agriculture: biometrical methods for evaluating phenotypic stability in plant breeding. **Cerne**, v.12, n.4, p.373-388, 2006.

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

KVITSCHAL, M. V.; VIDIGAL, M. C. G.; SCAPIM, C. A.; GONÇALVES-VIDIGAL, M. C.; SAGRILO, E.; RIMOLDI, F. Comparison of phenotypic adaptability and stability methodologies

for storage roots yield and dry matter content of cassava genotypes (*Manihot esculenta* Crantz). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, p. 163-175, 2009.

NUNES, G. H. D.; MEDEIROS, A. E. D.; GRANGEIRO, L. C.; SANTOS, G. M.; JUNIOR, R. S. Estabilidade fenotípica de híbridos de melão amarelo avaliados no Pólo Agrícola Mossoró-Assú. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.41, n.9, p. 1369-1376, 2006.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; BESPALHOK FILHO, J. C.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; WEBER, H.; RESENDE, M. D. V.; ZENI-NETO, H. Seleção de famílias de cana-de-açúcar via modelos mistos. **Scientia Agraria**, v.9, p. 269-274, 2008.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; COSTA, J. G. C. da; DIAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p.374-383, 2009.

REA, R.; SOUSA-VIEIRA, O. Genotype x environment interactions in sugarcane yield trials in the Central-Western region of Venezuela. **Interciencia**, Caracas, v.27, n.11, p.620-624, 2002.

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**, v.37, n.1, p. 25-32, 2002.

TOLER, J. E.; BURROWS, P. M. Genotypic performance over environmental arrays: A non-linear grouping protocol. **Journal of Applied Statistics**, v. 25, n. 1, p. 131-143, 1998.

ZENI-NETO, H.; DAROS, E.; ZAMBON, J. L. C.; BESPALHOK FILHO, J. C.; OLIVEIRA, R. A.; WEBER, H. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones precoces de cana-de-açúcar no Estado do Paraná. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.9, p. 283-289, 2008.

CAPÍTULO III

ASSOCIAÇÃO DE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE CICLO PRECOCE

5. CAPÍTULO III

ASSOCIAÇÃO DE MÉTODOS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE CICLO PRECOCE

5.1. RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo de maturação precoce e estudar a associação dos diferentes métodos de análise. Foram avaliados 14 genótipos precoces sendo três variedades padrão, em fase de experimentação do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da Universidade Federal do Paraná (PMGCA/UFPR), que faz parte da Rede Interuniversitária de Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (RIDESA), para a característica tonelada de pol por hectare (TPH), em 11 localidades no Estado do Paraná. Após análise conjunta dos experimentos e identificação da interação genótipo x ambiente (G x A) significativa, efetuou-se análise de adaptabilidade e estabilidade pelos métodos de Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998), método centróide com pontos adicionais (NASCIMENTO *et al.*, 2009), AMMI (ZOBEL *et al.*, 1988) e Toler e Burrows (1998). O método AMMI apresentou fraca associação com os métodos baseados em coeficientes de regressão e de médias, podendo ser recomendado para uso simultâneo com os métodos de Toler e Burrows, de Eberhart e Russell, de Lin e Binns modificado por Carneiro e método centróide com pontos adicionais. O genótipo RB966928 apresentou adaptabilidade ampla em cana planta e cana soca pelos métodos estudados e, junto com os genótipos RB946903 e RB965911, foram identificados como clones de alta produtividade e adaptabilidade geral, podendo ser indicados como clones promissores para os ambientes equivalentes nas regiões Norte e Noroeste do Estado do Paraná. O uso de métodos baseados em diferentes técnicas como análise de regressão, análise não paramétrica, análise multivariada e interação de análise univariada com multivariada, possibilita uma melhor interpretação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos para seleção e indicação de cultivares.

Palavras chave: *Saccharum* spp., regressão linear, análise não-paramétrica, componentes principais.

ASSOCIATION OF METHODS TO STUDY THE ADAPTABILITY AND STABILITY OF SUGARCANE GENOTYPES WITH EARLY MATURING CICLE

5.2. ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the adaptability and stability of sugarcane genotypes with early maturing cycle and to study the association of different methods of analysis. It was evaluated 14 genotypes with early maturing cycle, with three standard varieties, in the experimental stage of the UFPR Sugarcane Breeding Program, part of RIDESA, to the tons of pol per hectare trait (TPH) in 11 places of Paraná State. After analysis of combined variance of the experiments and identification of the genotype x environment interaction, adaptability and stability analysis was done by the Eberhart and Russell methods (1966), by Lin and Binns (1988) modified by Carneiro (1998) and by the centroid with additional points methods (NASCIMENTO *et al.*, 2009). AMMI showed weak association with methods based on regression coefficient and on averages, and can be recommended for simultaneous use with Toler and Burrows, Eberhart and Russell, Lin and Binns modified by Carneiro and centroid with additional points methods. The RB966928, RB946903 and RB965911 genotypes were identified as the best clones in this experiment, with highest yield of TPH, in general classified as stable and with general adaptability by the methods used, and can be indicated as promising clones to cultivate in North and Northwestern of the Paraná State. The use of methods based in the different techniques by linear regression analysis, non-linear regression, non-parametric analysis, multivariate analysis and by the interaction of univariate with multivariate analysis, permits a better interpretation of the genotypes adaptability and stability to the cultivars selection and indication.

Key words: *Saccharum* spp., linear regression, non-parametric analysis, principal components.

5.3. INTRODUÇÃO

A seleção de clones superiores em programas de melhoramento da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) depende do genótipo, do ambiente e da interação do genótipo com o ambiente (G x A), para a maioria das características de importância econômica. A interação ocorre devido à inconsistência do desempenho dos genótipos nos vários ambientes, acarretando nas diferentes respostas dos genótipos frente às mudanças ambientais.

Somente uma pequena porção da interação genótipo x ambiente pode ser atribuída a fatores ambientais conhecidos, sendo que a maior parte é inexplicável na análise estatística. Havendo interação G x A significativa, procura-se identificar genótipos com adaptação específica a determinados ambientes e genótipos que sejam menos influenciados pelas variações ambientais, com adaptação geral para exploração em vários outros ambientes (ROSSE, 1999).

A adaptabilidade refere-se à capacidade dos genótipos em aproveitarem vantajosamente o estímulo do ambiente e a estabilidade diz respeito à capacidade dos genótipos mostrarem comportamentos altamente previsíveis em razão do estímulo do ambiente (CRUZ; REGAZZI, 2001).

Diversas metodologias são usadas para análise de adaptabilidade e estabilidade, como os métodos de análise de regressão linear simples de Finlay e Wilkinson (1963) e Eberhart e Russell (1966); análise de regressão não-linear de Toler e Burrows (1998); análises não paramétricas de Lin e Binns (1988), modificado por Carneiro (1998); análise univariada e multivariada AMMI (ZOBEL *et al.*, 1988); e método centróide de Rocha *et al.* (2005), modificado por Nascimento *et al.* (2009) com pontos adicionais.

Diversos autores utilizaram de duas a até 20 metodologias para análise de adaptabilidade e estabilidade, estudando a associação entre os métodos e a aplicação em conjunto de alguns destes. Destacam-se algumas observações: associações em gráfico biplot (IPCA1 x IPCA2) com três agrupamentos de relacionamentos entre os métodos estatísticos de análise de estabilidade (MOHAMMED; AMRI, 2008); combinações favoráveis de pares de métodos, como de Lin e Binns e Eberhart e Russell, agregando informações à análise de estabilidade, e à complementaridade de informações pela fraca associação entre Eberhart e Russell e AMMI, recomendando o uso combinado destes (SILVA; DUARTE, 2006); combinações favoráveis e

recomendação de uso em conjunto, indicando ausência de associação dos métodos AMMI e Toler (1990), ou de maior concordância entre Eberhart e Russell e Toler, ou de menor concordância entre AMMI e Eberhart e Russell; ou combinações desfavoráveis, considerando desnecessário o uso concomitante dos métodos pela forte associação entre o método Toler e de Silva e Barreto ou redundantes entre Eberhart e Russell com o método Tai (CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2009).

No estudo da interação G x A, diversos autores utilizam os métodos Eberhart e Russell (1966) e Lin e Binns (1988) por agregarem informações e apresentarem baixa associação (RIOS *et al.*, 2009; CARGNELUTTI FILHO *et al.*, 2009; BARROS *et al.*, 2008; MELO *et al.*, 2007; SILVA; DUARTE, 2006; ROCHA *et al.*, 2005;).

Nascimento Filho *et al.* (2009) identificaram que o método não paramétrico de Lin e Binns (1988), modificado por Carneiro (1998), apresenta resultados satisfatórios e maior facilidade de interpretação em relação aos outros métodos utilizados, incluindo o de Eberhart e Russell e discrimina melhor os clones quanto ao desempenho em ambientes favoráveis e em desfavoráveis.

Diversos autores fizeram análises de adaptabilidade e estabilidade com o método centróide (ROCHA *et al.*, 2005) em diferentes espécies, em conjunto com o método de Eberhart e Russell (1966) e/ou o método Lin e Binns (1988), respectivamente de análise multivariada, regressão linear e não-paramétrica (BARROS *et al.*, 2009; NASCIMENTO *et al.*, 2009; PORTO *et al.*, 2009; RIOS *et al.*, 2009; BARROS *et al.*, 2008; MARCHIORI, 2008; ROCHA *et al.*, 2005).

Segundo Nascimento *et al.* (2009) o método centróide (ROCHA *et al.*, 2005) tem como objetivo facilitar a recomendação de genótipos, pois permite o direcionamento dos genótipos em relação à variação ambiental, dispensa a análise de vários parâmetros como a que ocorre nos métodos baseados em regressão e não possibilita a duplicidade de interpretação observada na metodologia de Lin e Binns (1988).

Diversos autores analisaram a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de diferentes espécies pelo método centróide (ROCHA *et al.*, 2005), em conjunto com o de Eberhart e Russell (1966) e o proposto por Lin e Binns (1988). Foram observadas diferenças de eficiência na análise dependendo da característica avaliada: como no ajuste não satisfatório do modelo para uma característica analisada pelo método de Eberhart e Russell, porém adequada e concordando na

avaliação pelos três métodos em outra característica (RIOS *et al.*, 2009); a seleção de um maior número de genótipos com adaptabilidade e estabilidade pelo método centróide em relação ao de Eberhart e Russell, para dois componentes de rendimento avaliados (PORTO *et al.*, 2009); coerência entre os métodos de centróide e de Eberhart e Russell para uma característica, identificando genótipos de maior produtividade, adaptabilidade e estabilidade (ROCHA *et al.*, 2009); ou a determinação de que um material seria considerado adaptado ou estável apenas se classificados pelos três métodos conjuntamente (MARCHIORI, 2008).

O uso de métodos baseados em diferentes técnicas como análise de regressão linear, regressão não-linear, análise não-paramétrica, análise multivariada e análise univariada combinada com multivariada, possibilita uma melhor interpretação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos para seleção, facilitando a indicação de cultivares.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a adaptabilidade e estabilidade de genótipos de cana-de-açúcar de ciclo de maturação precoce no Estado do Paraná por diferentes metodologias e estudar a associação entre essas metodologias.

5.4. MATERIAL E MÉTODOS

Clones de cana-de-açúcar de ciclo de maturação precoce do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar, da Universidade Federal do Paraná e Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroalcooleiro (PMGCA/UFPR/RIDESA) foram utilizados no estudo da interação genótipo x ambiente (G x A). Os ensaios foram conduzidos em 11 Unidades Produtoras no Estado do Paraná com as seguintes coordenadas e altitudes: A1- São Tomé (23°32'S, 52°35'W, 420 m); A2- Rondon (23°23'S, 52°43'W, 530 m); A3- Jandaia do Sul (23°37'S, 51°37'W, 760 m); A4- Nova Londrina (22°55'S, 53°15'W, 480 m); A5- Ibaiti (23°50'S, 50°11'W, 850 m); A6- Bandeirantes (23°06'S, 50°22'W, 492 m); A7-Jussara (23°50'S, 52°27'W, 408 m); A8- Mandaguaçu (23°21'S, 52°05'W, 580 m); A9- Cidade Gaúcha (23°22'S, 52°56'W, 550 m); A10- Paranaíba (23°05'S, 52°27'W, 503 m); A11- São Pedro do Ivaí (23°52'S, 51°41'W, 400 m). Esses ensaios corresponderam à fase final de experimentação, no período de 2003 a 2005, avaliando-se as safras de cana planta e cana soca.

Foram avaliados 11 clones de ciclo de maturação precoce, RB855046, RB925345, RB945961, RB946903, RB955970, RB956911, RB965902, RB965911, RB966925, RB966927, RB966928 e três variedades padrão, RB855156, RB855453 e RB925211. Os genótipos de cana-de-açúcar classificados de ciclo de maturação precoce apresentam ocorrência natural de maturação a partir dos meses de abril/maio na região Sudeste do Brasil (DEUBER, 1988).

Os experimentos foram conduzidos em delineamento experimental em blocos completos casualizados com três repetições, em parcelas de quatro linhas de 8,0 m de comprimento e 1,40 m de espaçamento. O plantio foi efetuado em março de 2003, com 18 gemas por metro linear. A colheita da cana planta foi feita em abril de 2004 e da cana soca em abril de 2005. Foram avaliados: número de colmos por parcela – contagem do número de colmos na parcela, dividindo-se pelo comprimento da parcela, obtém-se o número de colmos por metro (NCM); massa de 15 colmos (Kg) – pesagem de 15 colmos desprezando-se os ponteiros, com três repetições por parcela, dividindo-se por 15 obtém-se a massa de um colmo (Kg) (M1C); teor de pol de 10 colmos por parcela (POL); tonelada de cana por hectare (TCH) ($t.ha^{-1}$), calculado pela fórmula: $TCH = NCM \times M1C \times 7,14$; tonelada de pol por hectare ($t.ha^{-1}$) (TPH), calculada pela fórmula: $TPH = TCH \times POL/100$ (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância e teste de homogeneidade de variâncias residuais dos experimentos, considerada homogênea pela razão inferior a sete entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo. Efetuou-se a análise de variância conjunta no delineamento em fatorial simples para 11 ambientes, separadamente para cana planta e cana soca, de acordo com o modelo abaixo.

$$Y_{ijk} = m + B/A_{jk} + G_i + A_j + GA_{ij} + E_{ijk}, \text{ onde:}$$

Y_{ijk} : representa o i -ésimo genótipo no j -ésimo ambiente e o k -ésimo bloco; m : média geral do ensaio; B/A_{jk} : bloco dentro de ambiente no j -ésimo ambiente e no k -ésimo bloco; 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; E_{ijk} : efeito do erro experimental.

Identificando-se a presença de interação genótipo x ambiente ($G \times A$) com diferenças altamente significativas, realizaram-se as análises de adaptabilidade e estabilidade fenotípica pelo método proposto por Eberhart e Russell (1966), pelo método de Lin e Binns (1988), modificada por Carneiro (1998) e método centróide com pontos adicionais (NASCIMENTO *et al.*, 2009).

O método proposto por Eberhart e Russell (1966) é baseado na análise de regressão linear em que é medida a resposta de cada genótipo para as variações ambientais.

$$Y_{ij} = \beta_{0i} + \beta_{1i}I_j + \delta_{ij} + \varepsilon_{ij}, \text{ onde:}$$

Y_{ij} : média do genótipo i no ambiente j ; β_{0i} : média geral do genótipo i e β_{1i} : coeficiente de regressão linear, que mede a resposta do i -ésimo genótipo à variação do ambiente, são os parâmetros de adaptabilidade; δ_{ij} : desvios de regressão, que estima a estabilidade; I_j : índice ambiental codificado; ε_{ij} : erro experimental médio.

Outros parâmetros usados para estimar a estabilidade são o coeficiente de determinação (R^2) e o quadrado médio residual para a regressão (σ_{di}^2) com o i -ésimo genótipo estimado por S_{di}^2 . O genótipo será considerado estável se não for rejeitada a hipótese $H_0: \sigma_{di}^2 = 0$ (FERREIRA *et al.*, 2006).

O método proposto por Lin e Binns (1988) de análise estatística não paramétrica usa o quadrado médio de distância entre a média do cultivar e a resposta média máxima para todos os

ambientes, como uma medida para estimar a estabilidade em plantas, caracterizando a estimativa P_i :

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

P_i : estimativa da estabilidade e adaptabilidade do genótipo i ; X_{ij} : produtividade do i -ésimo cultivar no j -ésimo local; M_j : reposta máxima observada entre todos os cultivares no local j ; n : número de locais. Pela análise, quanto menor o valor de P_i , mais estável será o cultivar (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

Pelo método modificado por Carneiro (1998), a fórmula é alterada substituindo-se “ n ” por “ f ” e “ d ”, número de ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente.

$$P_{if} = \sum_{j=1}^f (X_{ij} - M_j)^2 / 2f$$

$$P_{id} = \sum_{j=1}^d (X_{ij} - M_j)^2 / 2d$$

Quanto menor o valor de P_{if} e P_{id} nos ambientes favoráveis e desfavoráveis, respectivamente, maior será a adaptabilidade do genótipo para estas condições específicas (CRUZ; CARNEIRO, 2003).

O método centróide com pontos adicionais (NASCIMENTO *et al.*, 2009) é baseado em análise multivariada e componentes principais. Consiste na comparação de valores de distância cartesiana entre os genótipos avaliados e os sete ideótipos, sendo quatro originalmente propostos (ROCHA *et al.*, 2005) mais os três pontos adicionais. Os centróides são referências preestabelecidas, criadas com base nos dados experimentais, dados por: C_1 , ideótipo I (máxima adaptabilidade geral), cujos valores em cada ambiente são representados pelos máximos obtidos a partir do conjunto de genótipos estudado; C_2 , ideótipo II (máxima adaptabilidade específica a ambientes favoráveis), cujos valores nos ambientes favoráveis são representados pelos máximos e nos desfavoráveis, pelos mínimos obtidos; C_3 , ideótipo III (máxima adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis), cujos valores nos ambientes favoráveis são representados pelos mínimos e nos desfavoráveis, pelos máximos obtidos; C_4 , ideótipo IV (mínima adaptabilidade), cujos valores em cada ambiente, são representados pelos mínimos obtidos; C_5 , ideótipo V (média adaptabilidade geral), cujos valores, em cada ambiente, são representados pelas médias obtidas pelo conjunto de genótipos estudado; C_6 , ideótipo VI (média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis), cujos valores nos ambientes favoráveis são representados pelos valores

máximos e, nos desfavoráveis, pelas médias obtidas; C₇, ideótipo VII (média adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis), cujos valores, nos ambientes favoráveis, são representados pelas médias e, nos desfavoráveis, pelos valores máximos obtidos.

Para utilização do método centróide, os ambientes devem ser classificados em favoráveis e desfavoráveis utilizando o índice ambiental (I_j) proposto por Finlay & Wilkinson (1963):

$$I_j = \frac{1}{g} \sum_i Y_{ij} - \frac{1}{ag} Y_{..}$$

em que Y_{ij}: é a média do genótipo i no ambiente j; Y_{..}: é o total das observações; a: é o número de ambientes; e g: é o número de genótipos.

Após a classificação dos ambientes e criação dos pontos referenciais representativos dos ideótipos (centróides), utiliza-se a análise de componentes principais, obtendo-se escores utilizados na representação gráfica (Figura 5.1). A posição dos genótipos em relação aos centróides no gráfico de dispersão e os valores de distância cartesiana entre os pontos (genótipos) e cada um dos centróides possibilitam a sua classificação quanto à adaptabilidade e à estabilidade.

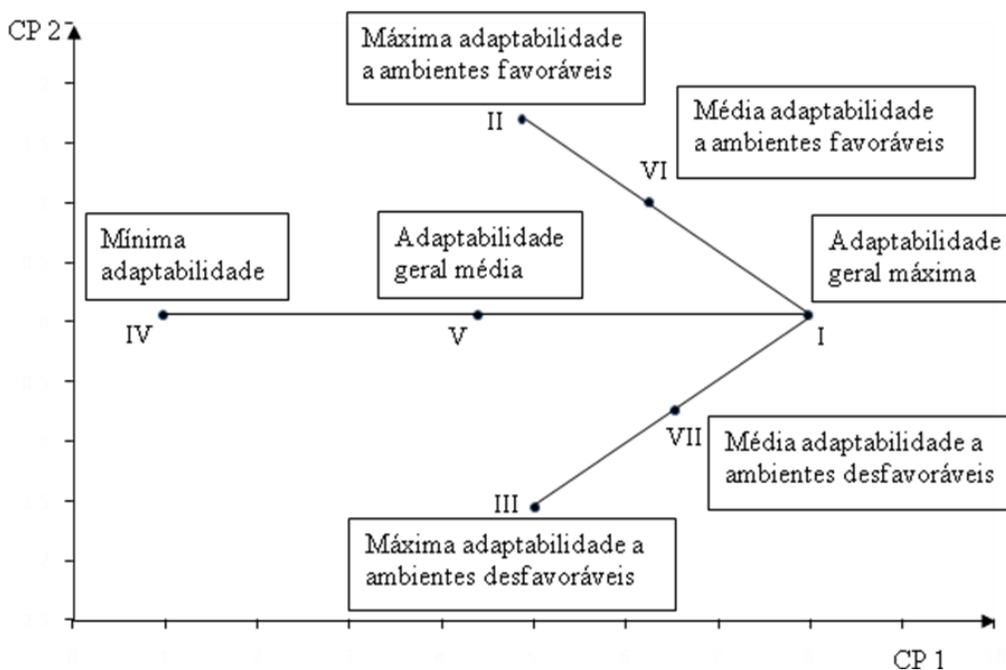


FIGURA 5.1. EXEMPLO DE DISPERSÃO GRÁFICA DE DOIS COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1 E CP2), OBTIDA A PARTIR DE SETE CENTRÓIDES. OS SETE PONTOS NUMERADOS EM ALGARISMOS ROMANOS REPRESENTAM OS IDEÓTIPOS.

Os pontos dos ideótipos têm a formação de um gradiente em forma de seta para a direita (Figura 5.1). O primeiro componente principal (CP1) está relacionado com a média dos genótipos. Os genótipos mais próximos à ponta da seta (direita) são mais produtivos e os mais próximos à base da seta (esquerda), menos produtivos (NASCIMENTO *et al.*, 2009). Uma medida de probabilidade espacial é calculada com uso do inverso da distância entre um tratamento e os ideótipos:

$$P_{d(i,k)} = \frac{\left(\frac{1}{d_{ik}}\right)}{\sum_i \frac{1}{d_{ik}}}$$

em que $P_{d(i,k)}$: é a probabilidade do i -ésimo genótipo apresentar padrão de estabilidade semelhante ao k -ésimo centróide; e d_{ik} : é a distância do i -ésimo genótipo ao k -ésimo centróide no plano gerado a partir da análise de componentes principais.

O conceito de adaptabilidade e estabilidade no método centróide com pontos adicionais difere das demais metodologias, pois os genótipos de máxima e média adaptação específica não são aqueles que apresentam bom desempenho nos grupos de ambientes favoráveis ou desfavoráveis, mas sim os genótipos que apresentam valores máximos ou médios para determinado grupo de ambientes (favoráveis e desfavoráveis) e mínimo para o outro conjunto (NASCIMENTO *et al.*, 2009).

A associação entre os métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade foi avaliada pelo coeficiente de correlação classificatória de Spearman (ρ ou r_s), que é uma medida de associação não-paramétrica entre duas variáveis (STEEL; TORRIE, 1980). Varia de $-1 \leq r_s \leq 1$, de correlação perfeita negativa ($r_s = -1$) até perfeita positiva ($r_s = 1$). Para $r_s = 0$ a correlação é nula, não existindo correlação linear. A intensidade da correlação para os valores de ρ ou r_s varia de muito forte: 0,9 a 1,0; forte: 0,75 a 0,9; moderada: 0,5 a 0,75; fraca: 0,25 a 0,5; muito fraca: 0,0 a 0,25 (FINNEY, 1980).

O método AMMI de análise de adaptabilidade e estabilidade, descrito no capítulo I deste trabalho, foi utilizado para comparação com os demais métodos e obtenção das estimativas do coeficiente de correlação classificatória de Spearman, pelos componentes principais IPCA1 e IPCA2. O método de Toler e Burrows, descrito no capítulo II, também é analisado para identificação das associações com os demais métodos, utilizando-se os dados de β_{1i} e β_{2i} , que

refletem a resposta fenotípica do genótipo i nos ambientes desfavorável e favorável, respectivamente.

Foram feitas análises de variância, análise conjunta, análises de adaptabilidade e estabilidade e associação de métodos utilizando-se o programa computacional GENES versão 2009.7.0 (CRUZ, 2006).

5.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As análises de variância conjunta de genótipos de cana-de-açúcar para tonelada de pol por hectare apresentaram diferenças significativas entre genótipos, entre ambientes e de interação genótipo x ambiente (G x A) (Tabela 5.1). Esta interação demonstra que os genótipos apresentaram mudanças em seus desempenhos e no ranqueamento nos diferentes ambientes testados, justificando a realização da análise de adaptabilidade e estabilidade. Observa-se também, uma melhor interpretação dos resultados analisando-se separadamente os dados de cana planta e cana soca, pois também apresentaria interação G x A numa análise única das duas safras.

TABELA 5.1. RESUMO DA ANÁLISE CONJUNTA DE VARIÂNCIA PARA TONELADA DE POL POR HECTARE DE GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR DE CICLO DE MATURAÇÃO PRECOCE, EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

Fonte de Variação	GL	Quadrados Médios	
		Cana planta (2003/2004)	Cana soca (2004/2005)
Blocos/Ambientes	22	6,16	9,50
Genótipo (G)	13	39,34 **	49,71 **
Ambiente (A)	10	380,13 **	337,70 **
Interação G x A	130	16,95 **	8,58 **
Resíduo	286	5,68	4,22
Média geral (t.ha ⁻¹)		16,58	14,06
CV (%)		14,38	14,61

** diferenças significativas a 1% de probabilidade pelo teste F.

As médias gerais de TPH em cana planta e cana soca são consideradas elevadas em relação à produtividade média estadual (CONAB, 2009). Os coeficientes de variância geral apresentaram valores médios em cana planta e cana soca, indicando boa precisão experimental (Tabela 5.1). As médias de TPH dos 14 genótipos em cada ambiente são apresentadas nas Tabelas 5.2 e 5.3 para cana planta e soca, respectivamente. Os coeficientes de variância em cada ambiente foram médios, de 10,8% a 18,7%, em cana planta e de baixo a alto, de 8,6% a 25,5%, em cana soca (PIMENTEL-GOMES, 2000).

TABELA 5.2. MÉDIAS DE TONELADA DE POL POR HECTARE E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA (CV %) DE 14 CLONES PRECOCES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA PLANTA (2003/2004), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

Tonelada de pol por hectare (t.ha ⁻¹) em cana planta												
Genótipo	A1**	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Média
RB855046	13,3	13,5	15,2	9,8	19,0	21,3	14,4	15,1	11,2	19,8	20,2	15,69
RB855156*	9,5	16,5	18,7	12,6	13,6	17,4	18,7	13,7	11,7	20,5	21,0	15,81
RB855453*	11,4	15,6	15,7	21,5	14,5	19,4	15,9	14,2	12,9	18,2	18,8	16,18
RB925211*	14,8	16,1	15,5	12,3	18,0	22,0	16,3	15,5	13,7	21,9	25,4	17,40
RB925345	13,7	18,2	11,2	20,4	16,5	15,9	16,0	15,7	13,6	22,2	21,0	16,78
RB945961	12,9	14,0	14,5	19,8	13,7	24,2	15,3	11,8	11,5	15,6	21,3	15,86
RB946903	15,1	18,5	16,1	25,1	18,3	20,2	21,6	15,4	13,8	19,2	22,7	18,74
RB955970	9,7	13,0	12,0	20,1	13,6	16,8	16,7	17,3	13,5	20,1	18,7	15,60
RB956911	12,0	18,2	14,8	21,4	12,6	16,5	18,1	13,6	13,3	20,8	24,6	16,90
RB965902	16,0	15,9	13,5	15,5	13,9	18,8	21,0	16,1	12,7	20,3	23,6	17,04
RB965911	12,0	20,9	13,4	15,4	16,8	20,7	22,2	14,4	13,5	19,4	28,6	17,93
RB966925	11,1	12,3	13,3	11,6	16,1	20,8	16,7	12,3	14,0	20,5	17,4	15,11
RB966927	15,5	14,1	10,8	12,2	14,8	18,1	16,4	12,5	11,2	19,3	23,7	15,33
RB966928	15,3	17,7	16,7	18,7	12,8	22,7	19,3	14,3	13,7	20,6	22,8	17,69
Média	13,0	16,0	14,4	16,9	15,3	19,6	17,8	14,4	12,9	19,9	22,1	16,58
CV (%)	18,7	15,4	14,8	10,8	15,4	13,2	11,2	17,2	11,2	12,8	15,4	

* variedade padrão; ** A1: São Tomé; A2: Rondon; A3: Jandaia do Sul; A4: Nova Londrina; A5: Ibaiti; A6: Bandeirantes; A7: Jussara; A8: Mandaguaçu; A9: Cidade Gaúcha; A10: Paranavaí; A11: São Pedro do Ivaí.

Os ambientes com as maiores médias de TPH em cana planta foram São Pedro do Ivaí, Paranavaí e Bandeirantes. Os genótipos com as maiores médias gerais foram RB946903, RB965911 e RB966928 (Tabela 5.2). Houve grande amplitude de variação na produção de TPH entre genótipos e entre ambientes, desde 9,5 t.ha⁻¹ para RB855156 em São Tomé, até 28,6 t.ha⁻¹ para RB965911 em São Pedro do Ivaí.

TABELA 5.3. MÉDIAS DE TONELADA DE POL POR HECTARE E COEFICIENTE DE VARIÂNCIA (CV %) DE 14 CLONES PRECOSES DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA SOCA (2004/2005), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

Tonelada de pol por hectare (t.ha ⁻¹) em cana soca												
Genótipo	A1**	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	Média
RB855046	10,5	9,9	13,4	11,5	7,0	13,4	10,0	14,1	12,6	13,8	18,3	12,22
RB855156*	11,5	11,2	15,8	14,7	9,8	11,0	18,0	15,8	17,5	13,2	19,3	14,35
RB855453*	10,1	7,7	15,8	16,7	9,0	13,0	10,1	11,8	14,6	12,3	18,5	12,69
RB925211*	14,7	13,1	13,4	17,7	10,3	13,7	12,1	14,9	18,5	13,1	20,3	14,71
RB925345	15,1	11,4	15,0	18,5	9,2	10,6	12,8	15,2	17,5	18,0	19,4	14,79
RB945961	10,8	8,8	14,8	16,1	9,4	15,3	14,5	15,2	14,3	14,7	24,7	14,42
RB946903	15,4	11,3	16,1	19,9	11,3	13,6	14,4	15,4	17,3	17,2	21,3	15,76
RB955970	12,2	9,8	15,1	16,5	10,1	17,1	9,1	14,2	13,6	14,4	19,5	13,79
RB956911	13,2	11,0	14,2	16,0	8,5	13,7	14,1	12,5	15,0	15,0	20,3	13,96
RB965902	15,0	12,5	13,8	16,5	8,3	14,1	12,6	14,5	15,0	15,9	16,4	14,06
RB965911	14,4	11,5	14,2	23,7	11,0	12,0	13,9	13,9	15,9	15,5	21,9	15,27
RB966925	11,9	11,2	14,2	9,8	9,3	13,9	12,6	12,8	15,3	13,8	20,2	13,18
RB966927	6,3	7,9	11,2	15,4	7,6	13,0	11,9	13,5	13,8	13,2	16,4	11,84
RB966928	14,9	12,7	16,9	18,6	9,6	16,2	13,8	15,0	17,6	16,8	21,6	15,79
Média	12,6	10,7	14,6	16,5	9,3	13,6	12,9	14,2	15,6	14,8	19,9	14,06
CV (%)	11,1	10,9	11,1	12,6	11,6	15,8	10,2	8,6	13,4	25,5	14,7	

* variedade padrão; ** A1: São Tomé; A2: Rondon; A3: Jandaia do Sul; A4: Nova Londrina; A5: Ibaí; A6: Bandeirantes; A7: Jussara; A8: Mandaguaçu; A9: Cidade Gaúcha; A10: Paranavaí; A11: São Pedro do Ivaí.

Em cana soca, os ambientes com as maiores médias de TPH foram São Pedro do Ivaí, Nova Londrina e Cidade Gaúcha. Os genótipos com as maiores médias gerais foram RB966928, RB946903 e RB965911 (Tabela 5.3). Foram os mesmos genótipos com maiores valores de TPH no ciclo anterior, porém em diferente ordem de classificação. Houve grande amplitude de variação na produção de TPH entre genótipos e entre ambientes, desde 6,3 t.ha⁻¹ para RB966927 em São Tomé, até 24,7 t.ha⁻¹ para RB945961 em São Pedro do Ivaí.

As análises de adaptabilidade e estabilidade foram realizadas pelos métodos de regressão linear de Eberhart e Russell (1966), método não-paramétrico de Lin e Binns (1988) modificado

por Carneiro (1998) e método centróide de análise multivariada por componentes principais, modificado por Nascimento *et al.* (2009) com pontos adicionais.

Os resultados das análises pelo método proposto por Eberhart e Russell (1966) de genótipos de cana-de-açúcar em cana planta e cana soca, são apresentados na Tabela 5.4.

TABELA 5.4. ESTIMATIVAS DOS PARÂMETROS DO MÉTODO DE EBERHART E RUSSELL (1966) PARA MÉDIAS DE TONELADA DE POL POR HECTARE (TPH) DE 14 GENÓTIPOS PRECOCES DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

Genótipo	Cana planta				Cana soca			
	TPH	β_{li}	σ^2_{di}	R^2 (%)	TPH	β_{li}	σ^2_{di}	R^2 (%)
RB855046	15,69	0,85	8,80**	44,55	12,22	0,91	1,95*	76,57
RB855156	15,81	0,99	5,81**	61,72	14,35	0,84	4,72**	55,62
RB855453	16,18	0,76*	3,84**	58,40	12,69	1,10	1,72*	84,04
RB925211	17,40	1,13	5,05**	70,34	14,71	0,92	2,00*	76,33
RB925345	16,78	0,84*	5,44**	55,01	14,79	1,05	2,89*	75,21
RB945961	15,86	1,08	6,83**	62,22	14,42	1,38**	2,45*	85,95
RB946903	18,74	0,86	5,74**	55,11	15,76	1,06	0,68	90,92
RB955970	15,60	0,83*	5,88**	52,94	13,79	0,97	3,15*	70,71
RB956911	16,90	1,16*	4,94**	71,99	13,96	1,00	0,41	92,39
RB965902	17,04	1,01	2,73*	76,90	14,06	0,68**	1,50*	69,38
RB965911	17,93	1,46**	5,70**	78,07	15,27	1,20*	4,86**	71,18
RB966925	15,11	0,86	5,41**	56,24	13,18	0,79*	3,82**	57,53
RB966927	15,33	1,11	4,14**	73,46	11,84	0,99	2,82*	73,71
RB966928	17,69	1,05	2,17*	81,60	15,79	1,09	0,18	95,44

* e ** diferenças significativas a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente; β_{li} – coeficiente de regressão; σ^2_{di} – desvios da regressão; R^2 – coeficiente de determinação.

Os resultados dos coeficientes de determinação (R^2) indicam que não houve um ajuste satisfatório dos dados ao modelo de regressão linear proposto por Eberhart e Russell (1966) (Tabela 5.4). Apenas o genótipo RB966928 apresentou bom ajuste do modelo, com R^2 superior a 80% em cana planta (CRUZ E REGAZZI, 2001) e RB855453, RB945961, RB946903,

RB956911 e RB966928 em cana soca, indicando alta confiabilidade no tipo de resposta ambiental para estes genótipos.

Os genótipos considerados de adaptabilidade geral em cana planta foram RB925211, RB946903, RB965902, e RB966928 com produtividade TPH acima da média e coeficientes de regressão estatisticamente igual a 1,0. Porém, apresentaram desvios da regressão significativos ($\sigma^2 \neq 0$), ou seja, de baixa estabilidade ou previsibilidade pelo modelo proposto por Eberhart e Russell (1966).

Em cana soca, dez genótipos foram considerados de adaptabilidade geral, sendo que apenas RB946903, RB956911 e RB966928 apresentaram alta estabilidade (desvio de regressão não significativos, $\sigma^2 = 0$) e com R^2 acima de 90%, com ajustamento ideal à reta de regressão, o que indica alta confiabilidade na classificação e alta previsibilidade de comportamento. Esses clones podem ser considerados genótipos ideais.

Entre os genótipos classificados como de adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis estão RB925345, RB955970 e o padrão RB855453 em cana planta e RB965902 e RB966925 em cana soca, porém de baixa estabilidade ($\sigma^2 \neq 0$) e R^2 abaixo de 70%.

Os genótipos classificados como de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis foram RB956911 em cana planta, RB945961 em cana soca e RB965911 em cana planta e soca. Estes clones apresentaram R^2 acima de 70%, com bom ajustamento dos dados ao modelo proposto por Eberhart e Russell (1966), porém com baixa estabilidade ($\sigma^2 \neq 0$).

A análise de adaptabilidade e estabilidade pelo método de Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) é apresentada na Tabela 5.5.

TABELA 5.5. PARÂMETROS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE PARA AS MÉDIAS DE TONELADA DE POL POR HECTARE (TPH) PARA AMBIENTES FAVORÁVEIS E DESFAVORÁVEIS (P_i), PELO MÉTODO PROPOSTO POR LIN E BINNS (1988) E MODIFICADO POR CARNEIRO (1998), PARA GENÓTIPOS PRECOCES DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

Genótipo	Cana planta								Cana soca							
	TPH	P_i	Clas.	P_{if}	Clas.	P_{id}	Clas.	Ganho (%)	TPH	P_i	Clas.	P_{if}	Clas.	P_{id}	Clas.	Ganho (%)
RB946903	18,74	3,55	1	6,08	1	1,43	1	7,13	15,76	2,54	1	2,29	1	2,85	2	6,68
RB966928	17,69	6,78	2	8,66	2	5,22	4	1,63	15,79	2,69	2	3,13	3	2,16	1	6,81
RB965911	17,93	7,81	3	11,41	4	4,81	3	2,97	15,27	3,53	3	2,64	2	4,6	4	3,64
RB956911	16,90	9,14	4	10,77	3	7,77	9	-2,94	13,96	7,32	7	9,78	7	4,36	3	-5,39
RB965902	17,04	10,50	5	15,07	5	6,68	6	-2,14	14,06	8,82	9	12,28	10	4,67	5	-4,60
RB925211*	17,40	11,53	6	21,49	10	3,23	2	0,00	14,71	6,32	5	7,59	6	4,80	6	0,00
RB925345	16,78	11,98	7	18,73	7	6,36	5	-3,70	14,79	6,2	4	4,98	4	7,66	10	0,50
RB855453*	16,18	12,67	8	18,92	8	7,45	8	-7,55	12,69	13,4	11	12,67	11	14,27	13	-15,96
RB945961	15,86	14,23	9	17,29	6	11,69	11	-9,69	14,42	6,77	6	7,55	5	5,84	8	-2,04
RB855156*	15,81	17,44	10	27,58	12	9,00	10	-10,04	14,35	8,71	8	11,18	9	5,76	7	-2,49
RB955970	15,60	17,67	11	21,32	9	14,63	14	-11,57	13,79	10,05	10	9,99	8	10,11	11	-6,67
RB966927	15,33	19,42	12	27,00	11	13,11	12	-13,54	11,84	18,07	14	18,25	12	17,86	14	-24,29
RB855046	15,69	21,29	13	38,05	14	7,34	7	-10,88	12,22	17,62	13	21,33	14	13,16	12	-20,39
RB966925	15,11	23,21	14	35,06	13	13,34	13	-15,20	13,18	14,34	12	21,30	13	6,00	9	-11,65

* Variedade padrão; Clas. – classificação; P_i – estimativa da estabilidade e adaptabilidade; P_{if} – estimativa em ambientes favoráveis; P_{id} – estimativa em ambientes desfavoráveis.

Podem-se identificar genótipos com alta produtividade, de adaptabilidade geral ou específica e com estabilidade fenotípica (Tabela 5.5). O genótipo RB946903 apresentou o menor valor de P_i geral, seguido dos genótipos RB966928 e RB965911, tanto em cana planta como em cana soca e com as maiores médias de TPH, sendo indicados como os de maior estabilidade. De acordo com a metodologia alternativa proposta por Carneiro (1998), os mesmos genótipos também foram classificados por alta adaptabilidade fenotípica, tanto em ambientes favoráveis, com menores valores de P_{if} , como em ambientes desfavoráveis, com menores P_{id} . Os aumentos de TPH destes três genótipos foram, respectivamente, 7,13 %, 1,63 % e 2,97 % em relação ao melhor padrão em cana planta, a variedade RB925211. Em cana soca os aumentos de TPH foram 6,68 %, 6,81 % e 3,64 %, para os mesmos genótipos, respectivamente. Portanto, estes genótipos são promissores tanto para condições de cultivo de alto nível, quanto de baixo nível tecnológico.

Observou-se o genótipo RB956911 também entre os de maior estabilidade (4º lugar) e alta adaptabilidade específica em ambientes favoráveis (3º lugar), em cana planta, porém, ficando em nono lugar na classificação para ambientes desfavoráveis. Em cana soca apresentou mudança no comportamento, com média estabilidade geral (7º lugar), média adaptabilidade a ambientes favoráveis (7º lugar) e alta adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, ficando em 3º lugar.

A variedade padrão RB855156 apresentou baixa classificação para estabilidade e para adaptabilidades específicas em cana planta e média em cana soca, variando de sétimo a nono lugar. A melhor variedade padrão foi a RB925211, foi classificada em sexto lugar entre os mais estáveis em cana planta, com produtividade TPH acima da média e alta adaptabilidade específica a ambientes desfavoráveis, classificado em segundo lugar. Porém, apresentou baixa adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. Em cana soca também ficou com TPH acima da média, em quinto lugar em estabilidade geral e sexto lugar em adaptabilidade específica para ambientes favoráveis e desfavoráveis, pelo método proposto por Lin e Binns (1988) e modificado por Carneiro (1998).

Os resultados da análise de índice ambiental pelo método centróide com pontos adicionais (NASCIMENTO *et al.*, 2009) são apresentados na Tabela 5.6. A classificação dos genótipos em um dos sete grupos e a probabilidade associada a esta classificação são apresentadas nas Tabelas 5.7 e 5.8, em cana planta e cana soca, respectivamente.

TABELA 5.6. CLASSIFICAÇÃO DOS AMBIENTES UTILIZANDO O ÍNDICE AMBIENTAL (Ij) E VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS DA CARACTERÍSTICA TONELADA DE POL POR HECTARE (TPH) CALCULADOS PELO MÉTODO CENTRÓIDE COM PONTOS ADICIONAIS, DE 14 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA PLANTA E CANA SOCA, EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

	Ambientes	TPH em cana planta (2003/2004)				TPH em cana soca (2004/2005)			
		Média	Ij	Máx.	Mín.	Média	Ij	Máx.	Mín.
1	São Tomé	13,03	-3,54	16,01	9,53	12,57	-1,49	15,42	6,27
2	Rondon	16,03	-0,54	20,93	12,31	10,72	-3,34	13,14	7,72
3	Jandaia do Sul	14,38	-2,20	18,66	10,75	14,56	0,51	16,86	11,24
4	Nova Londrina	16,89	0,31	25,08	9,75	16,54	2,48	23,65	9,82
5	Ibaiti	15,30	-1,28	18,96	12,63	9,32	-4,73	11,27	6,99
6	Bandeirantes	19,63	3,06	24,25	15,90	13,61	-0,45	17,11	10,58
7	Jussara	17,76	1,19	22,21	14,42	12,85	-1,21	17,98	9,14
8	Mandaguaçu	14,42	-2,15	17,31	11,76	14,21	0,15	15,82	11,81
9	Cidade Gaúcha	12,86	-3,71	13,96	11,16	15,62	1,56	18,51	12,63
10	Paranavaí	19,89	3,31	22,22	15,64	14,78	0,72	18,00	12,28
11	São Pedro do Ivaí	22,14	5,56	28,60	17,43	19,85	5,79	24,66	16,38

Os ambientes foram classificados em favoráveis e desfavoráveis pelo índice ambiental positivo ou negativo, respectivamente (Tabela 5.6). O local São Pedro do Ivaí apresentou os maiores valores positivos de índice ambiental e os maiores valores dos genótipos para TPH, em cana planta e soca, classificado em ambiente favorável. Entre os locais classificados como desfavoráveis, com índice ambiental negativo, em Rondon em cana planta e Bandeirantes em cana soca foram obtidas as melhores médias dos genótipos para TPH. Houve locais que tiveram mudança na classificação de ambiente desfavorável para favorável, de cana planta para cana soca, como em Jandaia do Sul, Mandaguaçu e Cidade Gaúcha; e ambientes com mudança de favorável para desfavorável, como Jussara e Bandeirantes.

TABELA 5.7. CLASSIFICAÇÃO DE 14 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA PLANTA, EM UM DOS SETE GRUPOS CARACTERIZADOS PELOS CENTRÓIDES E A PROBABILIDADE ASSOCIADA À SUA CLASSIFICAÇÃO PARA A CARACTERÍSTICA TONELADA DE POL POR HECTARE (TPH), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

	Genótipo	Média	Clas.	Probabilidades de classificação em cana planta						
				I	II	III	IV	V	VI	VII
1	RB855046	15,69	V	0,09	0,09	0,17	0,17	0,21	0,10	0,16
2	RB855156*	15,81	V	0,10	0,10	0,14	0,15	0,24	0,11	0,16
3	RB855453*	16,18	V	0,11	0,11	0,11	0,12	0,27	0,13	0,16
4	RB925211*	17,40	V	0,11	0,10	0,13	0,11	0,24	0,12	0,20
5	RB925345	16,78	V	0,11	0,11	0,12	0,11	0,25	0,13	0,17
6	RB945961	15,86	V	0,11	0,14	0,11	0,13	0,23	0,14	0,14
7	RB946903	18,74	I	0,19	0,12	0,09	0,08	0,17	0,19	0,17
8	RB955970	15,60	V	0,10	0,13	0,11	0,15	0,24	0,13	0,14
9	RB956911	16,90	V	0,12	0,13	0,10	0,10	0,24	0,16	0,15
10	RB965902	17,04	V	0,11	0,10	0,11	0,11	0,29	0,12	0,16
11	RB965911	17,93	V	0,14	0,12	0,11	0,10	0,20	0,16	0,17
12	RB966925	15,11	V	0,09	0,10	0,13	0,21	0,22	0,10	0,14
13	RB966927	15,33	V	0,09	0,11	0,13	0,18	0,25	0,11	0,14
14	RB966928	17,69	V	0,13	0,11	0,09	0,09	0,26	0,15	0,17

* Variedade padrão; Clas. – classificação.

A análise pelo método centróide com pontos adicionais (NASCIMENTO *et al.*, 2009) indicou treze genótipos com média adaptabilidade geral em cana planta (Tabela 5.7). Apenas o genótipo RB946903 ficou mais próximo do ideótipo tipo I, com 0,19 de probabilidade de pertencer a esta classe, de máxima adaptabilidade geral, correspondendo aos valores máximos para todos ambientes estudados. Porém, o mesmo também apresentou 0,19 de probabilidade de pertencer à classe VI, de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. Os demais genótipos ficaram mais próximos da classe V, de média adaptabilidade geral. Entre os genótipos com maior probabilidade de pertencer a esta classe, estão RB965902 (0,29), RB855453 (0,27), RB966928 (0,26), RB966927 (0,25) e RB925345 (0,25).

TABELA 5.8. CLASSIFICAÇÃO DE 14 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA SOCA, EM UM DOS SETE GRUPOS CARACTERIZADOS PELOS CENTRÓIDES E A PROBABILIDADE ASSOCIADA À SUA CLASSIFICAÇÃO PARA A CARACTERÍSTICA TONELADA DE POL POR HECTARE (TPH), EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

	Genótipo	Média	Clas.	Probabilidades de classificação em cana soca						
				I	II	III	IV	V	VI	VII
1	RB855046	12,22	IV	0,08	0,10	0,14	0,24	0,22	0,10	0,13
2	RB855156*	14,35	V	0,12	0,10	0,13	0,11	0,23	0,12	0,19
3	RB855453*	12,69	V	0,10	0,12	0,11	0,16	0,26	0,12	0,13
4	RB925211*	14,71	V	0,12	0,09	0,11	0,09	0,27	0,14	0,18
5	RB925345	14,79	V	0,13	0,11	0,10	0,09	0,25	0,17	0,15
6	RB945961	14,42	V	0,12	0,12	0,11	0,10	0,24	0,15	0,16
7	RB946903	15,76	V	0,17	0,10	0,08	0,07	0,20	0,20	0,18
8	RB955970	13,79	V	0,10	0,11	0,12	0,12	0,27	0,13	0,15
9	RB956911	13,96	V	0,08	0,07	0,10	0,08	0,41	0,10	0,16
10	RB965902	14,06	V	0,10	0,09	0,13	0,10	0,29	0,11	0,18
11	RB965911	15,27	VI	0,17	0,12	0,08	0,08	0,18	0,23	0,15
12	RB966925	13,18	V	0,09	0,09	0,17	0,16	0,23	0,10	0,16
13	RB966927	11,84	IV	0,09	0,12	0,12	0,25	0,19	0,11	0,12
14	RB966928	15,79	V	0,17	0,09	0,09	0,07	0,21	0,18	0,20

* Variedade padrão; Clas. – classificação.

Em cana soca 11 genótipos apresentaram média adaptabilidade geral em relação ao ideótipo V (Tabela 5.8). Dentre estes, os cinco genótipos com maior probabilidade de pertencer a esta classe foram RB956911 (0,41), RB965902 (0,29), RB925211 (0,27), RB955970 (0,27) e RB855453 (0,26). O genótipo RB965911 apresentou adaptabilidade específica a ambientes favoráveis, com 0,23 de probabilidade de pertencer à classe VI. O genótipo RB946903 apresentou, em cana soca, probabilidade 0,20 de pertencer tanto à classe V, de média adaptabilidade geral, como à VI, de adaptabilidade específica a ambientes favoráveis. Dois genótipos, RB855046 e RB966927, apresentaram-se pouco adaptados aos ambientes testados,

com 0,24 e 0,25 de probabilidade de pertencer à classe IV, respectivamente, sendo passíveis de descarte (NASCIMENTO *et al.*, 2009).

TABELA 5.9. ESTIMATIVAS DOS AUTOVALORES E FRAÇÃO CUMULATIVA EXPLICADA PELOS COMPONENTES PRINCIPAIS PARA A CARACTERÍSTICA TONELADA DE POL POR HECTARE (TPH) DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

TPH em cana planta			TPH em cana soca		
Raiz	Raiz (%)	% Acumulada	Raiz	Raiz (%)	% Acumulada
4,03	36,62	36,62	5,14	46,70	46,70
2,96	26,94	63,56	3,10	28,14	74,84
1,05	9,56	73,12	0,79	7,16	82,00
0,77	7,01	80,13	0,53	4,86	86,86
0,60	5,50	85,62	0,42	3,83	90,69
0,51	4,61	90,23	0,32	2,87	93,56
0,35	3,15	93,38	0,26	2,33	95,89
0,34	3,07	96,45	0,19	1,77	97,66
0,22	1,97	98,42	0,16	1,46	99,12
0,14	1,29	99,71	0,08	0,70	99,82
0,03	0,29	100,00	0,02	0,18	100,00

A obtenção dos autovalores pela metodologia dos componentes principais indica que apenas dois componentes explicaram proporções superiores a 63,56% e 74,84% da variação total, em cana planta e cana soca, respectivamente (Tabela 5.9). Confirmando-se a suficiência de dois autovalores na representação da variação total, pode-se fazer a análise por gráficos bidimensionais para avaliação da posição dos genótipos (Figuras 5.2 e 5.3) (CARVALHO *et al.* 2002).

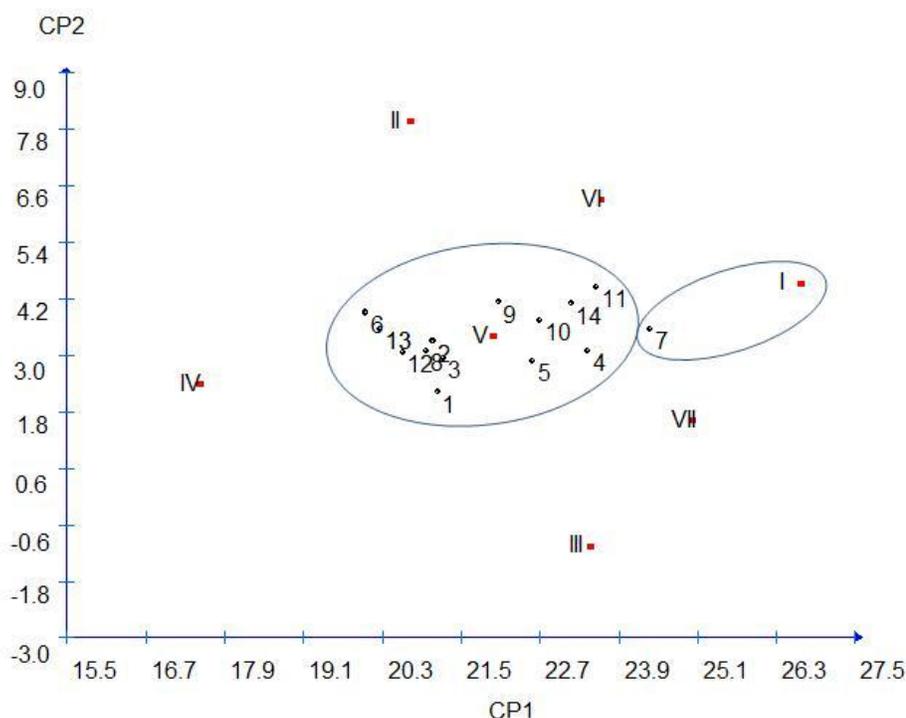


FIGURA 5.2. DISPERSÃO GRÁFICA DOS DOIS PRIMEIROS COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1 E CP2) DE 14 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA PLANTA (2003/2004), DE TONELADA DE POL POR HECTARE EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ. OS PONTOS DE I A VII REPRESENTAM OS IDEÓTIPOS: I – MÁXIMA ADAPTABILIDADE GERAL; II – MÁXIMA ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA A AMBIENTES FAVORÁVEIS; III – MÁXIMA ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA A AMBIENTES DESFAVORÁVEIS; IV – MÍNIMA ADAPTABILIDADE; V – MÉDIA ADAPTABILIDADE GERAL; VI – MÉDIA ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA A AMBIENTES FAVORÁVEIS; VII – MÉDIA ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA A AMBIENTES DESFAVORÁVEIS. PONTOS DE 1 A 14 DOS CLONES DE CANA-DE-AÇÚCAR: 1-RB855046, 2-RB855156, 3-RB855453, 4-RB925211, 5-RB925345, 6-RB945961, 7-RB946903, 8-RB955970, 9-RB956911, 10-RB965902, 11-RB965911, 12-RB966925, 13-RB966927, 14-RB966928.

A dispersão gráfica dos dois primeiros componentes principais para os 14 genótipos nos 11 ambientes é apresentada nas Figuras 5.2 e 5.3, em cana planta e cana soca, respectivamente. Observa-se que os genótipos apresentaram distribuição heterogênea para TPH e que existem pontos mais próximos de alguns dos centróides. Os pontos dos ideótipos têm a formação de um gradiente em forma de seta para a direita. O primeiro componente principal (CP1) está relacionado com a média dos genótipos. Os genótipos mais próximos à ponta da seta (direita) são mais produtivos e os mais próximos à base da seta (esquerda), menos produtivos.

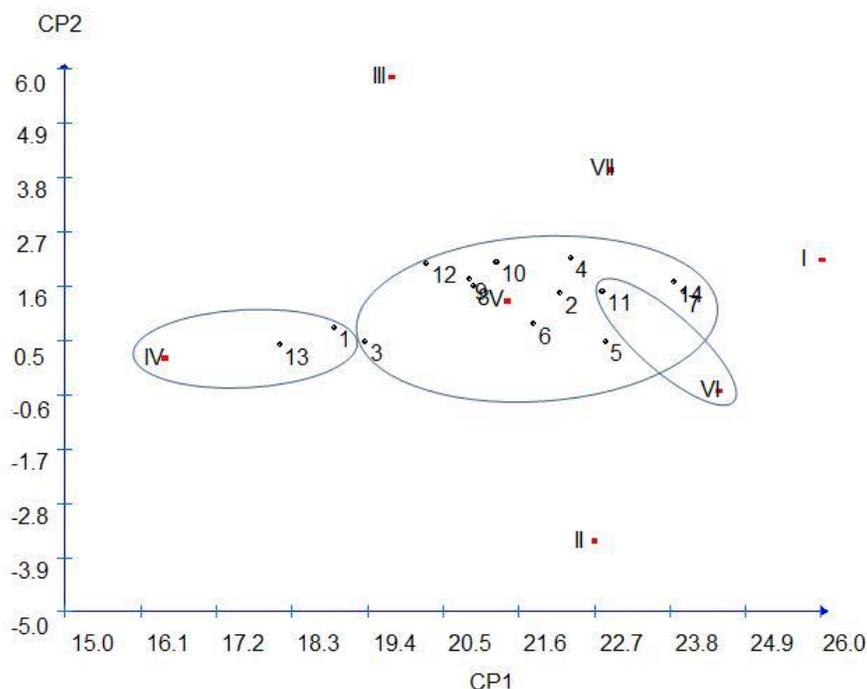


FIGURA 5.3. DISPERSÃO GRÁFICA DOS DOIS PRIMEIROS COMPONENTES PRINCIPAIS (CP1 E CP2) DE 14 GENÓTIPOS DE CANA-DE-AÇÚCAR EM CANA SOCA (2004/2005), DE TONELADA DE POL POR HECTARE EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ. OS PONTOS DE I A VII REPRESENTAM OS IDEÓTIPOS: I – MÁXIMA ADAPTABILIDADE GERAL; II – MÁXIMA ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA A AMBIENTES FAVORÁVEIS; III – MÁXIMA ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA A AMBIENTES DESFAVORÁVEIS; IV – MÍNIMA ADAPTABILIDADE; V – MÉDIA ADAPTABILIDADE GERAL; VI – MÉDIA ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA A AMBIENTES FAVORÁVEIS; VII – MÉDIA ADAPTABILIDADE ESPECÍFICA A AMBIENTES DESFAVORÁVEIS. PONTOS DE 1 A 14 DOS CLONES DE CANA-DE-AÇÚCAR: 1-RB855046, 2-RB855156, 3-RB855453, 4-RB925211, 5-RB925345, 6-RB945961, 7-RB946903, 8-RB955970, 9-RB956911, 10-RB965902, 11-RB965911, 12-RB966925, 13-RB966927, 14-RB966928.

Observa-se o genótipo RB946903 mais produtivo em cana planta, localizado à direita da Figura 5.2 e classificado no grupo I, de alta adaptabilidade geral. Os genótipos que mais se afastam do segmento de reta, para cima ou para baixo, conforme valores do segundo componente (CP2), podem ser classificados como adaptáveis a ambientes favoráveis (VI) e desfavoráveis (VII). Porém, todos os demais genótipos em cana planta formam um grupo compacto, sem dispersão da reta, classificados no grupo V de média adaptabilidade geral.

Em cana soca observam-se os mais produtivos RB966928, RB946903 e RB965911 à direita na Figura 5.3, classificados no grupo V, de média adaptabilidade geral e os menos produtivos RB966927 e RB855046 à esquerda, no grupo IV de pouca adaptabilidade.

Observa-se que nas diferentes análises realizadas alguns resultados são coincidentes. O genótipo RB946903 foi o mais produtivo (TPH) em cana planta e classificado como apresentando adaptabilidade geral pelos métodos de Eberhart e Russell (Tabela 5.4), Lin e Binns (Tabela 5.5) e centróide com pontos adicionais (Tabela 5.7). O genótipo RB966928 também tem a mesma classificação para os dois primeiros métodos, mas muda para média adaptabilidade geral (grupo V) no método centróide com pontos adicionais. Os três genótipos menos produtivos em cana planta, RB966925, RB966927 e RB855046 foram classificados de menor adaptabilidade geral pelo método Lin e Binns (1988), porém de adaptabilidade geral e baixa estabilidade pelo de Eberhart e Russell (1966) e média adaptabilidade pelo centróide com pontos adicionais (NASCIMENTO *et al.*, 2009).

Em cana soca os genótipos mais produtivos RB966928 e RB946903, foram classificados de adaptabilidade geral pelos métodos de Eberhart e Russell (1966) (Tabela 5.4) e Lin e Binns (1988) modificado por Carneiro (1998) (Tabela 5.5) e de média adaptabilidade geral pelo centróide com pontos adicionais (Tabela 5.8). O genótipo RB965911 apresentou adaptabilidade específica a ambientes favoráveis pelos três métodos, em cana soca. Os genótipos menos produtivos RB966927 e RB855046 apresentaram adaptabilidade geral e baixa estabilidade pelo primeiro método e baixa adaptabilidade pelos outros dois métodos, sendo passíveis de descarte (NASCIMENTO *et al.*, 2009).

Para a comparação entre os diferentes métodos foi estimada a correlação de Spearman entre as ordens de classificação genotípica, obtidas com base nos parâmetros de adaptabilidade e estabilidade utilizadas, para cada par de métodos (CARGNELUTI FILHO *et al.*, 2009; PEREIRA *et al.*, 2009). Seguiu-se a metodologia utilizada por Cargneluti Filho *et al.* (2009), analisando-se separadamente os parâmetros de cada método, diferentemente de Silva e Duarte (2006) que calcularam as médias destes.

Na Tabela 5.10 são apresentadas as correlações de Spearman entre os parâmetros de adaptabilidade e estabilidade analisados pelos diferentes métodos, incluindo os parâmetros dos métodos AMMI, analisado no capítulo I e de Toler e Burrows, analisado no capítulo II.

TABELA 5.10. ESTIMATIVAS DO COEFICIENTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN APLICADO ÀS ORDENS DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE CADA PAR DE MÉTODOS, DA ANÁLISE DE 14 GENÓTIPOS PRECOSES DE CANA-DE-AÇÚCAR, EM CANA PLANTA E CANA SOCA, EM 11 LOCALIDADES NO ESTADO DO PARANÁ.

CANA PLANTA (acima da diagonal)													
	Média	Lin e Binns			Eberhart e Russell			Centróide		Toler e Burrows		AMMI	
	TPH	P _i	P _{if}	P _{id}	β_{1i}	σ^2_{di}	R ²	CP1	CP2	β_{1i}	β_{2i}	IPCA1	IPCA2
TPH	-	-0,96	-0,81	-0,90	0,40	-0,27	0,44	0,92	0,51	0,41	-0,11	-0,36	-0,45
P _i	-0,98	-	0,92	0,78	-0,41	0,37	-0,50	-0,85	-0,63	-0,54	0,24	0,53	0,51
P _{if}	-0,93	0,96	-	0,53	-0,33	0,33	-0,46	-0,61	-0,72	-0,70	0,40	0,72	0,41
P _{id}	-0,79	0,80	0,70	-	-0,26	0,20	-0,24	-0,93	-0,16	-0,12	-0,07	0,08	0,30
β_{1i}	0,42	-0,51	-0,63	-0,16	-	-0,20	0,78	0,24	0,75	-0,12	0,55	0,20	-0,63
σ^2_{di}	-0,14	0,22	0,13	0,40	-0,14	-	-0,65	-0,29	-0,24	0,00	-0,12	0,10	0,38
R ²	0,31	-0,43	-0,42	-0,35	0,64	-0,78	-	0,27	0,77	-0,06	0,42	0,08	-0,64
CP1	0,98	-0,96	-0,90	-0,73	0,34	-0,09	0,22	-	0,26	0,28	-0,05	-0,21	-0,42
CP2	0,27	-0,24	-0,12	-0,61	-0,39	-0,19	-0,10	0,23	-	0,36	0,04	-0,30	-0,58
β_{1i}	-0,14	0,16	0,09	0,31	0,23	-0,34	0,33	-0,15	-0,61	-	-0,85	0,07	-0,26
β_{2i}	0,47	-0,56	-0,64	-0,31	0,79	-0,02	0,48	0,39	0,08	-0,34	-	-0,41	-0,50
IPCA1	-0,61	0,66	0,67	0,40	-0,37	0,14	-0,18	-0,62	0,18	-0,94	0,88	-	0,11
IPCA2	0,12	-0,05	0,11	-0,19	-0,63	0,12	-0,38	-0,05	0,22	-0,16	-0,18	-0,03	-

CANA SOCA (abaixo da diagonal)

TPH- Tonelada por hectare; P_i- estimativa da estabilidade e adaptabilidade do genótipo i; P_{if}- estimativa em ambientes favoráveis; P_{id}- estimativa em ambientes desfavoráveis; β_{1i} - coeficiente de regressão linear; σ^2_{di} - desvio de regressão; R²- ajuste do modelo; CP1 e CP2- componentes principais 1 e 2 do método centróide com pontos adicionais; β_{1i} e β_{2i} - resposta fenotípica do genótipo i nos ambientes desfavorável e favorável, respectivamente; IPCA1 e IPCA2- componentes principais 1 e 2 do método AMMI.

As estimativas de correlações de Spearman observadas (Tabela 5.10) indicaram haver de baixa a alta associação entre cada par de parâmetros avaliados, porém, não se mantendo a mesma tendência de um ciclo para outro, de cana planta para cana soca, em algumas destas associações.

Os valores de P_i geral, P_{if} e P_{id} do método de Lin e Binns apresentaram alta correlação de Spearman com as médias de TPH dos genótipos, indicando que os genótipos mais produtivos estão entre os mais estáveis (Tabela 5.10). Essa alta correlação entre média e estabilidade é uma característica do método Lin e Binns (1998), pois associa estabilidade com a capacidade dos genótipos de apresentar o menor desvio em relação ao máximo, em todos os ambientes em estudo. Essa é considerada a maior vantagem desse método, pois possibilita identificar os genótipos mais estáveis sempre entre os mais produtivos (MELO *et al.*, 2007).

As estimativas do coeficiente de correlação indicaram fraca associação negativa entre o parâmetro coeficiente angular do método de Eberhart e Russell com os parâmetros de Lin e Binns (-0,41 em cana planta e -0,51 em cana soca) e com os do método centróide com pontos adicionais (0,24 em cana planta e 0,34 em cana soca). Houve correlação negativa de forte a muito forte entre o método de Linn e Binns e o primeiro componente principal do método centróide com pontos adicionais (-0,85 em cana planta e -0,96 em cana soca) (Tabela 5.10).

O método AMMI, analisado no capítulo I, apresentou fraca ou muito fraca associação de IPCA1 com o método Eberhart e Russell em cana planta e soca; o IPCA2 apresentou moderada associação negativa com o coeficiente de regressão linear (β_{ii}) e coeficiente de determinação (R^2) em cana planta e cana soca, reafirmando que quanto maior a contribuição do genótipo para a interação G x A, menor a sua previsibilidade. O IPCA1 apresentou associação negativa de fraca a moderada com a média TPH. Apresentou moderada associação com o P_i geral e em ambientes favoráveis (P_{if}) em cana planta e cana soca. O AMMI é o único dos métodos estudados que se baseia na contribuição genotípica para a interação G x A, não se associando aos métodos baseados em coeficientes de regressão e de médias (SILVA; DUARTE, 2006). Silva e Duarte (2006) observaram também, fraca associação entre Eberhart e Russell e o modelo AMMI e, aliado à complementariedade de suas informações, indicam o seu uso combinado em estudos de estabilidade e adaptabilidade fenotípica.

De um modo geral houve baixa associação entre os parâmetros do método de Toler e Burrows com os demais métodos e algumas associações apresentaram valores moderados, porém

isto não se repetiu nas duas safras avaliadas. Houve associação muito fraca ou fraca do parâmetro de ambientes desfavoráveis (β_{1i}) com os de Eberhart e Russell e centróide com pontos adicionais, exceto com CP2 que foi de moderada associação. Com o método de Lin e Binns, o β_{1i} em cana planta e o β_{2i} em cana soca apresentaram moderada associação negativa, confirmando que a resposta do genótipo será maior quanto menor o valor do P_i . O coeficiente de regressão linear (β_{1i}) de Eberhart e Russell com o β_{2i} de Toler e Burrows, que reflete a resposta em ambientes favoráveis, apresentaram moderada associação positiva tanto em cana planta como em cana soca. A associação do método de Toler e Burrows com IPCA1 do AMMI variou de muito fraca em cana planta, a muito forte em cana soca.

Os métodos AMMI e de Toler e Burrows apresentaram capacidade de serem utilizados juntos ou em conjunto com os métodos de Eberhart e Russell, de Lin e Binns modificado por Carneiro e centróide com pontos adicionais, fornecendo informações complementares que auxiliam na interpretação da adaptabilidade e estabilidade dos genótipos. Ferreira *et al.* (2006) também concluíram que o modelo de regressão de Toler e Burrows e o modelo AMMI podem ser indicados para uso simultâneo para estimar os efeitos da estabilidade fenotípica.

Na Tabela 5.11 apresenta-se um resumo geral dos resultados obtidos por diferentes métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade de genótipos precoces de cana-de-açúcar, em 11 localidades no Estado do Paraná.

TABELA 5.11. RESUMO DA CLASSIFICAÇÃO DE 14 GENÓTIPOS PRECOSES DE CANA-DE-AÇÚCAR POR DIFERENTES MÉTODOS DE ANÁLISE DE ADAPTABILIDADE E ESTABILIDADE DE TONELADA POL POR HECTARE (TPH), EM 11 AMBIENTES NO ESTADO DO PARANÁ.

Genótipo	Adapt.	Estab.	Adapt.	Adapt.	Estabilidade			Adapt.
	TPH (t.ha ⁻¹)	AMMI	Toler e Burrows	Eberhart e Russell	Lin e Binns modificado por Carneiro			Centróide com pontos adicionais
	(Clas.)		Grupo		P _i	P _{if}	P _{id}	(Clas.)
					(Clas.)			
1-RB855046	15,69 (11)	Baixa	A- convexo	Geral	13	14	7	V- geral Média
Planta								
Soca	12,22 (13)	Baixa	C – ampla	Geral	13	14	12	IV- pouca adaptab.
2-RB855156*	15,81 (10)	Estável	C – ampla	Geral	10	12	10	V- geral Média
Planta								
Soca	14,35 (7)	Baixa	C – ampla	Geral	8	9	7	V- geral Média
3-RB855453*	16,18 (8)	Baixa	E- côncavo	Amb. desfav.	8	8	8	V- geral Média
Planta								
Soca	12,69 (12)	Estável	C – ampla	Geral	11	11	13	V- geral Média
4-RB925211*	16,40 (4)	Baixa	A- convexo	Geral	6	10	2	V- geral Média
Planta								
Soca	14,71 (5)	Estável	C – ampla	Geral	5	6	6	V- geral Média
5-RB925345	16,78 (7)	Média	C – ampla	Amb. desfav.	7	7	5	V- geral Média
Planta								
Soca	14,79 (5)	Média	C – ampla	Geral	4	4	10	V- geral Média
6-RB945961	15,86 (9)	Média	C – ampla	Geral	9	6	11	V- geral Média
Planta								
Soca	14,42 (6)	Média	B- linear	Amb. favorável	6	5	8	V- geral Média
7-RB946903	18,74 (1)	Baixa	E- côncavo	Geral Estável	1	1	1	I- geral Alta
Planta								
Soca	15,76 (2)	Média	C- ampla	Geral Estável	1	1	2	V- geral Média

* Variedade padrão; Clas. – classificação; Adapt. – adaptabilidade; Estab. – estabilidade; amb – ambiente; desfav. – desfavorável; P_i- estimativa da estabilidade e adaptabilidade do genótipo i; P_{if}- estimativa em ambientes favoráveis; P_{id}- estimativa em ambientes desfavoráveis.

TABELA 5.11. continuação...

Genótipo	Adapt.	Estab.	Adapt.	Adapt.	Estabilidade			Adapt.
	TPH (t.ha ⁻¹)	AMMI	Toler e Burrows	Eberhart e Russell	Lin e Binns modificado por Carneiro			Centróide com pontos adicionais
	(Clas.)		Grupo		P _i	P _{ifv}	P _{idf}	(Clas.)
8-RB955970 Planta	15,60 (12)	Média	C – ampla	Amb. desfav.	11	9	14	V- geral Média
	Soca	13,79 (10)	Baixa	C – ampla	Geral	10	8	11
9-RB956911 Planta	16,90 (6)	Baixa	C – ampla	Amb. favorável	4	3	7	V- geral Média
	Soca	13,96 (9)	Estável	C – ampla	Geral	7	7	3
10-RB965902 Planta	17,04 (5)	Estável	C – ampla	Geral	5	5	6	V- geral Média
	Soca	14,06 (8)	Estável	E- côncavo	Amb. desfav.	9	10	5
11-RB965911 Planta	17,93 (2)	Estável	B- linear	Amb. favorável	3	4	3	V- geral Média
	Soca	15,27 (3)	Baixa	A- convexo	Amb. fav. Estável	3	2	4
12-RB966925 Planta	15,11 (14)	Baixa	C – ampla	Geral	14	13	13	V- geral Média
	Soca	13,18 (11)	Baixa	C – ampla	Amb. desfav.	12	13	9
13-RB966927 Planta	15,33 (13)	Média	A- convexo	Geral	12	11	12	V- geral Média
	Soca	11,84 (14)	Estável	C – ampla	Geral	14	12	14
14-RB966928 Planta	17,69 (3)	Estável	C- ampla	Geral	2	2	4	V- geral Média
	Soca	15,79 (1)	Estável	C- ampla	Geral Estável	2	3	1

* Variedade padrão; Clas. – classificação; Adapt. – adaptabilidade; Estab. – estabilidade; amb. – ambiente; desfav. – desfavorável; P_i- estimativa da estabilidade e adaptabilidade do genótipo i; P_{if}- estimativa em ambientes favoráveis; P_{idf}- estimativa em ambientes desfavoráveis.

O genótipo RB966928 apresentou adaptabilidade ampla por todos os métodos em cana planta e soca, apenas sendo classificado de adaptabilidade geral média pelo método centróide com pontos adicionais (Tabela 5.11).

O genótipo RB946903 foi o mais produtivo em cana planta e o segundo em cana soca. Apresentou-se com alta adaptabilidade geral em cana planta pelos métodos de Lin e Binns, de Eberhart e Russell e centróide com pontos adicionais. Porém, pelo AMMI teve alta interação G x A, indicando baixa estabilidade e pelo método Toler e Burrows foi classificado no grupo E, do tipo convexo. Em cana soca, entretanto, apresentou adaptabilidade média ou alta para todos os métodos (Tabela 5.11).

O genótipo RB965911 teve alta produção de TPH, apresentou adaptabilidade específica a ambientes favoráveis em cana planta e soca pelos métodos Eberhart e Russell e de Lin e Binns e foi o único indicado com adaptabilidade específica a ambientes favoráveis pelo método centróide com pontos adicionais, em cana soca. Pelo método Toler e Burrows, apresentou resposta linear simples e desejável em ambientes de alta qualidade em cana planta e resposta convexa, duplamente desejável, em cana soca. Pelo método AMMI apresentou-se estável em cana planta, porém de baixa estabilidade em cana soca (Tabela 5.11).

Pelo método de Eberhart e Russell apenas os genótipos RB946903, RB965911 e RB966928 foram considerados estáveis em cana soca (Tabela 5.11).

Os resultados ressaltam a importância do uso de diferentes métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade na presença de interação genótipo x ambiente, para obtenção de informações complementares e diferentes interpretações para indicação de cultivares. Barros *et al.* (2008) identificaram genótipos superiores em termos de adaptabilidade, estabilidade e desempenho para produtividade utilizando o método centróide (ROCHA *et al.*, 2005) e observaram que houve coerência com os resultados dos métodos de Lin e Binns (1988) e Annicchiarico (1992). Barros *et al.* (2009) observaram coerência entre os resultados dos métodos centróides e de Eberhart e Russell (1966) e identificaram os genótipos de maior produtividade, estabilidade e adaptabilidade. Rios *et al.* (2009) identificaram um mesmo híbrido como genótipo ideal, com adaptabilidade geral, pelas três metodologias empregadas, de Eberhart e Russell (1966), Lin e Binns (1988) e centróide (ROCHA *et al.*, 2005). Estes trabalhos, desenvolvidos com diferentes espécies, conferem com o presente trabalho com cana-de-açúcar em que os métodos citados apresentam coerência nos resultados, com classificações semelhantes para os genótipos superiores ou para os inferiores.

Analisando-se os resultados das análises de adaptabilidade e estabilidade dos genótipos com as menores produtividades, neste trabalho, RB855046 e RB966927 apresentaram baixa

classificação geral pela média TPH, confirmado pelo método Lin e Binns modificado por Carneiro, podendo ser considerados genótipos de baixo potencial. Apresentaram classificação do tipo IV, de pouca adaptabilidade geral pelo método centróide com pontos adicionais em cana soca. Foram classificados como tipo A, de resposta convexa pelo método Toler e Burrows, mas com baixa produtividade em ambientes favoráveis ou desfavoráveis (Tabela 5.11).

Os genótipos RB946903, RB965911 e RB966928 foram identificados pelos diferentes métodos estudados como clones de alta produtividade, de adaptabilidade geral, podendo ser indicados como clones promissores para as regiões Norte e Noroeste do Estado do Paraná.

Cada um dos métodos de análise de adaptabilidade e estabilidade estudados apresentou um diferencial, com informações complementares para uma tomada de decisão para indicação de cultivares: pelo método AMMI pode-se identificar genótipos de baixa a alta estabilidade, com uma estimativa da contribuição genotípica para a interação genótipo x ambiente, livre de ruídos e identificar genótipos com adaptabilidade específica a um determinado ambiente; pelo método de Toler e Burrows identificou-se genótipos com ampla adaptabilidade e classificou-se genótipos pela resposta diferenciada em ambientes desfavoráveis ou em favoráveis; pelo método centróide com pontos adicionais, com análise multivariada por componentes principais, identificou-se genótipos com ampla ou média adaptabilidade geral, com alta ou média adaptabilidade específica a ambientes favoráveis e genótipos com pouca adaptabilidade geral; pelo método de Eberhart e Russell observou-se a responsividade de cada genótipo ante a melhoria ambiental; pelo método de Lin e Binns modificado por Carneiro identificou-se materiais com desempenhos próximos do valor máximo nos diferentes ambientes (FARIAS *et al.*, 1997; SILVA; DUARTE, 2006; FERREIRA *et al.*, 2006).

5.6. CONCLUSÕES

O método AMMI apresentou baixa associação com os métodos baseados em coeficientes de regressão e de médias, podendo ser recomendado para uso simultâneo com os métodos de Toler e Burrows, de Eberhart e Russell, de Lin e Binns modificado por Carneiro e método centróide com pontos adicionais.

O genótipo RB966928 apresentou adaptabilidade ampla em cana planta e cana soca pelos métodos estudados e, junto com os genótipos RB946903 e RB965911, foram identificados como clones de alta produtividade, de adaptabilidade geral, podendo ser indicados como clones promissores para as regiões Norte e Noroeste do Estado do Paraná.

5.7. REFERÊNCIAS

ANNICCHIARICO, P. Cultivar adaptation and recommendation from alfafa trials in Northern Italy. **Journal of Genetics and Plant Breeding**, v.4, p. 269-278, 1992.

BARROS, H.B.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. de C.; CRUZ, C.D. Análises paramétricas e não-paramétricas para determinação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja. **Scientia Agraria**, v.9, p.299-309, 2008.

BARROS, H.B.; SEDIYAMA, T.; TEIXEIRA, R. de C.; REIS, M. S.; CRUZ, C.D. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de soja, no Estado do Mato Grosso. **Bioscience Journal**, v.25, n.3, p. 119-128, 2009.

CARGNELUTTI FILHO, A.; STORCK, L.; RIBOLDI, J.; GUADAGNIN, J. P. Associação entre métodos de adaptabilidade e estabilidade em milho. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.39, n.2, p. 340-347, 2009.

CARNEIRO, P.C.S. **Novas metodologias de análise da adaptabilidade e estabilidade de comportamento**. 1998. 168p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

CARVALHO, H. W. L. de SILVA, M. L. CARDOSO, M. J. SANTOS, M. X. TABOSA, J. N. CARVALHO, C. L. LIRA, M. A. Adaptabilidade e estabilidade de cultivares de milho no Nordeste brasileiro no triênio 1998 a 2000. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.37, n.11, p. 1581-1588, 2002.

CONAB, COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Central de informações agropecuárias: safras – cana**. 2009. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> acessado em 10 mar. 2010.

CRUZ, C.D. **Programa Genes: biometria**. Editora UFV. Viçosa, 2006, 382 p.

CRUZ, C. D. **Programa Genes** - Aplicativo computacional em genética e estatística, versão 2009.7.0. Disponível em: <www.ufv.br/dbg/genes/genes.htm>, acessado em 03 fev. 2010.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**, 2.ed. Viçosa: UFV, 2001, 309 p.

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

DEUBER, R. Maturação da cana-de-açúcar na região Sudeste do Brasil. In: SEMINÁRIO DE TECNOLOGIA AGRONÔMICA, 4., 1988, Piracicaba. **Anais ...** Piracicaba – Coopersucar, p. 33-40, 1988.

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

FARIAS, F.J.C.; RAMALHO, M.A.P.; CARVALHO, L.P.; MOREIRA, J.A.N.; COSTA, J.N. Parâmetros de estabilidade propostos por Lin e Binns (1988) comparados com o método da regressão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, p. 407-414, 1997.

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

FINNEY, D. J. **Statistics for biologists**. London: Chapman and Hall, 1980. 165 p.

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

LIN, C. S.; BINNS, M. R. A method of analyzing cultivars x location x year experiments: new stability parameter. **Theoretical Applied Genetics**, Berlim, v.76, p. 425-430, 1988.

MARCHIORI, R. **Adaptabilidade e estabilidade de 20 genótipos de soja para a macro-região sojícola 3**. 2008. 68p. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

MELO, L. C.; MELO, P. G. S.; FARIA, L. C. DE; DIAZ, J. L. C.; PELOSO, M. J. D.; RAVA, C. A.; COSTA, J. G. C. DA. Interação com ambientes e estabilidade de genótipos de feijoeiro-comum na Região Centro-Sul do Brasil. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.42, n.5, p. 715-723, 2007.

MOHAMMADI, R.; AMRI, A. Comparison of parametric and non-parametric methods for selecting stable and adapted durum wheat genotypes in variable environments. **Euphytica**, v.159, p.419-432, 2008.

NASCIMENTO, M.; CRUZ, C. D.; CAMPANA, A. C. M.; TOMAZ, R. S.; SALGADO, C. C.; FERREIRA, R. P. Alteração no método centróide de avaliação da adaptabilidade genotípica. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.3, p. 263-269, 2009.

NASCIMENTO FILHO, F. J.; ALTROCH, A. L.; CRUZ, C. D.; CARNEIRO, P. C. S. Adaptabilidade e estabilidade de clones de guaraná. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v.44, n.9, p. 1138-1144, 2009.

OLIVEIRA, R. A.; DAROS, E.; BESPALHOK FILHO, J. C.; ZAMBON, J. L. C.; IDO, O. T.; WEBER, H.; RESENDE, M. D. V.; ZENI-NETO, H. Seleção de famílias de cana-de-açúcar via modelos mistos. **Scientia Agraria**, v.9, p. 269-274, 2008.

PEREIRA, H. S.; MELO, L. C.; DEL PELOSO, M. J.; FARIA, L. C. de; COSTA, J. G. C. da; DIAZ, J. L. C.; RAVA, C. A.; WENDLAND, A. Comparação de métodos de análise de

adaptabilidade e estabilidade fenotípica em feijoeiro-comum. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.44, p. 374-383, 2009.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: Editora da Universidade de São Paulo, 2000, 477 p.

PORTO, W. S.; CARVALHO, C. G. P.; PINTO, R. J. B.; OLIVEIRA, M. F.; OLIVEIRA, A. C. B. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de girassol para a região subtropical do Brasil. **Ciência Rural**, v.39, n.9, p. 2452-2459, 2009.

RIOS, S. A. **Interação genótipos x ambientes para carotenóides em cultivares de milho**. 2008. 82p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

RIOS, S. A.; PAES, M. C. D.; BORÉM, A.; CRUZ, C. D.; GUIMARÃES, P. E. O.; SCHAFFERT, R. E.; CARDOSO, W. S.; PACHECO, C. A. P. Adaptability and stability of carotenoids in maize cultivars. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v.9, p. 313-319, 2009.

ROCHA, R. B.; MURO-ABAD, J. I.; ARAUJO, E. F.; CRUZ, C. D. Avaliação do método centroide para estudo de adaptabilidade ao ambiente de clones de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, v.15, p. 255-266, 2005.

ROSSE, L. N. **Modelo de regressão não-linear aplicado na avaliação da estabilidade fenotípica em plantas**. 1999. 179 f. Tese (Doutorado- Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

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

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach**. New York: McGraw-Hill, 1980. 633 p.

TOLER, J. E. **Patterns of genotypic performance over environmental arrays**. 1990. 154 f.
Thesis (Ph. D.) – Clemson University, South Carolina, USA.

TOLER, J. E.; BURROWS, P. M. Genotypic performance over environmental arrays: A non-linear grouping protocol. **Journal of Applied Statistics**, v.25, n.1, p. 131-143, 1998.

6. CONCLUSÃO GERAL

Pelo método AMMI pode-se identificar genótipos precoces de cana-de-açúcar com adaptação específica a determinados ambientes, como por exemplo, o clone RB965911 para a localidade São Pedro do Ivaí em cana planta e para Nova Londrina em cana soca e o clone RB946903 para Nova Londrina em cana planta.

O método AMMI possibilitou a identificação das localidades Paranavaí e Mandaguaçu com a menor interação genótipo x ambiente, com maior estabilidade, onde o ordenamento dos genótipos apresentou maior confiabilidade em relação à média de tonelada pol por hectare (TPH) nos ambientes testados. Estes ambientes podem ser indicados para avaliações nas fases iniciais do Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-açúcar da UFPR.

Os genótipos de cana-de-açúcar avaliados foram classificados nos grupos A, B, C e E pelo método de Toler e Burrows, com comportamento uni-segmentado ou bi-segmentado e diferenciados quanto ao desempenho em ambientes favoráveis ou desfavoráveis. O genótipo RB966928 apresentou alta produtividade de TPH, classificado no grupo C, com alto ajuste do modelo aos dados, indicando adaptabilidade ampla aos diferentes ambientes e estabilidade fenotípica.

Pelo método de Toler e Burrows pode-se identificar a localidade de São Pedro do Ivaí com os maiores valores positivos do índice de qualidade ambiental, em cana planta e cana soca, contribuindo mais para o aumento da média de TPH.

O método AMMI apresentou fraca associação com os métodos baseados em coeficientes de regressão e de médias, podendo ser recomendado para uso simultâneo com os métodos de Toler e Burrows, de Eberhart e Russell, de Lin e Binns modificado por Carneiro e método centróide com pontos adicionais.

O uso de métodos baseados nas diferentes técnicas de análise de regressão linear, regressão não-linear, análise não-paramétrica, análise multivariada e interação de análise univariada com multivariada possibilitaram uma melhor interpretação da adaptabilidade e estabilidade de genótipos para seleção e indicação de cultivares com maior previsibilidade.

Os genótipos de cana-de-açúcar RB966928, RB946903 e RB965911 foram identificados como os melhores clones neste trabalho, com maiores produtividades de tonelada pol por

hectare, de modo geral classificados pelos métodos utilizados como estáveis e de adaptabilidade geral, podendo ser indicados como clones promissores para plantio no Norte e Noroeste do Estado do Paraná.