



UFAL

INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA

TESE DE DOUTORADO

***ANÁLISE DA VARIABILIDADE GENÉTICA E DE
CARACTERÍSTICAS AGROINDUSTRIAIS EM CANA-
DE-AÇÚCAR***

LUIZ SÉRGIO COSTA DUARTE FILHO

Universidade Federal de Alagoas

Campus A.C. Simões
Tabuleiro do Martins
57072-970 - Maceió - AL



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA E
BIOTECNOLOGIA

LUIZ SÉRGIO COSTA DUARTE FILHO

ANÁLISE DA VARIABILIDADE GENÉTICA E DE CARACTERÍSTICAS
AGROINDUSTRIAIS EM CANA-DE-AÇÚCAR

Maceió / AL

2015

LUIZ SÉRGIO COSTA DUARTE FILHO

***ANÁLISE DA VARIABILIDADE GENÉTICA E DE CARACTERÍSTICAS
AGROINDUSTRIAS EM CANA-DE-AÇÚCAR***

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências, Área de Concentração: Desenvolvimento Tecnológico e Extensão Inovadora

Orientador:

Prof. Dr. Josealdo Tonholo;

Co-orientador:

Prof. Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa

Maceió / AL

2015

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecário Responsável: Valter dos Santos Andrade

D812a Duarte Filho, Luiz Sérgio Costa.
 Análise da variabilidade genética e de características agroindustriais em
 Cana-de-açúcar / Luiz Sérgio Costa Duarte Filho. – 2015.
 67 f. : il., gráfs. e tabs.

 Orientador: Josealdo Tonholo.
 Coorientador: Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa.
 Tese (Doutorado em Química e Biotecnologia) – Universidade
 Federal de Alagoas. Instituto de Química e Biotecnologia. Programa de
 Pós-Graduação em Química e Biotecnologia. Maceió, 2015.

 Bibliografia: f. 61-66.
 Apêndice: f. 67.

 1. Cana-de-açúcar - Cultivares. 2. Cana-de-açúcar – Melhoramento
 genético. 3. Diversidade genética. 4. Marcadores microssatélites. I. Título.

CDU: 543.06:633.61



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE QUÍMICA E BIOTECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM QUÍMICA E
BIOTECNOLOGIA

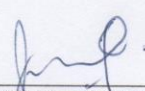


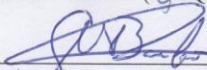
BR 104 Km14, Campus A. C. Simões
 Cidade Universitária, Tabuleiro dos Martins
 57072-970, Maceió-AL, Brasil
 Fone: (82) 3214-1144
 Email: ppgqb.ufal@gmail.com

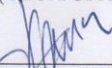
FOLHA DE APROVAÇÃO

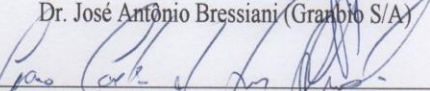
Membros da Comissão Julgadora da defesa de tese do doutorando **LUIZ SÉRGIO COSTA DUARTE FILHO** intitulada: “ANÁLISE DA VARIABILIDADE GENÉTICA E DE CARACTERÍSTICAS AGROINDUSTRIAS EM CANA-DE-AÇÚCAR”, apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas no dia 18 de setembro de 2015, às 09h, na Sala de Reuniões do IQB, na Universidade Federal de Alagoas.

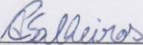
COMISSÃO JULGADORA

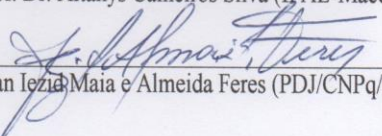

 Prof. Dr. Josealdo Tonholo (PPGOB/UFAL)-Orientador


 Prof. Dr. Geraldo Veríssimo de Souza Barbosa (CECA/UFAL)-Co-Orientador


 Dr. José Antonio Bressiani (Granbio S/A)


 Prof. Dr. Cicero Carlos de Souza Almeida (Campus Arapiraca/UFAL)


 Prof. Dr. Altanys Calheiros Silva (IFAL-Maceió)


 Dr. Chrystian Iezia Maia e Almeida Feres (PDJ/CNPq/IQB/UFAL)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha esposa Jeisyanne Nascimento, com a qual tenho dividido árduos momentos de luta acadêmica ao longo desses três anos;

Dedico também a minha mãe, Lucivânia Nunes, que sempre me apoia incondicionalmente em todos os momentos;

Ao meu irmão Laerço Costa pelo apoio irrestrito;

A toda minha família, pela constante compreensão e reconhecimento;

Em memória a minha Vovó Nazinha, por ser pioneira em minha educação;

E principalmente em memória ao meu pai Luiz Sérgio Costa.

AGRADECIMENTOS

À Deus por ter abençoado;

A Coordenação do Curso de Química e Biotecnologia da Universidade Federal de Alagoas;

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudo;

Aos meus orientadores: Prof. Drº. Josealdo Tonholo; e Prof. Drº Geraldo Verissimo de S. Barbosa, pelo apoio irrestrito de todas as horas;

Aos Professores: Dr. Cícero Carlos de Souza Almeida; e João Messias dos Santos, pela amizade, esclarecimentos e apoio com as pesquisas;

Aos Eng.º Agrônomos e colegas de trabalho: Drº José Antonio Bressiani e Mscº Hugo Lyra Soriano, pela amizade, esclarecimentos e apoio com as pesquisas;

Ao PMGCA do CECA-UFAL pelo reconhecido auxílio ao longo do curso, proporcionando os recursos e o incentivo para a realização dessa pesquisa.

A GranBio pelo apoio, na parte final de conclusão do curso.

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação em Química e Biotecnologia da UFAL pelos ensinamentos transmitidos ao longo do curso.

Aos amigos do PMGCA/UFAL e da GranBio em geral;

Aos amigos Carlos Assis Diniz e Jessé Junior, pela amizade e esclarecimentos científicos.

RESUMO

O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar e etanol da cana-de-açúcar. O perfil econômico, social e a caracterização do setor canavieiro e seus subprodutos são fatores que distinguem esta cultura como uma das mais importantes, tanto na agricultura quanto na indústria. Para que o país atingisse tal importância no setor sucroenergético, o melhoramento genético da cana-de-açúcar foi fundamental, principalmente pela elevação dos rendimentos agroindustriais, com ganhos de 1% a 2% ao ano. Este trabalho teve por objetivo avaliar os resultados de um experimento de competição de cultivares com os principais genótipos plantados em Alagoas entre 1975 e 2010, conduzido entre fevereiro de 2012 e fevereiro de 2013 na Usina Sinimbu, adotando-se os seguintes procedimentos estatísticos-genéticos: estimativas de médias e agrupamento das cultivares para as principais características agroindustriais; estimativas de parâmetros genéticos das principais características agroindustriais, visando a predição de ganhos futuros; avaliação dos níveis de diversidade genética das cultivares por meio de marcadores moleculares do tipo microssatélite; recomendação de cruzamentos genéticos entre as cultivares com a finalidade de obter ganhos genéticos futuros em rendimentos agroindustriais. O delineamento experimental do ensaio foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela foi composta de três linhas duplas de sete metros, no espaçamento de 1,50 m x 0,80 m, com área útil de 48,3 m². Foi feita irrigação por aspersão, aplicando-se quatro lâminas de 30 mm, sendo uma na instalação do experimento e as demais, aos nove, dez e onze meses de idade da cana. Os resultados obtidos com as análises do presente estudo permitem concluir que: as cultivares que apresentaram os maiores rendimentos em açúcar foram RB92579, RB867515, RB99395 e RB951541; as maiores estimativas de herdabilidade e razão entre os coeficientes de variância genético/ambiental foram para as características BRIX, POL, TPH e TCH, indicando ser muito provável obter ganhos futuros na seleção de indivíduos superiores nessas características, realizando cruzamentos genéticos com os genótipos avaliados neste estudo; os *primers* de microssatélites SSR05, SSR06 e SSR93 foram eficientes em determinar perfis genéticos únicos e em discriminar grau de parentesco e diversidade genética das 21 cultivares avaliadas neste estudo; e os cruzamentos genéticos que podem prever maiores ganhos em rendimento em açúcar são da cultivar RB92579 com as cultivares RB867515, RB931003, RB931011, RB951541, RB98710 e RB99395.

Palavras-chave: Cana-de-açúcar, diversidade genética, microssatélites

ABSTRACT

Brazil is the largest producer of sugar and ethanol from sugarcane. The economic, social profile and the characterization of the sugarcane industry and its by-products are factors that distinguish this culture as one of the most important, both in agriculture and in industry. For the country to reach such importance in the sugarcane industry, the genetic improvement of sugarcane was key, especially by the increase in agro-industrial income, with gains of 1% to 2% per year. This work aimed to evaluate the results of a cultivar competition experiment with the main genotypes planted in Alagoas between 1975 and 2010, conducted between February 2012 and February 2013 in Plant Sinimbu, adopting the following statistical-genetic procedures: Mean estimates and grouping of cultivars to the main agroindustrial characteristics; Estimates of genetic parameters of the main agro-industrial characteristics, aimed at predicting future earnings; assessment of levels of genetic diversity of cultivars through molecular markers of the microsatellite type; recommendation of genetic crosses between cultivars in order to get future genetic gains in agro-industrial income. The experimental design of the trial was a randomized block with four replications. The plots consisted of three double rows of seven meters, spaced 1.50 mx 0.80 m, with an area of 48.3 m². It was made sprinkler irrigation, applying four 30mm slides, one in the beginning of the experiment and the other at nine, ten and eleven months of age cane. The results obtained from the analysis of this study allow us to conclude that: the cultivars that showed the highest yields of sugar were RB92579, RB867515, RB99395 and RB951541; the higher heritability estimates and ratio of the genetic / environmental variance coefficients were for BRIX features, POL, TPH and TCH, indicating that most likely get future gains in the selection of superior individuals in these features, performing genetic crosses with genotypes this study; primers microsatellite SSR05, SSR06 and SSR93 were efficient in determining unique genetic profiles and discriminate relationship and genetic diversity of 21 cultivars evaluated in this study; and genetic crosses that can predict major gains in income in sugar are the cultivar RB92579 with RB867515 cultivars RB931003, RB931011, RB951541, RB98710 and RB99395.

Keywords: Sugarcane, genetic diversity, microsatellite

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Origem das cultivares atuais de cana-de-açúcar. Este esquema mostra os cruzamentos interespecíficos entre <i>S. officinarum</i> e <i>S. spontaneum</i> até na formação dos híbridos atuais (Fonte: Almeida, 2011)	20
Figura 2: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Tonelada de cana por hectare (TCH). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro .	37
Figura 3: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Fibra industrial da cana (%) (FIB). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro	39
Figura 4: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica sólidos solúveis do caldo da cana (BRIX). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro ...	40
Figura 5: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Pol % caldo (POL). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro	41
Figura 6: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica açúcares redutores do caldo (%) (AR). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro	42
Figura 7: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Teor de sacarose (SAC). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro	43
Figura 8: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Teor de glicose (GLI). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro	43
Figura 9: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Teor de frutose (FRU). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro	44
Figura 10: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica cor do caldo em unidades ICUMSA (COR). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro ...	46
Figura 11: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Tonelada de pol por hectare (TPH). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro	47
Figura 12: Dendrograma que representa a relação entre 21 cultivares de cana-de-açúcar, com base na análise de agrupamento UPGMA de SSR, derivado de 03 iniciadores, utilizando coeficientes de similaridade de Jaccard	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição das cultivares, genitores, instituição obtentora e ano de introdução ou liberação (I/L) em Alagoas nas últimas quatro décadas	30
Tabela 2: Esquema representativo para obtenção da análise de variância	33
Tabela 3: Quadrados médios das variáveis Tonelada de cana por hectare (TCH), Fibra industrial da cana (%) (FIB), Sólidos solúveis totais do caldo (%) (BRIX), Pol % caldo (POL), Açúcares redutores do caldo (%) (AR), Teor de sacarose (SAC), Teor de glicose (GLI), Teor de frutose (FRU), Cor do caldo em unidades ICUMSA, e Tonelada de pol por hectare (TPH), avaliados aos doze meses de idade da cana-de-açúcar no experimento conduzido na Usina Sinimbu-AL, entre fevereiro de 2012 a fevereiro de 2013	36
Tabela 4: Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres Tonelada de cana por hectare (TCH), Fibra industrial da cana (%) (FIB), Sólidos solúveis totais do caldo (%) (BRIX), Pol % caldo (POL), Açúcares redutores do caldo (%) (AR), Teor de sacarose (SAC), Teor de glicose (GLI), Teor de frutose (FRU), Cor do caldo em unidades ICUMSA, e Tonelada de pol por hectare (TPH). Ensaio colhido aos doze meses de idade da cana-de-açúcar, Usina Sinimbu-AL, fevereiro de 2012 a fevereiro de 2013	48
Tabela 5: <i>Primers</i> do tipo microssatélites (SSR), código de acesso ao Gen Bank, motivo da sequência de nucleotídeos, conteúdo de informações polimórficas (PIC), número de alelos e tamanho dos alelos em pares de base	53
Tabela 6: Matriz de diversidade genética observada entre 21 genótipos de cana-de-açúcar a partir de marcadores SSR	55
Tabela 7: Valores médios das cultivares para os caracteres: Tonelada de cana por hectare (TCH), Fibra industrial da cana (%) (FIB), Sólidos solúveis totais do caldo (%) (BRIX), Pol % caldo (POL), Açúcares redutores do caldo (%) (AR), Teor de sacarose (SAC), Teor de glicose (GLI), Teor de frutose (FRU), Cor do caldo em unidades ICUMSA, e Tonelada de pol por hectare (TPH), avaliados em experimento conduzido na usina Sinimbu-AL, no ano agrícola de 2012/13 ..	66

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA: Analysis of variance

AR: Açúcar redutor

ATR: Açúcares totais recuperados

BRIX: Sólidos solúveis totais do caldo (%)

CB: Campos dos Goytacazes - RJ – Brasil

cDNA: Ácido desoxirribonucleico complementar

Co: Coimbatore/Índia

CONAB: Companhia Nacional de Abastecimento

CONSECANA: Conselho dos Produtores de Cana-de-Açúcar, Açúcar e Alcool

COPERSUCAR: Cooperativa de Produtores de Cana-de-Açúcar do Estado de São Paulo

CTC: Centro de Tecnologia Canavieira

DNA: Ácido desoxirribonucleico

FETAG-AL: Federação dos Trabalhadores na Agricultura do Estado de Alagoas

FIB: Fibra industrial da cana, em %

FRU: Teor de frutose

GD: Genetic diversity

GL: Graus de liberdade

GLI: Teor de glicose

HPLC: High-performance liquid chromatography

IAA: Instituto do Açúcar e do Alcool

IAC: Instituto Agronômico de Campinas

ICUMSA: International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis

ISST: International Society of Sugarcane Technologists

PBU: Peso do bolo úmido

PCR: Polimerase chain reaction

PCTS: Pagamento de cana pelo teor de sacarose

PLANALSUCAR: Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar

PMGCA: Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar

POL: Pol % caldo

QM: Quadrados médios

RB: República do Brasil

RIDESA: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético

SAC: Teor de sacarose

SBI: Sugarcane Breeding Institute

SINDAÇUCAR-AL: Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas

SP: COPERSUCAR – São Paulo

SSR: Simple sequence repeats

TARTH: Tonelada de açúcares recuperados totais por hectare

TCH: Tonelada de cana por hectare

TPH: Tonelada de pol por hectare

UDOP: União dos Produtores de Bioenergia

UFAL: Universidade Federal de Alagoas

VAT: Vale da usina triunfo

VHP: Very high polarization

VVHP: Very Very Higt Polarization

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1	A cana-de-açúcar	16
2.2	Importância socioeconômica da cana-de-açúcar	17
2.3	Qualidade da matéria-prima	18
2.4	Melhoramento genético da cana-de-açúcar	19
2.5	Parâmetros genéticos	24
2.6	Marcadores moleculares aplicados ao melhoramento genético da cana-de-açúcar	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	29
3.1	Experimento de avaliação das cultivares	29
3.2	Variáveis agroindustriais avaliadas	31
3.3	Análises estatísticas e estimativas de parâmetros genéticos	33
3.4	Avaliação da divergência genética por meio de SSR	35
3.4.1	Procedimentos laboratoriais	35
3.4.2	Análise dos dados moleculares	35
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1	Análises de variâncias e agrupamento de médias das cultivares pelo procedimento de Scott-Knott	37
4.2	Estimativas de parâmetros genéticos	48
4.3	Avaliação da divergência genética por meio de SSR	53
4.4	Recomendação de cruzamentos	59
	CONCLUSÕES	60
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
	APÊNDICE	67

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem como centro de origem o Sudeste da Ásia e a Nova Guiné. É uma planta alógama, da família Gramínea (Poaceae), tribo Andropogoneae e gênero *Saccharum*, sendo que duas espécies tem marcante participação na constituição genética dos híbridos atuais – *S. officinarum* e *S. spontaneum* (GRIVET et al., 2004).

O principal produto derivado dessa matéria-prima é o açúcar, alimento humano essencial e de consumo básico, sendo uma commodity produzida em várias partes do mundo. Além da tradicional produção de açúcar, a cana produz etanol - sendo usado como combustível automotivo, na produção de bebidas e para fins farmacêutico - e a produção de eletricidade, por meio da queima do bagaço. O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar da cana. O perfil econômico, social e a caracterização do setor canavieiro e seus subprodutos são fatores que distinguem esta cultura como uma das mais importantes, tanto na agricultura quanto na indústria. No Brasil, a cana-de-açúcar possui significativa importância econômica desde o período colonial até os dias atuais, sendo o maior produtor mundial. Esse setor ocupou na safra 2014/15, área colhida de 9,6 milhões de hectares, o equivalente a 3,2% dos solos cultivados do país, e gerou uma renda de US\$ 7 bilhões, sendo que US\$ 3,2 bilhões foram obtidos em vendas para o exterior (CONAB, 2015; UDOP, 2015).

Para que o país atingisse tal importância do setor sucroenergético, o melhoramento genético da cana-de-açúcar foi fundamental, principalmente pela elevação dos rendimentos agroindustriais, com ganhos de 1 a 2% ao ano (BARBOSA et al., 2012). Em Alagoas, na safra 1975/1976, o rendimento agrícola médio foi de 36,5 Toneladas de cana por hectare (TCH) e para cada tonelada de cana eram recuperados 103,8 kg de açúcares redutores totais (ART), perfazendo 3,8 TARTH; nesse período 93% da área era ocupada pelas cultivares Co331 e CB45-3. Os rendimentos médios da safra 2010/2011 foram de 66,0 TCH e em cada tonelada de cana foram recuperados 135,2 kg de ART, resultando 8,9 TARTH (ganho de 3,5% ao ano). Nesse período ocorreu grande mudança na adoção de tecnologias nas diversas áreas, destacando-se o cultivo de modernas cultivares das siglas RB e SP, melhora no manejo da cultura e maior eficiência na recuperação industrial dos açúcares da cana (BARBOSA, 2014).

Entretanto, ainda há a necessidade de melhorias no aumento da variabilidade genética dos indivíduos, com o intuito de obter ganhos em caracteres específicos, bem como redução do tempo despendido para obtenção de novas variedades. Para isso, é de

vital importância o estudo de parâmetros genéticos e de marcadores moleculares, que podem ser valiosas ferramentas a favor do melhoramento genético da cana-de-açúcar.

Através dos parâmetros genéticos é possível identificar a magnitude da variabilidade genética, os efeitos ambientais e às herdabilidades dos caracteres estudados. Esses parâmetros permitem verificar os efeitos envolvidos na obtenção de futuras populações melhoradas (VENCOSVSKY; BARRIGA, 1992; RAMALHO et al., 2004). O uso de técnicas moleculares permite analisar a variabilidade em nível de DNA, resultando em um agrupamento de indivíduos com características semelhantes, proporcionando planejar os cruzamentos, obtendo melhores resultados em um tempo menor (SANTOS et al., 2012).

Este trabalho teve por objetivo avaliar os resultados de um experimento de competição de cultivares com os principais genótipos plantados em Alagoas entre 1975 e 2010, conduzido entre fevereiro de 2012 e fevereiro de 2013 na Usina Sinimbu, adotando-se os seguintes procedimentos estatísticos-genéticos: estimativas de médias e agrupamento das cultivares para as principais características agroindustriais; estimativas de parâmetros genéticos das principais características agroindustriais, visando a predição de ganhos futuros; avaliação dos níveis de diversidade genética das cultivares por meio de marcadores moleculares do tipo SSR; recomendação de cruzamentos genéticos entre as cultivares com a finalidade de obter ganhos genéticos futuros em rendimentos agroindustriais.

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é classificada como uma planta alógama, da família Gramínea (Poaceae), tribo Andropogoneae e gênero *Saccharum*. Relatos apontam que se originou no Sudeste da Ásia e Nova Guiné (LEBOT, 1999), e as cultivares modernas são híbridos aneuplóides (quando partes ou cromossomos inteiros estão ausentes a partir de um genoma, ou presentes em excesso) e poliploides (situação genética de núcleo celular, célula, ou organismo, em que há mais de dois conjuntos de cromossomas homólogos) originários do cruzamento entre as espécies *S. officinarum* ($2n = 80$) e *S. spontaneum* ($2n = 40 - 128$), e em alguns casos de *S. robustum* ($2n = 60$), *S. sinense roxb* ($2n = 116 - 120$) ou *S. barberi* jeswiet ($2n = 81 - 124$) (CORDEIRO et al., 2006).

É uma gramínea perene que se reproduz a partir de sementes verdadeiras, gemas nodais e de rizomas. Os perfilhos da planta surgem das gemas nodais ou rizomas para formar uma touceira de colmos. O colmo de uma planta madura contém, em média, 2/3 de água e 1/3 de matéria seca (açúcares, sais e fibras), componentes de proporção variável em função da espécie/híbrido e da condição do cultivo. O rizoma é bem desenvolvido em *S. spontaneum*, podendo formar densos entrelaçamento de raízes, de difícil erradicação. Assim, *S. spontaneum* perfilha profusamente enquanto que *S. officinarum* tem uma baixa capacidade de perfilhamento. Até o século XX, a espécie *S. officinarum* foi amplamente cultivada em diversos países, no entanto, objetivando elevar a produtividade e ampliação da área produtiva, diversos estudos divulgaram aspectos relacionados ao florescimento e a formação de sementes em cana-de-açúcar (GRIVET et al., 2004).

Ainda conforme o autor, devido à necessidade de obtenção de vegetais resistentes a doenças, cientistas da Índia e de Java, por meio de estudos contínuos com hibridização, desenvolveram híbridos interespecíficos entre as espécies poliplóides *S. officinarum* e *S. spontaneum*, conservando as características nobres presentes na *S. officinarum* (alto conteúdo em sacarose) e adicionando as características rústicas presentes na *S. spontaneum* (maior vigor, elevado perfilhamento e resistência à doenças).

2.2 Importância socioeconômica da cana-de-açúcar

O açúcar é um alimento humano essencial e de consumo básico, sendo uma commodity produzida em várias partes do mundo, feito a partir da matéria-prima da cana-de-açúcar (70%) e de beterraba (30%). O Brasil é o maior produtor e exportador mundial de açúcar da cana. O perfil econômico, social e a caracterização do setor canavieiro e seus subprodutos são fatores que distinguem esta cultura como uma das mais importantes, tanto na agricultura quanto na indústria. No Brasil, a cana-de-açúcar possui significativa importância econômica desde o período colonial até os dias atuais, sendo o maior produtor mundial (CONAB, 2015).

Conforme CONAB (2015), esse setor ocupou na safra 2014/15, área colhida de 9,6 milhões de hectares, o equivalente a 3,2% dos solos cultivados do país, concentrando-se na Região Centro-Sul. São Paulo foi o Estado com maior área cultivada (52%), seguido por Goiás (9,5%), Minas Gerais (8,9%), Mato Grosso do Sul (7,4%), Paraná (7,1%), Alagoas (4,3%) e demais Estados (10,8%). Foram esmagadas nessa safra cerca de 632 milhões de toneladas de cana, produzindo 35,54 milhões de toneladas de açúcar e 28,39 bilhões de litros de etanol. Em Alagoas, a área colhida nessa safra foi de 378,7 mil hectares; o total de cana-de-açúcar moída foi de 23,2 milhões de toneladas, 1,89 milhão de toneladas de açúcar e 555 milhões de litros de etanol.

1. Além desses produtos, essa cultura contribui na geração de eletricidade, tanto para consumo próprio de suas agroindústrias, quanto na venda dos excedentes para a rede elétrica nacional. Tem relevante função social e econômica no emprego da mão-de-obra, formação de renda e divisas. No Brasil, o complexo sucroalcooleiro gerou na safra 2014/15 uma renda de US\$ 7 bilhões, sendo que US\$ 3,2 bilhões foram obtidos em vendas para o exterior. A cana-de-açúcar é a base para todo o agronegócio sucroalcooleiro, representado por aproximadamente 50 mil fornecedores de cana, 400 indústrias de açúcar e álcool e mais de 4,5 milhões de empregos diretos e indiretos (UDOP, 2015). Em Alagoas, nessa mesma safra, estiveram em atividade mais de 7,5 mil fornecedores de cana-de-açúcar e 20 unidade industriais, gerando em torno de 50 mil empregos diretos (FETAG-AL, 2015).

2.3 Qualidade da matéria-prima

Os colmos da cana-de-açúcar possuem composição extremamente variável em função de diversos fatores, como idade cronológica e fisiológica da cultura, época da amostragem, variedade, estágio de corte, sanidade das plantas, condições climáticas durante o desenvolvimento da maturação, adubação e fertirrigação, tipo de solo, entre outros fatores. As duas frações principais da cana-de-açúcar para processamento são: sólidos insolúveis - fibra (10,0% a 16,0%) e caldo (84,0% a 90,0%), sendo este a rigor, a matéria-prima para a fabricação de açúcar e álcool, esse caldo é definido como uma solução impura de sacarose, glicose e frutose. Sua composição é de água (75,0% a 82,0%) e sólidos solúveis - BRIX (18,0% a 25,0%), sendo formado por sacarose (14,5% a 24,0%), frutose (inferior a 0,5%) e glicose (0,2% a 1,0%), dependendo do estágio de maturação da cana (FERNANDES, 2003).

O mesmo autor cita que a sacarose ($C_{12}H_{22}O_{11}$) é um dissacarídeo e constitui a principal característica de qualidade tecnológica da cana-de-açúcar. É o açúcar diretamente cristalizável no processo de fabricação. Seu peso molecular é de 342g e sob condições ácidas ou ação de enzimas (invertase), desdobra-se em duas moléculas de monossacarídeos: a glicose ($C_6H_{12}O_6$), com peso molecular de 180g e frutose ($C_6H_{12}O_6$) e peso molecular de 180g. Os açúcares redutores glicose e frutose quando em teores elevados mostram um estágio pouco adiantado de maturação da cana, além da presença de outras substâncias indesejáveis ao processamento. No entanto, em cana madura, os açúcares redutores contribuem, embora com uma pequena porcentagem, para o aumento do teor de açúcar total.

Toda e qualquer indústria de processamento da cana-de-açúcar do Brasil possui em sua estrutura um setor específico destinado ao controle de qualidade da matéria-prima, vinculado a um laboratório (CALDAS, 2010). De forma simplificada, o processo analítico da matéria-prima tem início com a pesagem do carregamento, amostragem mecânica por sonda, e preparação da amostra em desintegradores/trituradores. A fase seguinte de análise das amostras principia com a extração do caldo e engloba a pesagem do bagaço residual denominado bolo úmido e as determinações: fibra industrial % cana, percentagem de sólidos solúveis totais (BRIX), percentagem da sacarose aparente (POL), a Pureza do caldo (proporção da sacarose aparente nos sólidos solúveis totais), percentagem de açúcares redutores (AR), que estima a percentagem de glicose mais frutose aparente), e por último o

açúcar total recuperado (ATR), que é expresso em kg de açúcares totais por tonelada de cana) (MELO, 2010).

É importante destacar que os mercados compradores de açúcar (internos do Brasil e internacionais) exigem padrões diferenciados dos produtos finais. Os tipos mais negociados são Cristal (Standard, Superior e Especial), Refinado (Amorfo e Granulado), VHP (Very High Polarization) e VVHP (Very Very High Polarization). Cada um desses tipos apresentam escala de cor específica, de acordo com a exigência do mercado (SINDAÇÚCAR-AL, 2015). Por isso é necessário que seja conhecida a cor do caldo da cana-de-açúcar que irá ser processada para a obtenção dos produtos finais (SANTOS et al., 2008).

Ressalte-se que na determinação dos teores de açúcares da cana, os resultados são estimativas de valores verdadeiros da sacarose, glicose e frutose. Na determinação do teor de sacarose aparente, inclui no resultado, além deste dissacarídeo, outras substâncias dextróginas não cristalizáveis. Já o equipamento HPLC (High-performance liquid chromatography) determina o verdadeiro conteúdo de cada carboidrato presente no caldo do colmo da cana, principalmente sacarose, glicose e frutose (FERNANDES, 2003). O conhecimento desses açúcares verdadeiros é muito importante, tanto para o controle de qualidade da matéria-prima, quanto para a recomendação de plantio das cultivares obtidas e liberadas para o produtor pelos programas de melhoramento genético.

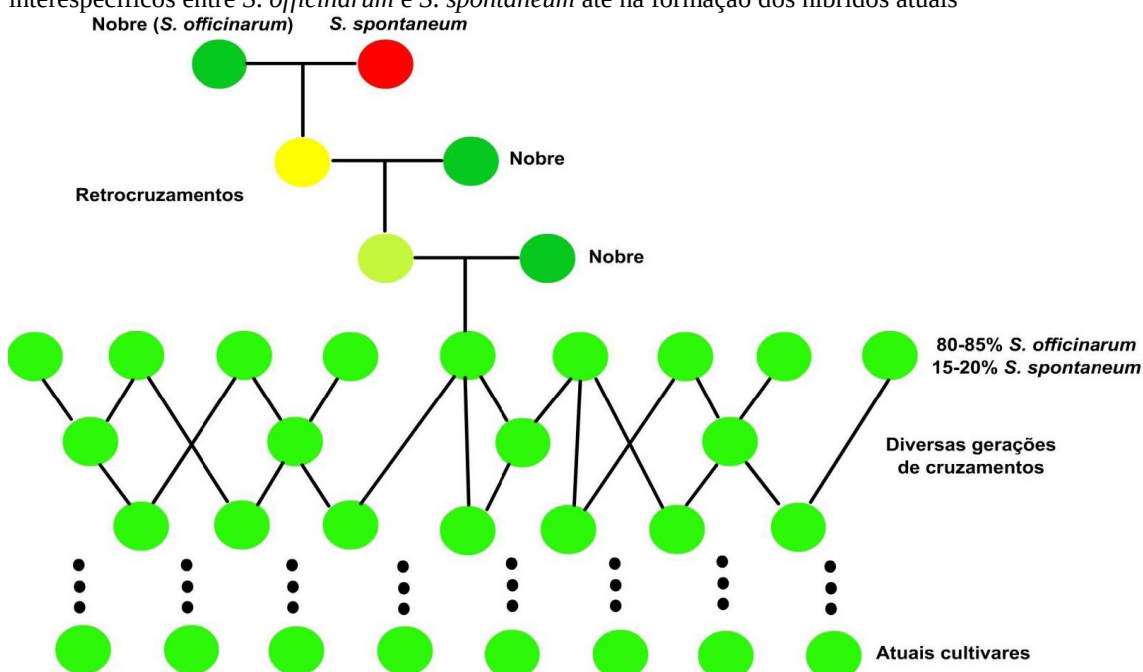
O sistema de avaliação da qualidade da matéria-prima da cana-de-açúcar e pagamento aos produtores do Brasil teve por base pesquisas realizadas em Alagoas, que em 1978 implantou o PCTS (Pagamento de Cana pelo Teor de Sacarose), sendo posteriormente implantado nos demais Estados. A partir de 1999, este sistema passou a ser feito com base no valor de açúcares totais recuperáveis (ATR), substituindo o PCTS (MELO, 2010).

2.4 Melhoramento genético da cana-de-açúcar

Dada à necessidade de obtenção de vegetais resistentes à doenças, com maiores rendimentos em açúcar, cientistas da Índia e de Java, por meio de estudos contínuos com hibridização, foram os pioneiros no desenvolvimento de híbridos interespecíficos entre as espécies poliplóides *S. officinarum* e *S. spontaneum*, conservando as

características nobres presentes na *S. officinarum* e adicionando as características rústicas presentes na *S. spontaneum*. Com a finalidade de concentrar maior descendência genética nobre nos híbridos da primeira geração, diversos retrocruzamentos, efetuados de maneira sucessiva, foram realizados utilizando a espécie *S. officinarum*. Como consequência, cerca de 80% das características genéticas presentes nos híbridos de cana-de-açúcar procedem de *S. officinarum*, (GRIVET et al., 2004) (Figura 1).

Figura 1: Origem das cultivares atuais de cana-de-açúcar. Este esquema mostra os cruzamentos interespecíficos entre *S. officinarum* e *S. spontaneum* até na formação dos híbridos atuais



Fonte: Silva (2011).

Atualmente existem em atividade 82 programas de melhoramento genético da cultura, distribuídos em 56 países (ISST, 2015). De acordo com Barbosa (2014), para o desenvolvimento de um programa de melhoramento da cana, são condições necessárias: a) dispor de um Banco de Germoplasma com grande diversidade genética, entre acessos das espécies do gênero *Saccharum*, de espécies correlatas e de híbridos de diversas origens do mundo; b) geração de variabilidade genética através de hibridação; e c) seleção de indivíduos superiores. O melhoramento genético da cana-de-açúcar tem contribuído para a elevação dos rendimentos agroindústrias na ordem de 1% a 2% ao ano (EDMÉ et al., 2005; BARBOSA et al., 2012).

Sobre a evolução do melhoramento genético da cana-de-açúcar no Brasil, Barbosa (2014, p. 33), apresenta as seguintes considerações:

No Brasil, antes do século XX, predominou o cultivo das variedades: Crioula, Caiana, Roxa e Rosa. No início do século XX foram introduzidos os primeiros híbridos de Java (POJ213, POJ2727 e POJ2878) e da Índia (Co290, Co331, Co419 e Co421). Juntamente com o advento de introduções desses híbridos, ocorreu o aparecimento de doenças, provocando grande queda da produção, visto que as variedades cultivadas na época eram suscetíveis. Diante do ocorrido, houve a necessidade de desenvolver variedades no próprio país, iniciando de fato, na década de 1930, o desenvolvimento das variedades IAC (Instituto Agrônomo de Campinas) em São Paulo e as variedades da sigla CB (Campos Brasil) desenvolvidas na Estação Experimental de Cana-de-açúcar de Campos dos Goitacazes - Rio de Janeiro, do Ministério da Agricultura. Esses dois programas muito contribuíram para o setor sucroalcooleiro nacional, pois durante as décadas de 1950 a 1970, as cultivares em plantio eram basicamente das siglas IAC (IAC48-65, IAC51-205, IAC52-150) e CB (CB41-76 e CB45-3). Foi criada em 1969 a Cooperativa Central dos Produtores de Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo (COPERSUCAR), gerando importantes variedades da sigla SP (São Paulo). Essa instituição passou a se denominar Centro de Tecnologia Canavieira no ano de 2004, com sigla CTC para as cultivares. Em 1971, o Instituto do Açúcar e do Alcool (IAA) criou o PLANALSUCAR (Programa Nacional de Melhoramento da Cana-de-açúcar), com abrangência nacional, contendo quatro coordenadorias regionais, com o objetivo de desenvolver variedades da sigla RB (República do Brasil). No ano de 1990 o IAA/PLANALSUCAR foi extinto e ocorreu a incorporação dos seus recursos humanos e do acervo técnico de suas estações experimentais para as universidades federais que formaram a RIDESA (Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético), dando continuidade as pesquisas de desenvolvimento de variedades RB. A RIDESA é constituída atualmente por dez universidades, das quais fazem parte a Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), Universidade Federal de Viçosa (UFV-MG), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar-SP), Universidade Federal do Paraná (UFPR); Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ); Universidade Federal de Sergipe (UFS); Universidade Federal do Piauí (UFPI); Universidade Federal de Goiás (UFG) e Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). O principal foco desta rede é desenvolver variedades de cana-de-açúcar mais produtivas, tolerantes às principais pragas e doenças e adaptadas às diversas condições de ambientes do Brasil.

As principais variedades cultivadas em 2012 no Brasil, de acordo com a sigla, foram: RB (62%), SP (28,7%), CTC (5,2%), IAC (0,9%), PO (0,4%) e outras (2,9%). Alagoas apresentou os seguintes percentuais: RB (62,5%), SP (28,1%), VAT (5,5%) e outras (3,8%). Nesse Estado, as vinte variedades mais cultivadas, com os percentuais sobre o total, foram: RB92579 (32,47%), SP79-1011 (15,00%), RB867515 (12,77%), SP81-3250 (9,36%), RB93509 (7,24%), VAT90-212 (4,83%), RB833129 (1,88%), RB951541 (1,43%), CTC-2 (1,04%), SP71-6949 (0,91%), RB931011 (0,80%), SP83-2847 (0,77%), RB855113 (0,68%), RB845210 (0,66%), RB98710 (0,64%), RB931003 (0,55%), VAT90-61 (0,46%), RB72454 (0,45%), Co997 (0,30%), SP78-4764 (0,29%) (CHAPOLA et al., 2013).

Conforme Barbosa (2014), em Alagoas, nas últimas quatro décadas, as variedades de cana-de-açúcar mais cultivadas foram: A Co331, que dominou até a safra 1980/1981 e deixou de ser cultivada em 1995; a CB45-3, que liderou entre as safras 1981/1982 e 1995/1996, mas deixou de ser plantada a partir de 2002; a RB72454 que esteve à frente entre as safras 1996/1997 e 1999/2000 e que deixou de ser plantada em Alagoas no ano de 2005; a SP79-1011 liderou a partir da safra 2000/2001 até a safra 2007/2008; a RB92579, que comanda a área cultivada desde a safra 2008/2009; também tiveram áreas significativas entre 1975 e 2010, por apresentarem acima de 3% da área cultivada em pelo menos uma safra alagoana: Co997, SP70-1143, SP71-1406, SP71-6949, SP78-4764, SP81-3250, VAT90-212, RB83102, RB75126, RB867515 e RB93509. De outra parte, em 2010, a UFAL liberou as cultivares RB931003, RB931011, RB951541, RB98710 e RB99395, que estão em processo de elevada multiplicação pelos produtores.

Ainda conforme o autor, as novas cultivares adotadas (siglas RB e SP) contribuíram na safra 2010/2011 com adicional extra de US\$ 17,36 milhões, e deste montante, US\$ 10,42 milhões podem ser creditados à adoção das cultivares RB. Em 2010, a RB92579 contribuiu a mais que à SP79-1011, o montante de US\$ 50,30 milhões, ou 625,54 US\$ ha⁻¹.

As principais informações e características destas variedades mais importantes nas últimas quatro décadas em Alagoas estão descritas a seguir, conforme Diniz (2013):

Co331 (Co213 x Co214): obtida pelo SBI (Sugarcane Breeding Institute) – Coimbatore/Índia e introduzida em Alagoas em 1947. Principais características agroindustriais: alta produtividade agrícola, baixo teor de sacarose, pouco exigente em fertilidade e tolerância a seca.

CB45-3 (Co290 x Co331): Obtida pelo Ministério da Agricultura no Rio de Janeiro e introduzida em Alagoas em 1955. Principais características agroindustriais: alta produtividade agrícola, médio teor de sacarose, e boa brotação da socaria;

Co997 (Co683 x P63/32): Obtida pelo SBI (Sugarcane Breeding Institute) – Coimbatore/Índia e introduzida em Alagoas em 1977. Principais características: boa produtividade agrícola, alto teor de sacarose e elevado perfilhamento;

SP70-1143 (IAC48/65 x ?): Obtida pela COPERSUCAR e introduzida/testada pelo NATT/CRPAAA em 1986. Principais características: alta produtividade agrícola, médio teor de sacarose e boa brotação da socaria;

SP71-1406 (NA56-79 x ?): Obtida pela COPERSUCAR e introduzida/testada pelo NATT/CRPAAA em 1986. Principais características: boa produtividade agrícola, médio teor de sacarose e raro florescimento;

RB72454 (CP56-73 x ?): Selecionada pelo PLANALSUCAR em Alagoas, teve sua liberação em 1987. Principais características: boa produtividade agrícola, alto teor de sacarose e boa adaptabilidade a solos arenosos;

SP71-6949 (NA56-79 x ?): Obtida pela COPERSUCAR e introduzida/testada pelo NATT/CRPAAA em 1993. Principais características: médio teor de sacarose, alta produtividade agrícola e bom fechamento das entrelinhas;

SP79-1011 (NA56-79 x Co775): Obtida pela COPERSUCAR e introduzida/testada pelo NATT/CRPAAA em 1993. Principais características: alto teor de sacarose, alta produtividade agrícola e pouca exigência nutricional;

RB75126 (Co278 x ?): Selecionada e liberada pela RIDESA/UFAL em 1993. Principais características: alta produtividade agrícola, boa brotação da socaria e boa longevidade do canavial;

RB83102 (NA56-79 x SP70-1143): Selecionada e liberada pela RIDESA/UFAL em 1993. Principais características: alta produtividade agrícola, alto teor de sacarose e boa longevidade do canavial;

SP78-4764 (H56-2954 x ?): Obtida pela COPERSUCAR e introduzida/testada pelo NATT/CRPAAA em 2000. Principais características: alta produtividade agrícola, médio teor de sacarose e raro florescimento;

SP81-3250 (CP79-1547 x SP71-1279): Obtida pela COPERSUCAR e introduzida/testada pelo NATT/CRPAAA em 2000. Principais características: alta produtividade agrícola, alto teor de sacarose e pouca exigência nutricional;

VAT90-212 (? x ?): Obtida pela usina Triunfo, de Alagoas e introduzida/testada pelo NATT/CRPAAA em 2000. Principais características: alta produtividade agrícola, médio teor de sacarose e responsiva a irrigação;

RB867515 (RB72454 x ?): Seleccionada pelo PLANALSUCAR em Minas Gerais e liberada pela RIDESA/UFV em 1997 e introduzida/testada pela RIDESA/UFAL em 2001. Principais características: alta produtividade agrícola, alto teor de sacarose e rápido desenvolvimento;

RB92579 (RB75126 x RB72199): Seleccionada e liberada pela RIDESA/UFAL em 2003. Principais características: alta produtividade agrícola, alto teor de sacarose e variedade destaque da última década;

RB93509 (RB72454 x ?): Seleccionada e liberada em 2003 pela RIDESA/UFAL. Principais características: alta produtividade agrícola, médio teor de sacarose e maturação média tardia;

RB931003 (RB72454 x RB835089): Seleccionada e liberada em 2010 pela RIDESA/UFAL. Principais características: alta produtividade agrícola, médio teor de sacarose, apresenta tolerância a seca e rápido desenvolvimento;

RB931011 (RB83160 x RB72454): Seleccionada e liberada em 2010 pela RIDESA/UFAL. Principais características: média produtividade agrícola, médio teor de sacarose e apresenta adaptabilidade a solos arenosos;

RB951541 (RB72454 x SP79-1011): Seleccionada e liberada em 2010 pela RIDESA/UFAL. Principais características: média produtividade agrícola, alto teor de sacarose e alta longevidade;

RB98710 (SP81-3250 x RB93509): Seleccionada e liberada em 2010 pela RIDESA/UFAL. Principais características: alta produtividade agrícola, alto teor de sacarose e elevado perfilhamento;

RB99395 (RB867515 x ?): Seleccionada e liberada em 2010 pela RIDESA/UFAL. Principais características: alta produtividade agrícola, alto teor de sacarose e maturação precoce.

2.5 Parâmetros genéticos

O sucesso de qualquer programa de melhoramento depende da existência da variabilidade genética do seu banco de germoplasma, e a correta utilização dos métodos de melhoramento. Assim, a quantificação da variabilidade genética e a estimativa de parâmetros genéticos são de grande importância para qualquer programa

de melhoramento vegetal, pois permitem a otimização sobre o controle dos diferentes caracteres de importância econômica, comparar e escolher qual o melhor método de seleção e obter conhecimentos sobre a estrutura genética da população (RAMALHO et al., 2004).

Através dos parâmetros genéticos é possível identificar a magnitude da variabilidade genética, os efeitos ambientais, às herdabilidades dos caracteres estudados, a variância genética aditiva e de dominância, e a variância genotípica no caso de plantas propagadas assexuadamente. Esses parâmetros permitem verificar os efeitos envolvidos na obtenção de futuras populações melhoradas (VENCOSVSKY; BARRIGA, 1992; RAMALHO et al., 2004).

Diversos parâmetros genéticos são estudados em uma população, e entre eles podem ser citados: variância genotípica, variância ambiental, variância fenotípica, herdabilidade, coeficiente de variação genético, coeficiente de variação ambiental, coeficiente de variação fenotípica, razão dos coeficientes de variação genética/ambiental. Porém, o parâmetro mais usado é a herdabilidade, devido ao fato de levar em consideração todos os componentes de variância (FALCONER, 1987). A herdabilidade refere-se à proporção relativa das influências genéticas na manifestação fenotípica dos caracteres, ou seja, reflete a proporção da variação fenotípica que pode ser herdada. Uma de suas principais utilidades é a possibilidade de se estimar o ganho esperado com a seleção (RAMALHO et al, 2004). A herdabilidade pode ser estimada no sentido amplo ou restrito. No sentido amplo diz respeito à variância genotípica pela variância fenotípica, e no sentido restrito corresponde à variância genética aditiva pela variância fenotípica (RESENDE, 2002). Ainda conforme o autor, a herdabilidade, tanto no sentido amplo quanto restrito, pode variar de zero a um. Quando atinge valor igual a zero, a variação da característica estudada não tem origem genética, sendo portanto, devido apenas às fatores ambientais. Já quando alcança valor igual a um, as diferenças fenotípicas existentes entre os indivíduos são totalmente de origem genética. A herdabilidade também pode ser expressa em porcentagem, variando de 0 a 100%.

De acordo com Barbin (1993) os componentes de variância são definidos como variâncias associadas aos efeitos aleatórios de um modelo estatístico, sendo o seu conhecimento de crucial importância na área de genética e melhoramento de plantas, pois as estratégias de seleção a serem utilizadas dependem de informações que podem

ser obtidas a partir desses componentes, no qual podem ser estimados pela análise de variância, onde se igualam os quadrados médios (QM) de cada fonte de variação obtidos da tabela de análise de variância, aos seus respectivos valores esperados ($E(QM)$).

2.6 Marcadores moleculares aplicados ao melhoramento genético da cana-de-açúcar

O uso de técnicas moleculares na cana começou no final da década de oitenta, quando geneticistas e melhoristas examinaram vários tipos de marcadores de DNA e sua utilidade no melhoramento genético da cana-de-açúcar (PAN, 2006). Essa técnica permite analisar a variabilidade em nível de DNA, resultando em um agrupamento de indivíduos com características semelhantes, proporcionando planejar os cruzamentos, obtendo melhores resultados em um tempo menor (SANTOS et al., 2012).

No entanto, a cana-de-açúcar ficou atrás de outras culturas na utilização de marcadores moleculares, por causa de sua complexidade genética, ao contrário de seus parentes diploides como o milho, que apresenta genoma mais simples e pode ser explorado com maior eficácia (ALWALA et al., 2009). No complexo poliploide da cana-de-açúcar, a análise dos dados gerados pela amplificação de marcadores do tipo microssatélite (SSR) é tecnicamente mais exigente do que para os organismos mais simples, devido ao padrão de bandas obtidas como resultado de múltiplas cópias que estão presentes nos cromossomos (GLYNN et al., 2009). O emprego dessa tecnologia representa uma ferramenta valiosa para a análise do genoma, podendo contribuir para aumentar o rendimento e eficiência em programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar. Em 1997, foi feito um esforço pelo consórcio internacional para a biotecnologia da cana-de-açúcar a fim de desenvolver e avaliar sequências de oligonucleotídeos. Marcadores foram desenvolvidos a partir de uma biblioteca enriquecida de microssatélites mostrando ter a capacidade de distinguir genótipos de cana-de-açúcar, devido à sua habilidade de detectar grande número de alelos (CORDEIRO et al., 2000). Já em 2001 foi concluído o projeto de sequenciamento de EST de cana-de-açúcar (SUCEST), que permite uma avaliação global da expressão de genes em cana, já que abrange 26 bibliotecas de cDNA de raízes, plântulas, caules, folhas, flores e sementes, bem como calos submetidos a estresses abióticos e mudas infectadas com bactérias diazotróficas endofíticas (VETTORE et al., 2001).

Marcadores moleculares são fragmentos de DNA que permitem a distinção de indivíduos geneticamente distintos (BORÉM e SANTOS, 2004). Um marcador molecular é definido como um segmento específico do DNA que é representante ou não das diferenças em nível do genoma (SANTOS et al., 2012). Marcadores moleculares podem ou não se correlacionar com expressão fenotípica de uma característica. Os marcadores moleculares oferecem numerosas vantagens em relação às alternativas convencionais baseadas no fenótipo, pois são estáveis e detectáveis em todos os tecidos independentemente do estágio da planta e não ser confundido com efeitos ambientais, pleiotrópicos (múltiplos efeitos resultantes de um único gene) ou epistático (interações genéticas) (AGARWAL et al., 2008).

Diversos processos em genética molecular têm sido criados para caracterizar genótipos de cana-de-açúcar, sendo os marcadores moleculares de DNA os mais corriqueiros (DUARTE FILHO et al., 2010). Com a descoberta da PCR (polimerase chain reaction) vários marcadores foram desenvolvidos, como por exemplo: marcadores baseado em PCR é SSR (simple sequence repeats) (GARCIA et al., 2006).

Microsatélites (SSR) são sequências simples repetidas, formados por unidades que alteram de 1 a 6 nucleotídeos e variam em número de repetição em até mais de 100 vezes (WEBER e MAY, 1989). Têm sido classificados de diversas formas dependendo de seu tamanho, tipo de unidade de repetição e sua localização no genoma. Dependendo do número de nucleotídeos por unidade de repetição, SSR têm sido classificadas como mono-, di-, tri-, tetra-, penta ou hexanucleotídeo (KALIA et al., 2011). Dependendo das diferentes repetições encontradas podem ser divididas em: (a) repetições perfeitas, quando não apresentam nenhuma interrupção; (b) Repetições imperfeitas, quando são interrompidas por bases não repetidas; (c) repetições compostas, quando duas ou mais repetições de microsatélites estão dispostas adjacentes; e (d) repetições simples, quando o microsatélite é formado por apenas uma repetição (CAIXETA et al., 2009). Com base em sua localização no genoma, microsatélites podem ser classificados como nuclear (nuSSR), mitocondrial (mtSSR) ou cloroplásticos (cpSSR) (KALIA et al., 2011).

Os altos graus de variação alélica revelados por estes marcadores resultam das diferenças no número de unidades de repetição causada por crossing-over ou pelo deslizamento da DNA polimerase durante a replicação (SELVI et al., 2003, TEW e PAN, 2010).

Os marcadores SSR apresentam algumas vantagens: são encontrados com frequência nos genomas, também são distribuídos nos genomas de muitos organismos eucariontes, geralmente mostram um alto nível de polimorfismo e são codominantes (identificam indivíduos heterozigotos). A implantação de SSR necessita apenas da metodologia de PCR e uma pequena quantidade de DNA. Por essas razões, os marcadores do tipo microssatélites são mais aplicáveis para seleção assistida por marcadores moleculares do que outro sistema de marcadores genéticos (EK et al., 2005).

Na análise de agrupamento entre cultivares, tem sido adotado, como medida de dissimilaridade o índice de Jaccard e, como técnica de agrupamento, o método de Ward. A análise de agrupamento consiste no uso de técnicas que permitem reunir, por algum critério de classificação, unidades amostrais em grupos de maneira que as unidades sejam similares dentro do grupo e com heterogeneidade entre os grupos (CRUZ e REGAZZI, 2004). Este método foi utilizado originalmente para variáveis quantitativas, mas passou posteriormente a ser utilizado também para variáveis qualitativas. O método minimiza a soma de quadrados dentro dos grupos e maximiza a soma entre grupos. A estratégia de Ward é um algoritmo que procura partições dos grupos próximos àqueles ótimos, sendo que a estratégia não conduz necessariamente à partição ótima, mas, em muitos casos, a aproximação será considerada satisfatória na prática (ASENSIO, 1989).

A aplicação dos métodos hierárquicos permite a apresentação dos resultados sob forma de dendrograma. Este é um diagrama em forma de árvore que mostra a subdivisão dos grupos formados, buscando máxima homogeneidade entre os indivíduos no grupo e máxima heterogeneidade entre os grupos (SNEATH; SOKAL, 1973).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento de avaliação das cultivares

Em fevereiro de 2012 foi instalado um experimento com 21 cultivares de cana-de-açúcar na Usina Sinimbu-AL (09°46'S, 36°06'W e 112 m), num Latossolo Vermelho Amarelo Eutrófico, com precipitação pluvial do período de cultivo de 1.190 mm. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições. A parcela foi composta de três linhas duplas de sete metros, no espaçamento de 1,50 m x 0,80 m, com área útil de 48,3 m². Foi feita irrigação por aspersão, aplicando-se quatro lâminas de 30 mm, sendo uma na instalação do experimento e as demais, aos nove, dez e onze meses de idade da cana.

As cultivares avaliadas – aquelas que apresentaram acima de 3% da área cultivada em pelo menos uma safra alagoana entre 1975 e 2010, estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1: Descrição das cultivares, genitores, instituição obtentora e ano de introdução ou liberação (I/L) em Alagoas nas últimas quatro décadas.

CULTIVAR	GENITORES (F x M)	INSTITUIÇÃO OBTENTORA	ANO (I/L)*
Co331	Co213 x Co214	SBI, Coimbatore/Índia	1947 (I)
CB45-3	Co290 x Co331	Ministério da Agricultura/Campos-RJ	1955 (I)
Co997	Co683 x P63/32	SBI, Coimbatore/Índia	1977 (I)
SP70-1143	IAC48/65 x ?	COPERSUCAR	1986 (I)
SP71-1406	NA56-79 x ?	COPERSUCAR	1986 (I)
RB72454	CP53-76 x ?	PLANALSUCAR	1986 (L)
SP71-6949	NA56-79 x ?	COPERSUCAR	1993 (I)
SP79-1011	NA56-79 x Co775	COPERSUCAR	1993 (I)
RB75126	Co278 x ?	RIDESA/UFAL	1993 (L)
RB83102	NA56-79 x SP70-1143	RIDESA/UFAL	1993 (L)
SP78-4764	H56-2954 x ?	COPERSUCAR	2000 (I)
SP81-3250	CP79-1547 x SP71-1279	COPERSUCAR	2000 (I)
VAT90-212	? x ?	Usina Triunfo - Alagoas	2000 (I)
RB867515	RB72454 x ?	RIDESA/UFV	2001 (I)
RB92579	RB75126 x RB72199	RIDESA/UFAL	2003 (L)
RB93509	RB72454 x ?	RIDESA/UFAL	2003 (L)
RB931003	RB72454 x RB835089	RIDESA/UFAL	2010 (L)
RB931011	RB83160 x RB72454	RIDESA/UFAL	2010 (L)
RB951541	RB72454 x SP79-1011	RIDESA/UFAL	2010 (L)
RB98710	SP81-3250 x RB93509	RIDESA/UFAL	2010 (L)
RB99395	RB867515 x ?	RIDESA/UFAL	2010 (L)

*Fonte: Barbosa (2014).

3.2. Variáveis agroindustriais avaliadas

Em fevereiro de 2013, aos doze meses de idade da cana, procedeu-se a colheita do experimento, pesando-se todos os colmos da parcela com o auxílio de uma balança digital. Com esses resultados, estimou-se a produtividade agrícola da parcela, em Tonelada de cana por hectare (TCH).

Na ocasião da colheita, retirou-se um feixe de cana de cada parcela, composto por dez colmos escolhidos ao acaso, para análise no laboratório de qualidade da matéria-prima da Usina Santo Antônio, conforme metodologia CONSECANA/ALAGOAS (SINDAÇÚCAR, 2015), de acordo com os procedimentos a seguir descritos:

- As canas de cada feixe foram trituradas em aparelhos desintegradores, com índice de preparo mínimo de 85% (oitenta e cinco por cento), homogeneizadas, coletando-se 500 g da amostra final. Essa amostra foi submetida a uma prensa hidráulica, com pressão constante de 250 kgf/cm², durante o tempo de 1 (um) minuto, onde extraíram-se o caldo da cana e o peso do bolo úmido (PBU).

- Fibra industrial da cana, em % (FIB): calculada com base no PBU pela seguinte expressão padrão de Alagoas:

$$FIB = 0,0779 PBU + 2,3136$$

- Sólidos solúveis totais do caldo, em % (BRIX): realizada em refratômetro digital de leitura automática, com correção automática de temperatura, com saída para registro magnético, com o valor final expresso a 20°C.

- Pol da cana, em % (POL): calculada pela expressão:

$$POL = Pol_{ex} (1 - 0,01FIB) C$$

Onde: Pol_{ex} é a leitura em polarímetro da Pol do caldo (%) extraído

FIB = Fibra industrial da cana, em %.

C = coeficiente de transformação da Pol % caldo extraído em Pol % caldo absoluto, calculado pela expressão:

$$C = 1,0313 - 0,00575 (FIB)$$

- Açúcares redutores do caldo, em % (AR), determinado pela expressão:

$$AR = 3,3459 - 0,02871 Pza$$

Onde: Pza = pureza aparente do caldo, expressa em porcentagem.

$$Pza = 100 \frac{Pol\ caldo}{BRIX}$$

- Cor do caldo em unidades ICUMSA (COR): a determinação do índice de cor das amostras foi realizada segundo o método da Comissão Internacional para Unificação dos Métodos de Análise Açucareira (ICUMSA, 1994) ajustadas para amostras líquidas. Os pH's das amostras foram ajustados para $5,5 \pm 0,5$ e o BRIX para 1,25 com água deionizada. As soluções foram filtradas em membrana de $0,45\ \mu\text{m}$ (Millipore). Em seguida foi determinada a absorbância em espectrofotômetro (UV-Vis Spectrophotometer) a 420 nm, usando água deionizada como solução de referência. A COR foi determinada a partir do seguinte equacionamento.

$$COR = \frac{(1000 - \log T)}{(b) (C)}$$

Onde: “T” é a transmitância da solução amostra lida; “b” é o comprimento da cela de absorção, em cm; e “C” é a concentração da amostra diluída, em g/mL, calculada em função da concentração (BRIX) e densidade, conforme a equação:

$$C = \frac{(BRIX) (densidade)}{100}$$

Além dessas características de qualidade industrial da cana, foram determinadas por meio de HPLC, os verdadeiros Teores de sacarose, glicose e frutose, conforme o procedimento descrito por (MASUDA et al., 1996).

As análises dos Teores de sacarose, glicose e frutose foram feitas por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE/HPLC). Foi utilizado um sistema cromatográfico Waters composto de bomba quaternária modelo 600, degaseificador em linha, injetor automático modelo 717 e detector de fluorescência 474. Os dados foram adquiridos e processados através do software Millenium 32. Para a separação dos compostos foi empregada uma coluna C18 polimérica (Vydac 201 TP54, 25 cm, 4,6 mm d.i., partículas de $5\ \mu\text{m}$, estabilizada a $30\ ^\circ\text{C}$) e fase móvel composta por acetonitrila-água (75:25, v.v⁻¹) a um fluxo de $1\ \text{mL}.\text{min}^{-1}$. A detecção foi feita em comprimentos de onda de 290 nm (excitação) e 430 nm (emissão). O volume de injeção foi de $30\ \mu\text{L}$. Para a quantificação foi utilizado o método de padronização externa. A

identidade dos compostos foi confirmada através da comparação dos tempos de retenção dos picos das amostras, com os dos padrões de cromatografia.

Por último, estimou-se o resultado de rendimento agroindustrial, expresso em Toneladas de pol por hectare (TPH), por meio da expressão:

$$TPH = \frac{(TCH) (POL)}{100}$$

3.3 Análises estatísticas e estimativas de parâmetros genéticos

Os dados obtidos das variáveis agroindustriais foram submetidos à análise de variância (Teste F), sendo usado o programa estatístico Sisvar v. 5.3 (FERREIRA, 2010), considerando-se o seguinte modelo matemático linear:

$$y_{ij} = m + c_i + b_j + e_{ij}$$

Onde:

y_{ij} : é a observação da i-ésima cultivar ($i = 1, 2, \dots, I$), no j-ésimo bloco ($j = 1, 2, \dots, J$);

m : é a média geral;

c_i : é o efeito da i-ésima cultivar;

b_j : é o efeito do j-ésimo bloco (repetição).

e_{ij} : é o erro aleatório associado a cada observação y_{ij} ;

O esquema representativo da análise de variância está apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Esquema representativo para obtenção da análise de variância.

CAUSA DE VARIAÇÃO	GL	SQ	QM	F
CULTIVARES (C)	I-1	SQC	QMC	QMC/QMR
BLOCOS (B)	J-1	SQB	QMB	-
RESÍDUO (R)	(I-1) (J-1)	SQR	QMR	

Para cada característica fez-se agrupamentos de médias das cultivares, utilizando-se o procedimento de Skott-Knott (1974) a 5% de probabilidade de erro.

Utilizando-se o programa Genes (CRUZ, 2006), e com base nos quadrados médios da análise de variância, foram obtidos os componentes de variâncias, que forneceram as estimativas dos parâmetros genéticos, conforme Venkovisky (1992):

$$\text{Variância genotípica: } \hat{\sigma}_g^2 = \frac{QMC - QMR}{J}$$

$$\text{Variância ambiental em termos de médias: } \hat{\sigma}_e^2 = \frac{QMR}{J}$$

$$\text{Variância fenotípica em termos de médias: } \hat{\sigma}_f^2 = \hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_e^2$$

$$\text{Herdabilidade no sentido amplo em termos de médias: } \hat{h}_m^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_f^2}$$

$$\text{Coeficiente de variação genético: } CV_g(\%) = 100 \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\text{Média geral do ensaio}}$$

$$\text{Coeficiente de variação ambiental: } CV_e(\%) = 100 \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_e^2}}{\text{Média geral do ensaio}}$$

$$\text{Coeficiente de variação fenotípico: } CV_f(\%) = 100 \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_f^2}}{\text{Média geral do ensaio}}$$

$$\text{Razão entre os Coeficientes de Variação genético/ambiental} = \frac{CV_g}{CV_e}$$

3.4 Avaliação da divergência genética por meio de SSR

3.4.1 Procedimentos laboratoriais

Foram coletadas no campo experimental folhas jovens (Folha +1) de cada uma das 21 cultivares deste estudo para extração de DNA, seguindo o protocolo Saghai-Marrof et al., (1984). Após a extração, a qualidade do DNA genômico foi avaliada por eletroforese em gel de agarose (1%) visualizados com Brometo de etídio, sendo posteriormente padronizado na concentração de 5 ng.µL⁻¹ (mantido a -20°C), para gerar reações de polimerase em cadeia (PCR).

Na amplificação dos locos via PCR foram utilizados, inicialmente, 03 pares de *primers* SSR desenvolvidos por (DUARTE FILHO et al., 2010), cuja sequência forward foi marcada com fluorocromo específico, de forma a permitir a montagem de painéis. As reações de PCR foram realizadas via touchdown, reduzindo a temperatura em 1,0°C por ciclo, sendo necessária uma etapa inicial de 94°C por 15 minutos para a ativação da enzima. Posteriormente, o produto da PCR das 21 cultivares foi submetido ao analisador automático ABI PRISM 3100 para a análise dos fragmentos microssatélites fluorescentes, utilizando-se o software GenneMapper.

3.4.2 Análise dos dados moleculares

Foi realizada a análise de agrupamento entre as cultivares, adotando-se, como medida de dissimilaridade o índice de Jaccard e, como técnica de agrupamento, o método de Ward. A análise de agrupamento consiste no uso de técnicas que permitem reunir, por algum critério de classificação, unidades amostrais em grupos de maneira que as unidades sejam similares dentro do grupo e com heterogeneidade entre os grupos (CRUZ e REGAZZI, 2004).

O índice de Jaccard é dado por:

$$C_{ij} = 1 - \frac{a}{a + b + c}$$

Sendo:

a: número de coincidência do tipo 1 e 1.

b: número de discordância do tipo 1 e 0.

c: número de discordância do tipo 0 e 1.

Onde 1 é a presença de banda e zero (0) a ausência de banda.

O número de bandas polimórficas, número de bandas monomórficas e o conteúdo de polimorfismo (PIC) que é obtido através da expressão $1 - \sum pu^2$, onde pu^2 é a frequência do alelo u elevado à segunda potência; e foram alcançados através da metodologia usada por (TESSIER, 1999).

Para a análise dos resultados, foram utilizados os recursos computacionais do programa “R” (FERREIRA, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises de variâncias e agrupamento de médias das cultivares pelo procedimento de Scott-Knott

Para todas as variáveis avaliadas houve diferença significativa a 1% de probabilidade de erro ($p < 0,01$) pelo Teste F (Tabela 3). O agrupamento das cultivares avaliadas nesse estudo pelas médias de cada característica, foram feitas por meio do procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro.

Tabela 3: Quadrados médios das variáveis Tonelada de cana por hectare (TCH), Fibra industrial da cana (%) (FIB), Sólidos solúveis totais do caldo (%) (BRIX), Pol % caldo (POL), Açúcares redutores do caldo (%) (AR), Teor de sacarose (SAC), Teor de glicose (GLI), Teor de frutose (FRU), Cor do caldo em unidades ICUMSA (COR), e Tonelada de pol por hectare (TPH), avaliados aos dose meses de idade da cana-de-açúcar no experimento conduzido na Usina Sinimbu-AL, entre fevereiro de 2012 a fevereiro de 2013.

CAUSAS DE VARIAÇÃO	GL	QUADRADOS MÉDIOS									
		TCH	FIB	BRIX	POL	AR	SAC	GLI	FRU	COR	TPH
BLOCO (B)	3										
CULTIVAR (C)	20	403,23**	0,57**	6,14**	5,69**	0,92**	12,67**	0,28**	0,19**	48414125,21**	18,63**
RESÍDUO (R)	60	42,57	0,11	0,29	0,30	0,14	1,48	0,04	0,03	16148176,37	1,35
MÉDIA		76,11	13,71	20,08	17,07	1,50	17,60	0,85	0,66	18493,30	13,02

** : significativo a 1 % de probabilidade de erro pelo teste F.

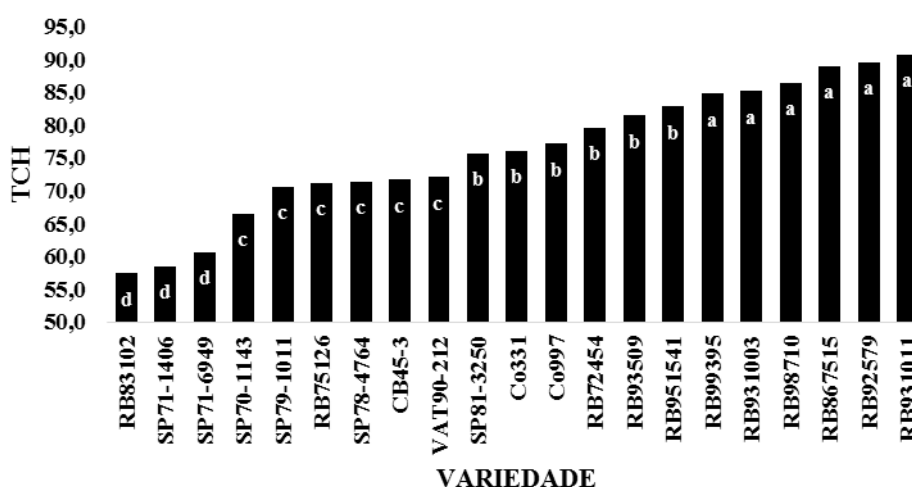
Tonelada de cana por hectare - TCH

A produtividade agrícola média do experimento foi de 76,11 TCH (Tabela 3). O baixo valor dessa característica neste experimento se deveu à grande redução da precipitação pluvial do período de cultivo (1.190 mm, sendo 33% inferior à média normal da região). Registre-se que nos ensaios do PMGCA-UFAL, a média histórica para TCH observada em 574 experimentos colhidos foi de 101,97, com mínimo de 36,30 e máximo de 180,83 toneladas de cana por hectares (PMGCA-UFAL, 2015).

Houve a formação de quatro grupos pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro (Figura 2): um de menor produtividade agrícola média (grupo d), constituído por RB83102, SP71-1406 e SP71-6949; dois grupos intermediários, (c)

composto por SP70-1143, SP79-1011, RB75126, SP78-4764, CB45-3 e VAT90-212 e (b) com SP81-3250, Co331, Co997, RB72454, RB93509 e RB951541; e um grupo de maior produtividade agrícola média (a), com seis cultivares RB99395, RB931003, RB98710, RB867515, RB92579 e RB931011. Vale destacar que essas seis cultivares do grupo de maior produtividade agrícola média representaram 47,3% da área cultivada em Alagoas em 2012, conforme Chapola et al. (2013). Na liberação da RB92579 pela UFAL em 2003, sua produtividade agrícola foi 24,3% superior a produtividade da SP79-1011, que era a variedade mais cultivada no Estado antes dessa liberação (BARBOSA, et al., 2003). Enquanto isso, neste ensaio, verificou-se superioridade em produtividade agrícola da RB92579 em relação à SP79-1011 de 26,9%. Segundo Barbosa (2008), as cultivares RB867515, RB92579 e RB93509 têm apresentado vantajosas produtividades agroindustriais, com 30% a 40% acima da SP79-1011 e da SP81-3250, e 60% acima das outras plantadas há duas décadas. Neste experimento observou-se a superioridade de 48,87%, do grupo “a” composto por genótipos cultivados atualmente, para o grupo “d” composto por genótipos cultivados há duas décadas. Outros trabalhos avaliaram agrupamento de cultivares para TCH, sendo observado ganhos do grupo mais produtivo para o menos produtivo de 64,46% em Pernambuco (LIMA NETO et al., 2013), 91,38% em Pernambuco (DUTRA FILHO et al., 2011) e de 23,55% em Alagoas (SANTOS et al., 2008).

Figura 2: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Tonelada de cana por hectare (TCH). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



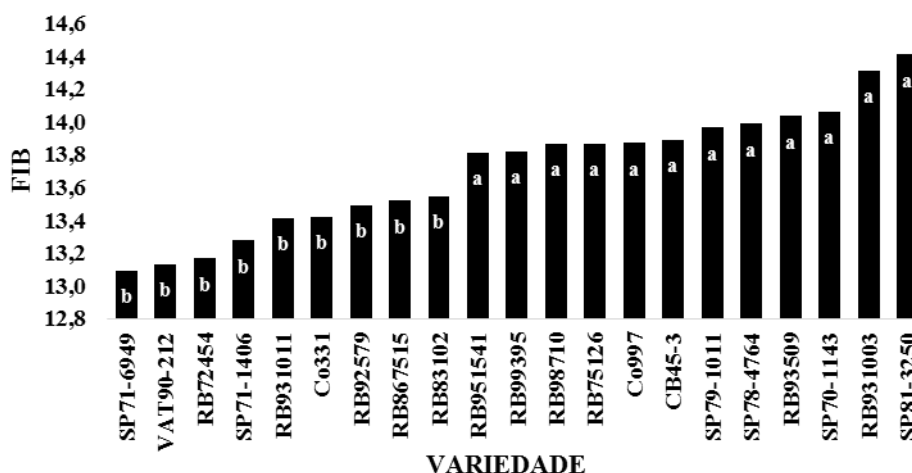
Fonte: o autor.

Fibra industrial da cana (%) - FIB, Sólidos solúveis totais do caldo (%) - BRIX, Pol % caldo - POL, Açúcares redutores do caldo - AR

Para as características de qualidade da matéria-prima, determinada pelo método CONSECANA/ALAGOAS (SINDAÇUCAR-AL, 2015), observaram-se as seguintes médias: FIB (13,71%), BRIX (20,08), POL (17,07%) e AR (1,50%). É interessante notar que estudos realizados em Alagoas em 1985 para avaliar a qualidade da matéria-prima apresentaram os seguintes valores médios: FIB (14,50%), BRIX (19,51%) e POL (15,95%) (OLIVEIRA, 1985). No presente estudo, FIB foi inferior, sendo BRIX e POL superiores aos valores observados em 1985 em Alagoas. Também observe-se que para as características FIB e POL, nos ensaios do PMGCA-UFAL as médias históricas são de 13,76% e 14,41%, respectivamente, com mínimo de 10,32% para FIB e 10,64% para POL, e máximo de 17,10% para FIB e 17,23% para POL (PMGCA-UFAL, 20015). A média do ensaio para a característica AR foi alta (1,5%). Açúcares redutores quando em teores elevados mostram um estágio pouco adiantado de maturação da cana, além da presença de outras substâncias indesejáveis ao processamento (FERNANDES, 2003).

Ocorreu a formação de dois grupos para FIB pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro (Figura 3): um de menor teor médio (grupo b), com nove cultivares: SP71-6949, VAT90-212, RB72454, SP71-1406, RB931011, Co331, RB92579, RB867515 e RB83102; e um grupo com maior teor médio de FIB (grupo a), constituído pelas cultivares RB951541, RB99395, RB98710, RB75126, Co997, CB45-3, SP79-1011, SP78-4764, RB93509, SP70-1143, RB931003 e SP81-3250. Apesar da formação de dois grupos diferentes, a maioria das cultivares apresentaram médias de teor de fibra num intervalo desejável, que é entre 12 e 14% (RIPOLI; RIPOLI, 2004). Trabalhos realizados em Pernambuco, entre os anos de 2008 a 2010 observaram-se variação de FIB de 13,22 a 15,17% (LIMA NETO et al., 2013), de 14,06 a 15,10% (DUTRA FILHO et al., 2011) e de 14,63 a 16,24% (SILVA et al., 2008).

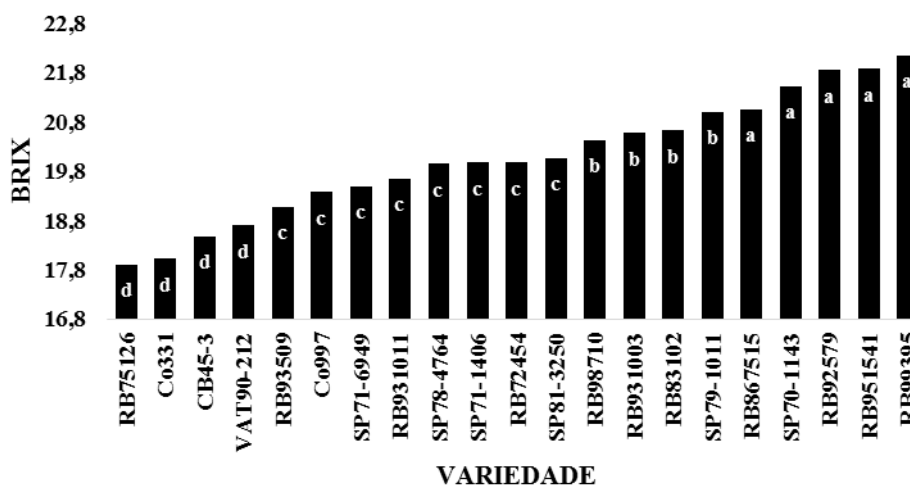
Figura 3: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Fibra industrial da cana (%) (FIB). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



Fonte: o autor.

Para Brix (Figura 4): formaram-se quatro grupos pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro: um com menores valores médios, representado por RB75126, Co331, CB45-3 e VAT90-212; um grupo com valores médios baixos/intermediários: RB93509, Co997, SP71-6949, RB931011, SP78-4764, SP71-1406, RB72454 e SP81-3250; um grupo com valores médios intermediários/altos: RB98710, RB931003, RB83102, SP79-1011 e RB867515; e um grupo com altos valores médios de BRIX: SP70-1143, RB92579, RB951541 e RB99395. Com isso, verificou-se superioridade em BRIX das cultivares do grupo “a” em relação ao grupo “d” de 19,53%. Observou-se também variação de BRIX das cultivares, entre 17,90% e 22,15%, amplitude bem maior que a relatada por Oliveira (1985) para a safra 1984/85 do Estado de Alagoas (18,00% a 20,52%). Lima Neto et al. (2013) e Dutra Filho et al. (2011), avaliando genótipos de cana-de-açúcar em Pernambuco, não observaram formação de grupos distintos para esta características.

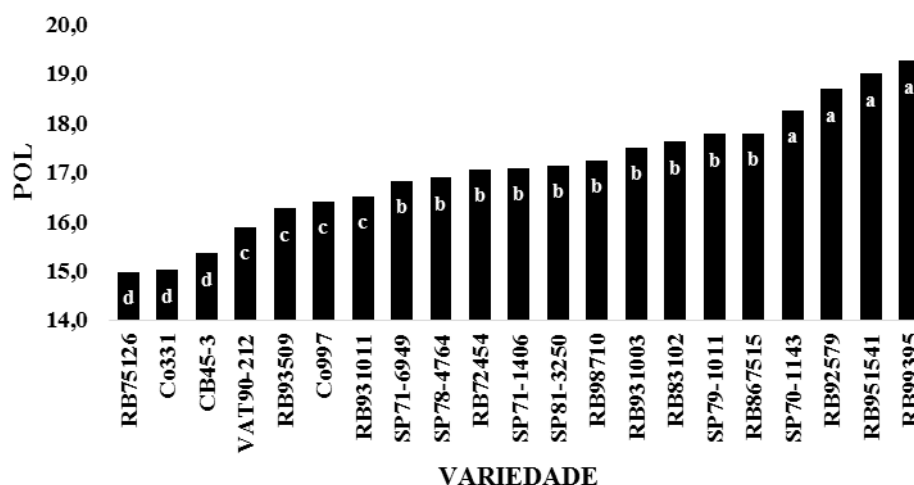
Figura 4: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica sólidos solúveis do caldo da cana (BRIX). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



Fonte: o autor.

O agrupamento das cultivares denotou quatro categorias para POL (Figura 5) pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro: um grupo com menores médias de POL (grupo d), RB75126, Co331 e CB45-3; dois grupos apresentando valores médios intermediários (grupo c) VAT90-212, RB93509, Co997 e RB931011 e (grupo b) SP71-6949, SP78-4764, RB72-454, SP71-1406, SP813250, RB98710, RB931003, RB83102, SP79-1011 e RB867515; e outro grupo com valores médios elevados de POL (grupo a) SP70-1143, RB92579, RB951541 e RB99395. Neste ensaio, detectou-se superioridade de 24,34% em POL das cultivares do grupo “a” em relação ao grupo “d”. Barbosa et al. (2015) concluíram que RB99395 é uma cultivar com altíssimo teor de sacarose aparente (POL), superior a todas as demais testadas/liberadas pelo PMGCA-UFAL. Trabalhos realizados em Pernambuco avaliaram agrupamento de cultivares em relação a esta característica, sendo verificado aumento percentual dos genótipos do grupo superior em relação ao grupo inferior de 6,94% (LIMA NETO et al., 2013) e 21,16% (SILVA et al., 2008).

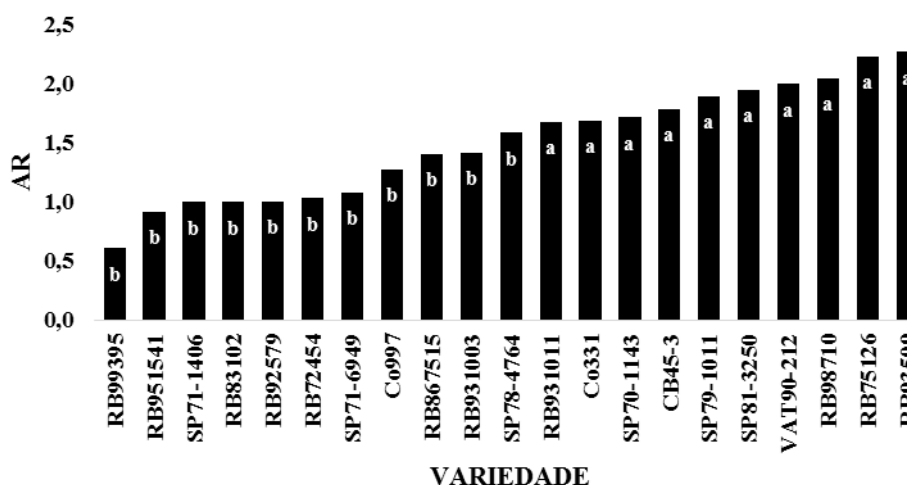
Figura 5: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Pol % caldo (POL). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



Fonte: o autor.

Observou-se a formação de dois grupos, superiores e inferiores para a variável AR pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro (Figura 6). As cultivares SP78-4764, RB931011, Co331, SP70-1143, CB45-3, SP79-1011, SP81-3250, VAT90-212, RB98710, RB75126 e RB93509 foram alocadas no grupo de valores superiores “a”; e as cultivares RB99395, RB951541, SP71-1406, RB83102, RB92579, RB72454, SP71-6949, Co997, RB867515 e RB931003 foram alocadas no grupo de valores inferiores “b”. Neste ensaio, detectou-se superioridade de 79,44% entre as cultivares do grupo de maior teor de AR em relação ao grupo de menor teor. Dutra Filho et al. (2011), em Pernambuco, não observaram formação de grupos distintos entre as cultivares de cana-de-açúcar para essa característica.

Figura 6: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica açúcares redutores do caldo (%) (AR). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



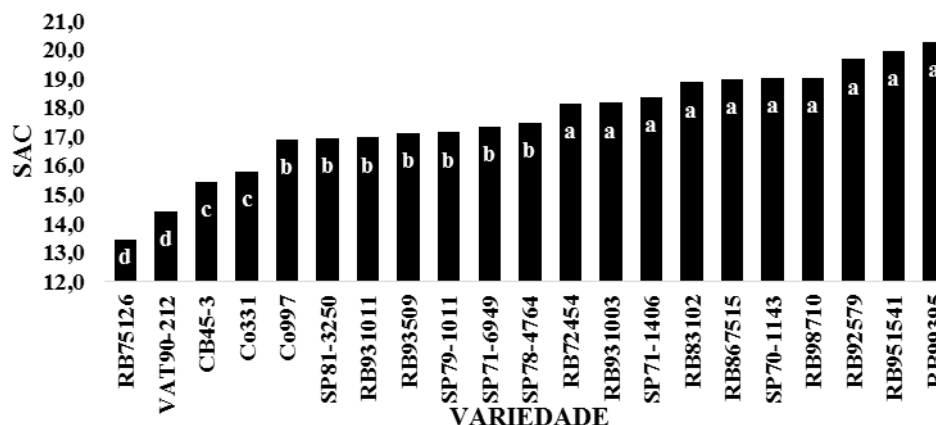
Fonte: o autor.

Teor de sacarose - SAC, Teor de glicose - GLI, Teor de frutose - FRU

Por meio do equipamento HPLC, foram verificadas as seguintes médias: SAC (17,60%), GLI (0,85%) e FRU (0,66%). Notou-se que os valores obtidos para açúcares redutores foram semelhantes pelos dois procedimentos (polarimetria e HPLC), mas o teor de sacarose obtido pelo HPLC foi 3,1% superior ao obtido pelo método polarimétrico. Tai e Miller (2002) observaram superioridade para o método HPLC de 6,5% de sacarose em relação ao polarimétrico.

Para SAC (Figura 7), as cultivares RB99395, RB951541, RB92579, RB98710, SP70-1143, RB867515, RB83102, SP71-1406, RB931003 e RB72454, foram superiores as demais e enquadradas no grupo “a” pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro. Já as cultivares SP78-4764, SP71-6949, SP79-1011, RB93509, RB931011, SP81-3250 e Co997 se enquadraram no grupo “b” que juntamente com o grupo “c” composto por Co331 e CB45-3 formaram os grupos intermediários. O grupo “d” composto por VAT90-212 e RB75126 apresentou os menores valores médios para o teor de sacarose. Este ensaio detectou superioridade em SAC de 36,83% das cultivares do grupo “a” em relação as cultivares do grupo “d”. No corrente trabalho a cultivar de melhor resultado foi RB99395 apresentando ganho em relação a cultivar CB45-3 de 31,32%. Barbosa (2014) também relata ganho em SAC de 36,18% da RB99395 em relação à CB45-3.

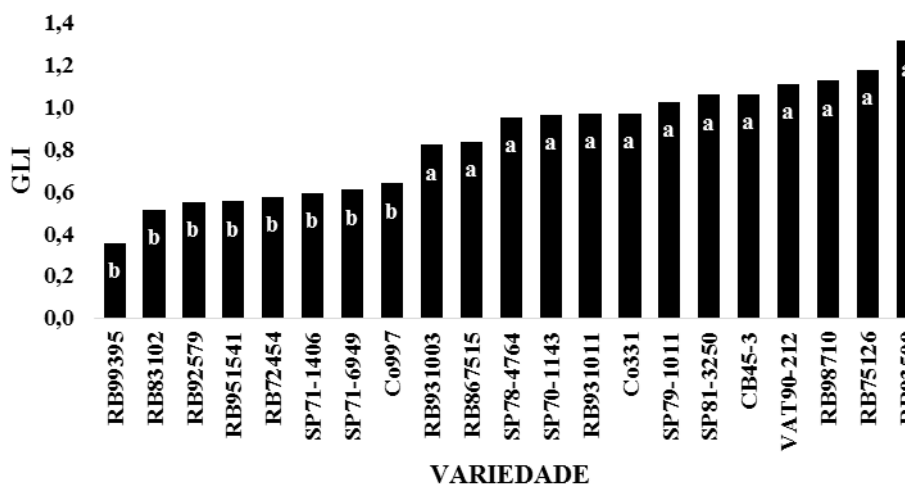
Figura 7: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Teor de sacarose (SAC). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



Fonte: o autor.

Para GLIC (Figura 8), as cultivares RB93509, RB75126, VAT90-212, CB45-3, SP81-3250, SP79-1011, Co331, RB931011, SP70-1143, SP78-4764, RB867515 e RB931003 foram as que se enquadraram no grupo “a” pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro; e as cultivares RB99395, RB83102, RB92579, RB951541, RB72454, SP71-1406, SP71-6949 e Co997 foram alocadas no grupo de valores inferiores “b”. No presente ensaio, verificou-se superioridade de 87,27% das cultivares do grupo de maior teor de glicose em relação ao grupo de menor teor.

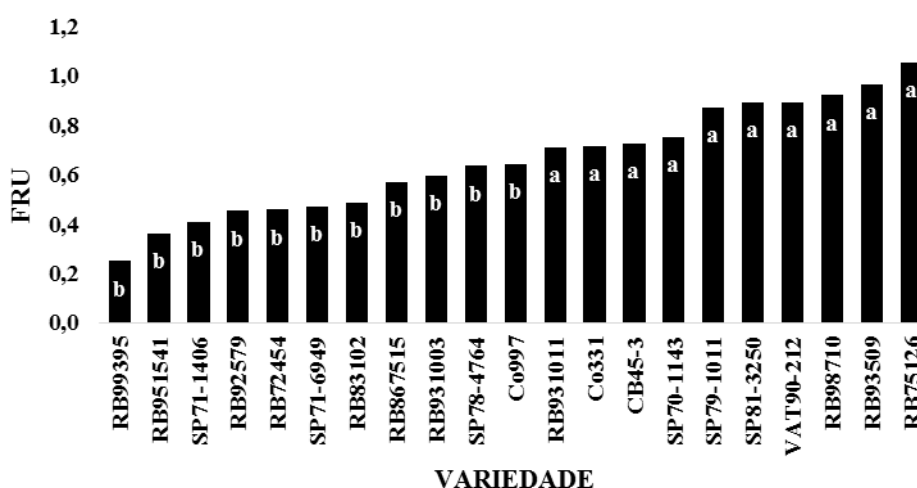
Figura 8: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Teor de glicose (GLI). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



Fonte: o autor.

Para FRU (Figura 9), a cultivar RB75126 foi a que apresentou maior teor, sendo enquadrada pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro no grupo “a” juntamente com RB93509, RB98710, VAT90-212, SP813250, SP79-1011, SP70-1143, CB45-3, Co331 e RB931011; as cultivares alocadas no grupo de valores inferiores “b” foram: RB99395, RB951541, SP71-1406, RB92579, RB72454, SP71-6949, RB83102, RB867515, RB931003, SP78-4764 e Co997. Neste ensaio, detectou-se superioridade de 73,47% das cultivares do grupo de maior teor de frutose em relação ao grupo de menor teor.

Figura 9: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Teor de frutose (FRU). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



Fonte: o autor.

Os verdadeiros açúcares redutores (glicose e frutose) quando em teores elevados mostram que a matéria-prima está imatura para o processamento final da produção de açúcar, mas é importante a produção de etanol (FERNANDES, 2003).

Cor do caldo em unidades ICUMSA - COR

A média geral do ensaio para a característica COR do caldo bruto ou *in natura* (Figura 10) foi de 18.493 unidades ICUMSA (u.i.). Hamerski (2009) em ensaio conduzido no Estado de Santa Catarina no ano de 2009 encontrou média superior para a COR do caldo *in natura* (31.367 u.i.). Santos et al. (2008) observaram média de 8.523 u.i. de COR do caldo clarificado (tratado quimicamente) em 43 variedades de cana-de-

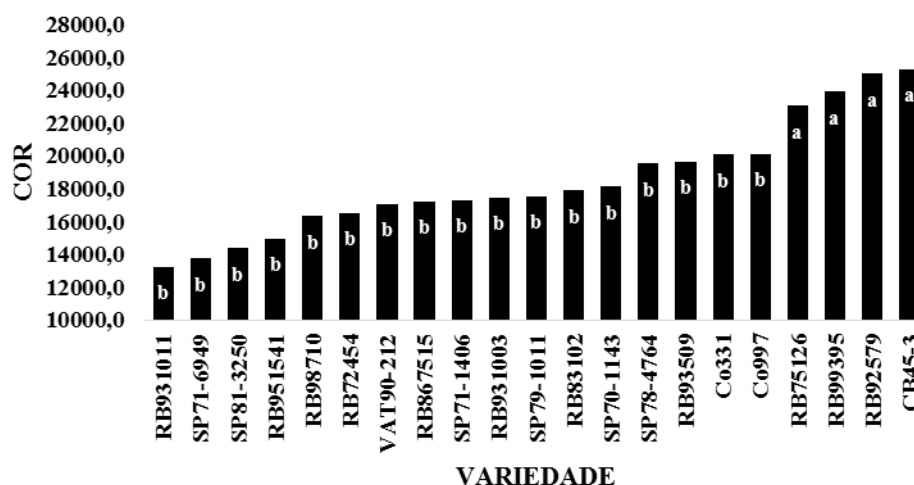
açúcar em Alagoas no ano de 2008. Já Barker e Davis (2005) observaram valor médio em torno de 10.500 u.i. para 30 cultivares de cana-de-açúcar avaliadas em sete regiões da África do Sul no ano de 2005. Uma das exigências usadas no controle da qualidade para a comercialização do açúcar exportado é a medida da sua cor (unidades ICUMSA), sendo que quanto mais baixa, mais claro ou mais branco é o açúcar produzido (SIMIONI et al., 2006). É importante saber que Lima (2012) observou redução de 40% de COR do caldo bruto para o decantado e redução de 30% deste para o caldo clarificado, ou tratado quimicamente.

O agrupamento dos genótipos pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro discriminou duas categorias, quais sejam: um grupo “b” com baixa/intermediária cor do caldo (< 21.000 u.i.), comportando dezessete cultivares e outro grupo “a” com quatro cultivares de elevada cor do caldo (> 21.000 u.i.). O grupo de menor cor do caldo foi formado pelos genótipos RB931011, SP71-6949, SP81-3250, RB951541, RB98710, RB72454, VAT90-212, RB867515, SP71-1406, RB931003, SP79-1011, RB83102, SP70-1143, SP78-4764, RB93509, Co331 e Co997. Entre esses genótipos merecem destaque aqueles adotadas em Alagoas no ano de 2012 (CHAPOLA et al., 2013): SP79-1011(2ª colocação, com 15,00%); RB857515 (3ª colocação, com 12,77%); RB951541 (cultivar extremamente promissora em rendimentos agroindustriais, e uma das mais plantadas); RB98710 e RB931011 (está entre as mais plantadas).

De outro lado, o grupo de elevada cor do caldo foi composto por RB75126, RB99395, RB92579 e CB45-3. Entre esses genótipos, a RB92579 lidera a área cultivada em Alagoas desde a safra 2008/09 e em 2013 foi a segunda mais plantada no Brasil (BARBOSA, 2014), e a RB99395, que apesar da alta COR, apresenta elevado teor de sacarose e esteve entre as mais plantadas em 2012 em Alagoas (CHAPOLA et al., 2013).

Observou-se ainda neste ensaio, diferença de 29,57% de superioridade das médias de COR das cultivares do grupo de maior valor em relação às médias do grupo de menor valor. Santos et al. (2008), avaliando 43 cultivares em Alagoas, observaram a formação de três grupos distintos, e diferença de 68,18% entre as médias do grupo de maior COR em relação ao grupo de menor COR.

Figura 10: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica cor do caldo em unidades ICUMSA (COR). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



Fonte: o autor.

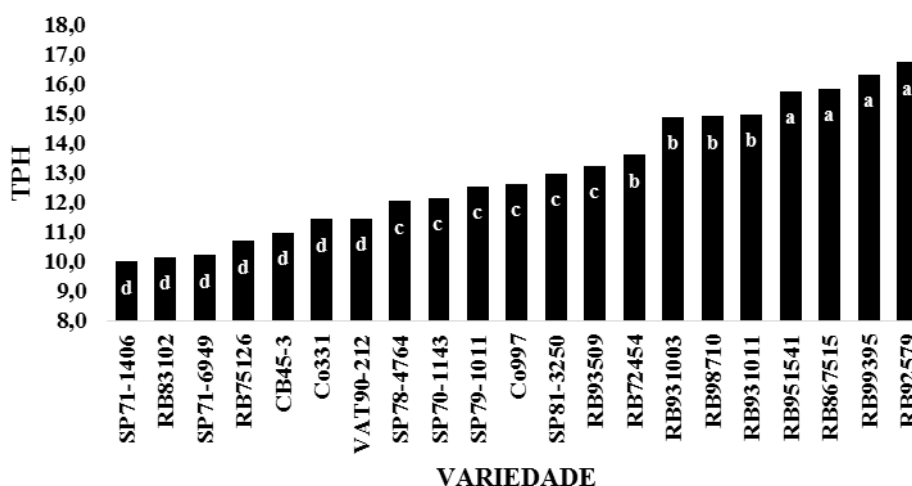
Tonelada de pol por hectare - TPH

O rendimento agroindustrial (em Tonelada de pol por hectare - TPH) (Figura 11) apresentou média de 13,02. Nos ensaios do PMGCA-UFAL, a média histórica para TPH observada em 574 experimentos colhidos foi de 14,72, com mínimo de 5,14 e máximo de 24,44 (PMGCA-UFAL, 20015). Verificou-se ainda no presente estudo que genótipos cultivados antes de 1980 apresentaram TPH médio de 10,70, enquanto genótipos cultivados atualmente apresentaram média de 16,15 (ganho de 50,95%). Barbosa (2008) relata que as cultivares RB92579 e RB93509, obtidas pelo PMGCA-UFAL, e liberadas em 2003, apresentaram ganhos em produtividade na ordem de 60% acima das variedades Co331, CB45-3 e Co997.

Foi observada a formação de quatro grupos pelo procedimento de Skott-Knott a 5% de probabilidade de erro: um grupo de médias inferiores (grupo d), constituído por SP71-1406, RB83102, SP71-6949, RB75126, CB45-3, Co331 e VAT90-212; dois grupos de valores médios intermediários, (grupo c) formado por SP78-4764, SP70-1143, SP79-1011, Co997, SP81-3250 e RB93509 e (grupo b) constituído por RB72454, RB931003, RB98710 e RB931011; o grupo “a” apresentou os maiores valores médios em TPH e foi constituído por RB951541, RB867515, RB99395 e RB92579. Quatro cultivares pertencentes ao grupo “a” corresponderam a 46,67% dos genótipos cultivados em Alagoas em 2012 (CHAPOLA et al., 2013). Barbosa et al. (2003) relatam ganho de

30,09% para a cultivar RB92579 em relação à SP79-1011 em 28 colheitas de experimentos em Alagoas. Diniz (2013) destaca a RB92579 como a mais cultivar da última década. Neste trabalho observou-se que o grupo “a” composto pelos genótipos com expressiva área cultivada em 2012 em Alagoas (CHAPOLA et al., 2013), apresentou ganho de 50,95%, em relação aos genótipos presentes no grupo “d”, composto por genótipos cultivados há duas décadas em Alagoas. Trabalhos realizados em Pernambuco avaliaram agrupamento de genótipos pelo Teste de Skott-Knott a 5% e indicaram ganhos percentuais do grupo mais produtivo para o menos produtivo de 47,96% (DUTRA FILHO et al., 2011), 26,29% (LIMA NETO et al., 2013) e 21,16% (SILVA et al., 2008).

Figura 11: Agrupamento das cultivares de cana-de-açúcar para a característica Tonelada de pol por hectare (TPH). Médias de cultivares seguidas de mesma letra pertencem ao mesmo grupo, não diferindo estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade de erro.



Fonte: o autor.

4.2 Estimativas de parâmetros genéticos

A genética de um caráter métrico centraliza-se em torno do estudo de sua variação, porque é, em termos de variância que são formuladas as questões primárias da genética. A ideia básica no estudo da variação é o seu parcelamento em componentes atribuídos a diferentes causas. A magnitude relativa destes componentes determina as propriedades genéticas da população, e, especialmente, o grau de semelhança entre parentes. A quantidade de variação é medida e expressa como variância, onde a variância total é a fenotípica ou a dos valores fenotípicos, que é a soma de dois componentes: variância genotípica e variância ambiental. A herdabilidade de um caráter

métrico é uma das mais importantes de suas propriedades. Ela expressa, a proporção da variância total que é atribuída ao efeito médio dos genes, e este é que determina o grau de semelhança entre parentes. Mas a mais importante função da herdabilidade, é seu papel preditivo, expressando a confiança do valor fenotípico como um guia para o valor genético. Somente o valor fenotípico do indivíduo pode ser diretamente medido, mas é o valor genético que determina sua influência na próxima geração. Portanto, se o criador ou experimentador escolhe os indivíduos para serem pais, de acordo com os seus valores fenotípicos, seu sucesso na alteração das características da população pode ser predito somente por intermédio do conhecimento do grau de correspondência entre o valor fenotípico e valor genético (FALCONER, 1987).

Valores de herdabilidade próximos a 1 e razão CV_g/CV_e maior que 1 indicam grande possibilidade de seleção de genótipos superiores realizando cruzamentos genéticos com a população avaliada. De outra parte, em culturas de propagação assexuada como a cana-de-açúcar, a informação de herdabilidade no sentido amplo é importante desde que toda a variabilidade genética seja utilizada entre as gerações de seleção assexuada (HOGARTH, 1971).

Os resultados das estimativas de parâmetros genéticos das características avaliadas neste estudo estão sumarizadas na Tabela 4.

Tabela 4: Estimativas de parâmetros genéticos para os caracteres Tonelada de cana por hectare (TCH), Fibra industrial da cana (%) (FIB), Sólidos solúveis totais do caldo (%) (BRIX), Pol % caldo (POL), Açúcares redutores do caldo (%) (AR), Teor de sacarose (SAC), Teor de glicose (GLI), Teor de frutose (FRU), Cor do caldo em unidades ICUMSA, e Tonelada de pol por hectare (TPH). Ensaio colhido aos doze meses de idade da cana-de-açúcar, Usina Sinimbu-AL, fevereiro de 2012 a fevereiro de 2013.

PARÂMETROS GENÉTICOS*								
VARIÁVEIS	$\hat{\sigma}_g^2$	$\hat{\sigma}_e^2$	$\hat{\sigma}_f^2$	$\hat{h}_m^2$	CV_g (%)	CV_e (%)	CV_f (%)	CV_g / CV_e
TCH	90,164	10,643	100,806	0,894	12,476	8,572	13,191	1,455
FIB	0,114	0,028	0,142	0,806	2,465	2,420	2,746	1,019
BRIX	1,461	0,074	1,535	0,952	6,019	2,701	6,170	2,229
POL	1,348	0,075	1,423	0,947	6,801	3,209	6,989	2,119
AR	0,194	0,035	0,229	0,848	29,312	24,840	31,898	1,180
SAC	2,797	0,371	3,168	0,883	9,501	6,916	10,110	1,374
GLI	0,060	0,011	0,071	0,845	28,916	24,737	31,450	1,169
FRU	0,041	0,008	0,049	0,833	30,540	27,300	33,451	1,119
COR	8066487,218	4037044,092	12103531,310	0,666	15,358	21,729	18,812	0,707
TPH	4,318	0,338	4,656	0,927	15,960	8,93	16,573	1,786

*: Variância genotípica $\hat{\sigma}_g^2$; Variância ambiental em termos de médias: $\hat{\sigma}_e^2$; Variância fenotípica em termos de médias: $\hat{\sigma}_f^2$; Herdabilidade no sentido amplo em termos de médias: $\hat{h}_m^2$; Coeficiente de variação genético: CV_g (%); Coeficiente de variação ambiental: CV_e (%); Coeficiente de variação fenotípico: CV_f (%); Razão entre os Coeficientes de Variação genético/ambiental: $\frac{CV_g}{CV_e}$

Para o conjunto das 21 cultivares que participaram do presente experimento - as cultivares adotadas em Alagoas nas últimas quatro décadas -, verificou-se que a variável BRIX foi a que apresentou as maiores magnitudes para estimativa de herdabilidade no sentido amplo em termos de média ($\hat{h}_m^2=0,9521$) e para a razão CV_g/CV_e (2,23). Pode-se inferir que 95,21% das variações totais da característica BRIX foram explicadas por fatores de natureza genética (cultivares presentes neste estudo) e apenas 4,79% das variações totais de BRIX pode ser atribuídas a fatores externos (ambientais). Aliado a esse resultado, a razão CV_g/CV_e foi bem maior que a unidade. Estes resultados indicam ser muito provável obter ganhos futuros na seleção de indivíduos superiores em teores de sólidos solúveis totais realizando cruzamentos genéticos com as cultivares avaliadas neste estudo. Pesquisas realizadas nas últimas décadas por vários programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar indicam ser essa característica a que apresenta maior magnitude de ganho de seleção - Austrália (0,7500) e Fiji (0,4800) (SKINNER et al., 1987); Pernambuco (0,7042) (MORAES et al., 2010), Piracicaba/SP

(0,9050) e Jaú/SP (0,8630) (BRESSIANI et al., 2002). Aliado a esses resultados, também indicam razão CVg/CVe de 1,22 em Pernambuco (SILVA et al., 2008), 0,35 Pernambuco (DUTRA FILHO et al., 2011), 0,49 Pernambuco (MELO et al., 2009), e 0,57 Minas Gerais (LEITE et al., 2006). Observam-se maiores magnitudes das estimativas desses parâmetros para o presente estudo de Alagoas.

A característica teor de sacarose aparente, avaliada por meio da variável POL, apresentou as segundas maiores magnitudes para herdabilidade no sentido amplo em termos de média ($h_m^2 = 0,9473$) e para a razão CVg/CVe (2,12). Isto quer dizer que entre os açúcares presentes no BRIX, o teor de sacarose aparente teve maior participação na avaliação de parâmetros ligados à herança, indicando ser muito provável obter ganhos futuros na seleção de indivíduos superiores em teores de sacarose realizando cruzamentos genéticos com as cultivares avaliadas neste estudo. Ademais, conforme Barbosa (2014), as estratégias empregadas no melhoramento genético em relação ao ganho de rendimento de açúcar tiveram grande êxito nas pesquisas experimentais realizadas em Alagoas, pois houve um aumento anual no rendimento de açúcar de 80 kg ha⁻¹ no período de 1975 a 1992, empregando-se a estratégia de incrementar o teor de sacarose. Estudos de herdabilidade para esta característica por outros autores relataram os seguintes resultados: em Pernambuco, valor de 0,7427 (MORAES et al., 2010), 0,8195 (SILVA, 2008), e 0,5904 (OLIVEIRA et al., 2010). Esses autores mostraram razão CVg/CVe de 1,07 (SILVA et al., 2008), 0,36 (DUTRA FILHO et al., 2011) e 0,43 (LIMA NETO et al., 2013) em Pernambuco. Observam-se ainda maiores magnitudes das estimativas desses parâmetros para o presente estudo de Alagoas.

A característica teor de açúcares redutores, avaliada por meio da variável AR, também apresentou elevadas magnitudes para herdabilidade no sentido amplo em termos de médias ($h_m^2 = 0,8478$) e para a razão CVg/CVe (1,18). Isto quer dizer que entre os açúcares presentes no BRIX, os açúcares redutores do mesmo modo participaram na herança, indicando ser possível selecionar indivíduos superiores em AR realizando cruzamentos genéticos com as cultivares avaliadas neste estudo.

Pelos resultados, nota-se que as características de qualidade industrial da cana, determinadas por meio de HPLC - os verdadeiros teores de sacarose, glicose e frutose -, apresentaram altas magnitudes para herdabilidade no sentido amplo em termos de médias ($h_m^2 = 0,8830$; 0,8453; e 0,8335 respectivamente) e valores acima de 1 para a razão CVg/CVe (1,37, 1,17, e 1,12 respectivamente). Isto era esperado quando observa-

se grande variação ambiental destas determinações (menor para a sacarose e bem maiores para frutose e glicose).

Dado que o melhoramento genético da cana praticado em Alagoas nas últimas quatro décadas foi focado na elevação dos açúcares da cana, em detrimento à elevação do teor de fibras, ficou evidenciado que essa característica participou muito pouco da seleção de indivíduos superiores, com menor valor de herdabilidade no sentido amplo em termos de médias ($h_m^2 = 0,8058$) e baixa razão CVg/CVe (1,01). Isto quer dizer que não é esperado êxito selecionar indivíduos superiores em teor de fibra realizando cruzamento entre os genótipos do presente estudo. Pesquisas realizadas em Pernambuco obtiveram os seguintes resultados para herdabilidade em fibra: 0,5544 (MORAES et al., 2010), 0,6800 (LIMA NETO et al., 2013) e 0,5238 (SILVA et al., 2008). Ainda em Pernambuco foram observados os valores de razão CVg/CVe: 0,53 (SILVA et al., 2008) e 0,64 (LIMA NETO et al., 2013). Complementarmente, era conhecido que os genótipos avaliados nesta pesquisa apresentavam pouca variabilidade para o caráter fibra. Geralmente uma das primeiras preocupações de um melhorista é a existência de variabilidade genética no germoplasma (BORÉM; MIRANDA, 2005), que pode aumentar as chances de encontrar indivíduos superiores nas gerações segregantes, e assim obter ganhos referente a uma determinada característica (CRUZ et al., 2004).

No presente trabalho, os resultados para a cor do caldo indicaram menores magnitudes para herdabilidade no sentido amplo em termos de médias ($h_m^2 = 0,6665$) e para a razão CVg/CVe (0,71). Isto sugere que não é esperado êxito selecionar indivíduos divergentes em COR realizando cruzamento entre os genótipos do presente estudo. Por outro lado, o melhoramento genético da cana-de-açúcar praticado em Alagoas nas últimas quatro décadas não teve nenhuma estratégia para a seleção de indivíduos com essa característica (SANTOS et al., 2008). Ademais, durante a safra 2006/2007 de Alagoas, Santos et al. (2008) analisaram a cor do caldo clarificado da cana em 43 genótipos de cana-de-açúcar e concluíram que a COR é uma característica de alta herdabilidade genética, que pode proporcionar ganhos com a seleção, divergindo do presente trabalho.

A característica produtividade agrícola, estimada pelo TCH, também apresentou elevadas magnitudes de herdabilidade no sentido amplo em termos de médias ($h_m^2 = 0,8944$) e razão CVg/CVe (1,46). Depreende-se que 89,44% das variações da produtividade agrícola média dessas cultivares avaliadas foram explicadas por fatores

genéticos e apenas 11,66% por fatores ambientais. Por esse resultado e pela estimativa da razão CV_g/CV_e (bem maior que 1), há grande possibilidade da obtenção de ganhos futuros selecionando genótipos com maiores rendimentos agrícolas realizando cruzamentos genéticos com as cultivares avaliadas neste estudo. Em Pernambuco, Lima Neto et al. (2013), Silva et al. (2008) e Moraes et al. (2010) encontraram estimativas de 0,8700; 0,7980 e 0,7727, respectivamente. Castro (2012) observou magnitude de 0,8214 em Minas Gerais; Bressiani et al. (2002) verificaram valores de 0,5500 em Piracicaba-São Paulo e 0,6920 em Jaú-São Paulo. Lima Neto (2013) detectou razão CV_g/CV_e de 1,23. Já Silva (2008) encontrou razão CV_g/CV_e próxima a unidade (0,99). É importante ressaltar que em relação ao ganho de rendimento de açúcar nas pesquisas experimentais realizadas em Alagoas também houve grande êxito empregando-se a estratégia de incrementar o rendimento agrícola, pois entre 1993 a 2010 ocorreu um aumento anual no rendimento de açúcar de 140 kg ha^{-1} , com maior participação do incremento de TCH.

Tendo em vista que $TPH=(TCH)(POL)/100$, os valores estimados de herdabilidade e da razão CV_g/CV_e seguiram aos encontrados para TCH e POL. Com isso, há grande possibilidade de ganhos futuros na seleção de indivíduos superiores em rendimento de açúcar (TPH). A herdabilidade (h_m^2) encontrada foi de 0,9273, ou seja, entende-se que o fator genotípico explica aproximadamente 92,73% das variações de TPH. A razão CV_g/CV_e foi de 1,79, valor bem superior a unidade, sugerindo ganho de seleção para o caráter TPH, tomando como base as vinte e uma cultivares avaliadas. Estudos realizados por Silva et al. (2008) em Pernambuco apresentam herdabilidade de 0,8880 e razão CV_g/CV_e de 1,41; Zeni Neto (2007) no Paraná avaliando clones RB da série 95 obteve herdabilidade média de 0,7000.

4.3 Avaliação da divergência genética por meio de SSR

Os locos de microssatélites utilizados neste trabalho (aqui definido pelo par de primer que o flankeia) foram selecionado com base em resultados publicados por Duarte Filho et al. (2010). Esta seleção prévia considerou a capacidade dos *primers* de SSR em gerar polimorfismo e produzir um padrão de amplificação claro e de fácil interpretação.

Os três *primers* utilizados neste trabalho amplificaram um total de 87 alelos em vinte e um genótipos de cana-de-açúcar, sendo 69 alelos diferentes e 18 coincidentes,

com média de 29 alelos por *primer*; o número de alelos polimórficos no SSR05 foi de 41, não apresentando alelos monomórficos, tendo maior capacidade discriminatória; o número de alelos polimórficos no SSR06 foi de 19, apresentando dois alelos monomórficos, sendo o segundo em capacidade discriminatória; por último, no SSR93, o número de alelos polimórficos foi 27, tendo oito alelos monomórficos, com menor capacidade discriminatória. O tamanho dos alelos variou de 111 a 191 pb para o primer SSR05, de 172 a 215 pb (SSR06) e de 156 a 192 pb (SSR93). O índice de polimorfismo (PIC) médio entre os *primers* SSR foi 0,855, com o mínimo de 0,662 (SSR93) e máximo de 1,0 (SSR05).

Os valores altos de PIC refletem a capacidade dos microssatélites em detectar o polimorfismo e gerar, quando combinados, perfis moleculares discriminativos (distintos) para os vinte e um genótipos avaliados, podendo ser usado para avaliar a eficiência de um loco de microssatélites na identificação de cultivares, sendo dependente do número de frequência dos diferentes padrões (perfis moleculares) observados (TESSIER et al., 1999) (Tabela 5).

Tabela 5: *Primers* do tipo microssatélites (SSR), código de acesso ao Gen Bank, motivo da sequência de nucleotídeos, conteúdo de informações polimórficas (PIC), número de alelos e tamanho dos alelos em pares de base.

SSR	Gen Bank nº	Motivo	PIC	Nº de Alelos	Tamanho do Alelo (pb)
SSR05	CA210426	CTA	1,00	41 (0)	111-191
SSR06	CA210513	ATCT	0,90	19 (2)	172-215
SSR93	CA210595	GCA	0,66	27 (8)	156-192
Média			0,85	29 (3,33)	163

As diferenças entre os seres vivos baseiam-se na diversidade genética (GD) que está codificada nos genes, porém, apenas uma pequena porção da variabilidade genética total dentro de cada espécie é utilizada em plantas comerciais (RATTEY et al., 2003). Geralmente uma das primeiras preocupações de um melhorista é a existência de variabilidade genética no germoplasma (BORÉM; MIRANDA, 2005), que pode aumentar as chances de encontrar indivíduos superiores nas gerações segregantes (CRUZ et al., 2004). Assim, o conhecimento da diversidade genética, entre variedades comerciais em programas de melhoramento de plantas é de fundamental importância

para os melhoristas na identificação e organização dos recursos genéticos disponíveis, visando à utilização desses na produção de novas variedades promissoras (PALOMINO et al., 2005).

Com base na matriz de divergência genética, obtida através do coeficiente de Jaccard a partir de informações binárias geradas pelos marcadores moleculares microsatélites SSR05, SSR06 e SSR93, observou-se que os valores da dissimilaridade genética (genetic dissimilarity - GD) entre as cultivares de cana-de-açúcar do presente estudo variaram de 0,1667 a 0,6977 (Tabela 6). A média de GD entre as cultivares foi de 0,5169.

Entre os menores valores de GD, destacaram-se os confrontos de genitores com seus descendentes: RB92579 e sua genitora RB75126 (BARBOSA et al., 2003), com GD de 0,3333; RB867515 e sua genitora RB72454 (BARBOSA et al., 2002), com GD de 0,1667; CB45-3 e sua genitora Co331 (BARBOSA, 2014), com GD de 0,3514; também destacaram-se com valor baixo de GD os confrontos entre as cultivares descendentes da NA56-79 (BARBOSA, 2014): SP71-1406 e SP79-1011 (GD = 0,2821); SP71-1406 e SP71-6949 (GD = 0,2308); SP79-1011 e SP71-6949 (GD = 0,3500). Ainda foi constatado baixo GD (0,3714) entre RB99395 e RB83102; conforme Barbosa (2014), a RB99395 tem como progenitor feminino a RB867515 (GD = 0,4063), sendo que o progenitor masculino não foi identificado (cruzamento multi-parental), e este resultado da baixa dissimilaridade entre essas cultivares sugere maior grau de parentesco.

De outro lado, entre os maiores valores de dissimilaridade genética (GD), destacam-se: Co997 e RB92579 (0,6977), RB931003 e RB98710 (0,6512); RB98710 e RB92579 (0,6667); RB83102 e RB92579 (0,6512); RB75126 e SP81-3250 (0,6596); VAT90-212 e RB75126 (0,6591); Co997 e RB75126 (0,6579); Co997 e SP78-4764 (0,6744); e Co997 e Co331 (0,6829). Ressalte-se que nesses confrontos de dissimilaridade genética entre as cultivares, não há grau de parentesco entre elas, exceto entre RB931003 e RB98710, pois são descendentes de primeiro e segundo graus da RB72454, respectivamente (BARBOSA, 2014).

Entende-se ainda, que a capacidade de iniciadores SSR gerarem perfis genéticos únicos para estimar a diversidade genética em acessos de cana-de-açúcar é favorecida pela alta poliploidia, o que possibilita detectar diversos tipos alélicos em uma única cultivar (CORDEIRO et al., 2001; DUARTE FILHO et al., 2010).

Tabela 6: Matriz de diversidade genética observada entre 21 genótipos de cana-de-açúcar a partir de marcadores SSR.

	Co331	CB45-3	Co997	SP70-1143	SP71-1406	RB72454	SP71-6949	SP79-1011	RB75126	RB83102	SP784764	SP81-3250	VAT90-212	RB867515	RB92579	RB93509	RB931003	RB931011	RB951541	RB98710	RB99395
Co331	-																				
CB45-3	0,3514	-																			
Co997	0,6829	0,5610	-																		
SP70-1143	0,5278	0,4737	0,4545	-																	
SP71-1406	0,5349	0,4545	0,4750	0,5714	-																
RB72454	0,5714	0,5135	0,4516	0,4333	0,5000	-															
SP71-6949	0,5581	0,5111	0,6047	0,5250	0,2308	0,4865	-														
SP79-1011	0,4615	0,3750	0,4737	0,4167	0,2821	0,5000	0,3500	-													
RB75126	0,6410	0,5128	0,6579	0,5714	0,5714	0,4839	0,5952	0,5000	-												
RB83102	0,6341	0,5476	0,5000	0,4412	0,4250	0,5714	0,4878	0,4211	0,5676	-											
SP78-4764	0,5250	0,5455	0,6744	0,5641	0,5652	0,5278	0,5870	0,5682	0,5263	0,6279	-										
SP81-3250	0,5333	0,4222	0,5778	0,6000	0,3778	0,5714	0,4000	0,4444	0,6596	0,5652	0,5319	-									
VAT90-212	0,5238	0,4773	0,6047	0,5610	0,4318	0,6000	0,3415	0,3902	0,6591	0,5581	0,6170	0,5000	-								
RB867515	0,5294	0,4722	0,4000	0,3793	0,4595	0,1667	0,5263	0,4571	0,5758	0,4848	0,4857	0,5714	0,5641	-							
RB92579	0,5854	0,5349	0,6977	0,5897	0,5870	0,5946	0,5778	0,4878	0,3333	0,6512	0,5814	0,5833	0,6383	0,6316	-						-
RB93509	0,5278	0,5500	0,5833	0,4848	0,5714	0,3793	0,4872	0,5385	0,5294	0,6053	0,4865	0,5682	0,5610	0,3793	0,5135	-					
RB931003	0,5263	0,4359	0,4571	0,5676	0,4634	0,3871	0,4500	0,4211	0,6053	0,6341	0,6279	0,4286	0,4500	0,4375	0,5128	0,4412	-				
RB931011	0,6098	0,5581	0,6250	0,5405	0,5455	0,5000	0,5000	0,5122	0,6154	0,6429	0,5366	0,5435	0,5000	0,5429	0,5952	0,5405	0,5385	-			
RB951541	0,4865	0,5122	0,6154	0,4857	0,5000	0,5294	0,3684	0,3784	0,5676	0,5641	0,5952	0,5333	0,4103	0,5714	0,5128	0,5278	0,4444	0,5000	-		
RB98710	0,5500	0,5000	0,5641	0,4722	0,5227	0,4706	0,6087	0,5238	0,6250	0,5854	0,4359	0,4186	0,6383	0,4242	0,6667	0,5897	0,6512	0,5610	0,6190	-	
RB99395	0,6098	0,4878	0,4286	0,4118	0,4000	0,4063	0,5000	0,3947	0,5000	0,3714	0,5366	0,5111	0,6000	0,4063	0,5610	0,5405	0,5000	0,5500	0,5385	0,4474	-

Fonte: o autor.

Os marcadores SSR distinguiram as 21 cultivares em 4 grupos pelo método pelo Ward, usando o índice de Jaccard (Figura 12): grupo “a”, compostos por Co997, SP70-1143, RB99395, RB83102, RB72454, RB867515, RB931003 e RB93509; grupo “b”, formado por RB92579 e RB75126; grupo “c”, formado por SP79-1011, SP71-1406, SP71-6949, RB951541 e VAT90-212; e o grupo “d”, formado por CB45-3, Co331, SP78-4764, RB931011, RB98710 e SP81-3250. Considerando os valores de GD da Tabela 6 e os grupos de cultivares da Figura 12, observou-se os seguintes valores médios de GD dentro dos grupos: “b” (0,3333), “c” (0,3682), “a” (0,4536) e “d” (0,5081).

Notou-se que no Grupo “a” destacou-se o agrupamento da cultivar RB72454 com suas descendentes de primeira geração (RB867515, RB93509 e RB931003) e de segunda geração (RB99395) (BARBOSA et al., 2002; BARBOSA, 2014). Nesse grupo, observou-se a proximidade genética RB99395 com sua progenitora RB867515, confirmando a capacidade dos marcadores SSR em gerar perfis moleculares e discriminar genótipos de cana-de-açúcar.

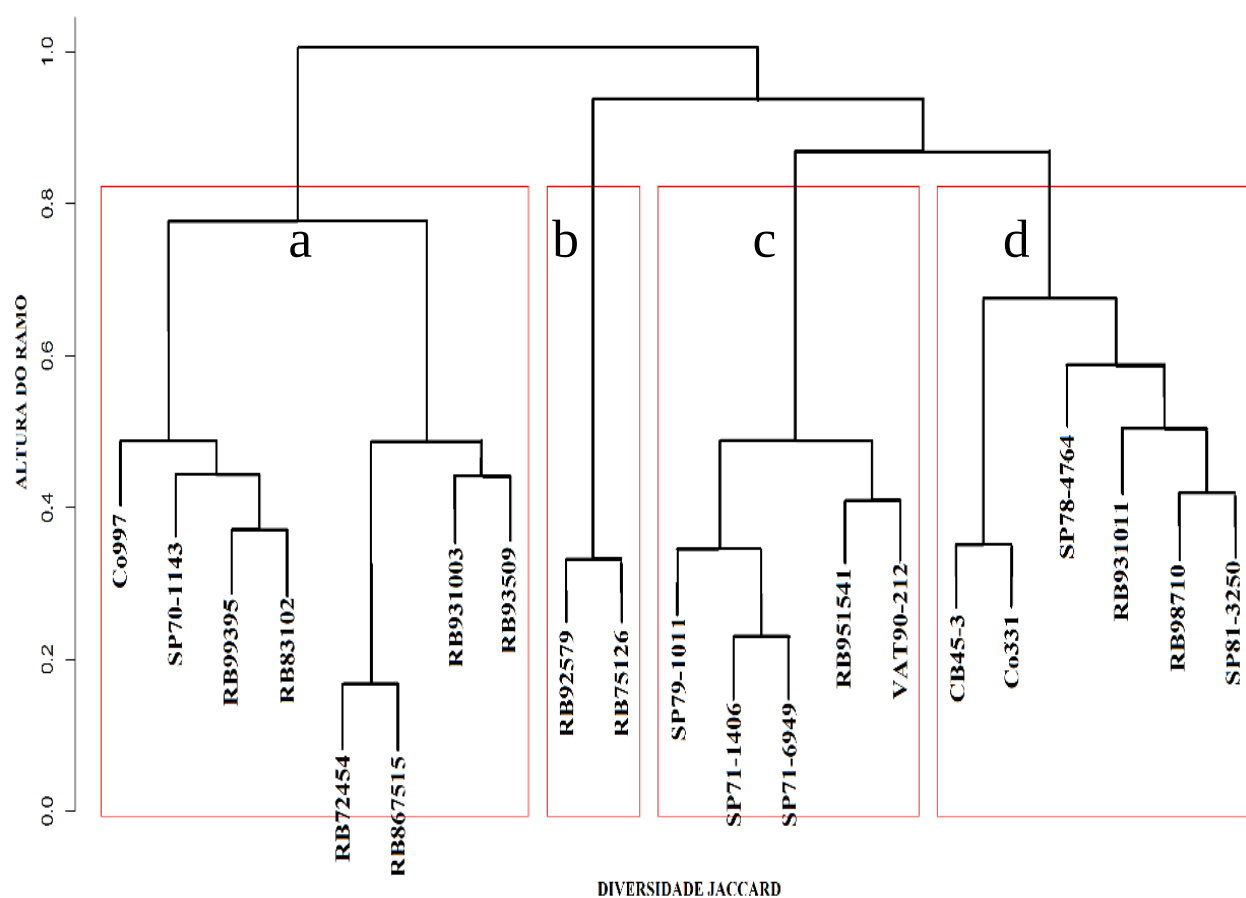
Verificou-se no Grupo “b” que novamente os três *primers* de microssatélites mostraram-se eficientes em gerar perfis moleculares capazes de discriminar e/ou agrupar genótipos de cana-de-açúcar com base em sua distância genética. O grupo foi representado por RB92579 e sua genitora RB75126, tendo a menor média de GD dentro do grupo. De acordo com PINTO et al. (2008) cinco marcadores SSR mostraram-se eficientes no agrupamento de 70 genótipos de cana-de-açúcar do Programa de Cana IAC, com seus respectivos genitores, entre elas uma cultivar SP com três descendentes de primeira geração.

Observou-se ainda que no Grupo “c”, as cultivares SP71-1406, SP71-6949 e SP79-1011 têm como progenitor NA56-79, sendo que entre as duas primeiras houve menor GD. Também foi verificado baixo GD entre RB951541 e a sua progenitora SP79-1011. Já a cultivar VAT90-212, que não tem genitores conhecidos, teve menor GD com RB951541, sugerindo serem aparentadas.

De outro modo, no Grupo “d” verificou-se maior proximidade entre CB45-3 com sua genitora Co331 e entre RB98710 com sua genitora SP81-3250. Percebeu-se também nesse grupo baixo GD da cultivar atual RB98710 com as cultivares antigas Co331 e CB45-3. Este fato corrobora com relatos de autores que mencionam o atual

estreitamento da base genética de cana-de-açúcar, e com isso espera-se que a redução da variabilidade genética poderá acarretar menores ganhos de rendimentos agroindustriais. Em virtude desse estreitamento da base genética em cana-de-açúcar, a utilização de marcadores moleculares do tipo SSR pode auxiliar na caracterização da variabilidade genética disponível nas coleções de germoplasma do gênero *Saccharum* e seus correlatos utilizados em programas de introgressão (CORDEIRO et al., 2001).

Figura 12: Dendrograma representativo de agrupamento das cultivares pelo método de Ward, usando o índice de Jaccard.



Fonte: o autor.

4.4 Recomendação de cruzamentos

Segundo Pinto et al. (2008) os marcadores moleculares têm atuado como importante ferramenta no melhoramento clássico da cana-de-açúcar, pois detectam polimorfismo diretamente ao nível de DNA, permitindo fazer observações no genoma sobre as relações entre genótipo e fenótipo. Assim, a incorporação dos marcadores moleculares no melhoramento da cana-de-açúcar auxilia, desde a escolha dos melhores genitores para um cruzamento, à identificação de genótipos superiores.

Para Ronzelli Júnior (1996), muitos caracteres recessivos deletérios encontram-se ocultos pelos alelos dominantes nas formas heterozigóticas, e aparecem após os cruzamentos endogâmicos, e devem estar associados às espécies alógamas, que possuem significativo grau de heterozigose entre os indivíduos. Neste caso, o autor recomenda o uso de indivíduos não aparentados em cruzamentos, evitando estes efeitos indesejáveis.

Com base nas observações realizadas por Pinto et al. (2008) sobre a eficiências do uso de marcadores SSR, e nas observações realizadas por Ronzelli Júnior (1996) sobre a utilização de indivíduos não aparentados em cruzamentos genéticos, e nas magnitudes das características avaliadas no corrente trabalho, sugere-se cruzamentos entre indivíduos de grupos distintos alocados pelo dendrograma da Figura 12, pois assim, indicam maior grau de diversidade, menor possibilidade de efeitos endogâmicos e maior capacidade em explorar a variabilidade genética dos grupos avaliados.

As cultivares referidas nos cruzamentos a seguir, compuseram grupos de maiores rendimentos em açúcar (TPH), ou maiores rendimentos agrícolas (TCH), ou maiores teores de sacarose (POL ou SAC). Além disso, possuem elevados graus de dissimilaridade genética (GD) obtida pelos marcadores SSR (Tabela 6) e baixo grau de parentesco entre si.

Cruzamentos entre genótipos dos grupos “a” vs. “b”: RB931003 x RB92579 (GD = 0,5128), RB867515 x RB92579 (GD = 0,6315) e RB99395 x RB92579 (GD = 0,5609). Observe-se que nestas recomendações tem destaque o cruzamento RB92579 x RB867515, composto por importantes variedades cultivadas no Brasil em 2012, sendo a que RB867515 tem 26,40% da área cultivada e RB92579 com 5,03% (CHAPOLA et al., 2013). Tendo em vista os altos índices de COR das cultivares RB99395 x

RB92579, deve-se evitar este cruzamento caso não seja desejado a obtenção de indivíduos com altos níveis de COR ICUMSA.

Cruzamentos entre os genótipos mais produtivos do grupo “a” (RB867515, RB931003 e RB99395) com mais produtivo do grupo “c” (RB951541) e do grupo “d” (RB931011 e RB98710), bem como cruzamentos entre os genótipos mais produtivos do grupo “c” com o “d” não são recomendados, por possuírem elevados graus de parentesco entre eles.

Genótipos dos grupos “b” vs. “c”: RB92579 x RB951541 (GD = 0,5129). Vale observar que estes dois genótipos, a RB92579 é a mais cultivada em Alagoas em 2012 e a RB951541 está entre as mais plantadas (CHAPOLA et al., 2013).

Genótipos dos grupos “b” vs. “d”: RB92579 x RB98710 (GD = 0,6667) e RB92579 x RB931011 (GD = 0,5952). Também pode-se ressaltar que as cultivares RB931011 e RB98710 estão entre as mais plantadas em Alagoas em 2012 (CHAPOLA et al., 2013).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com as análises do presente estudo permitem concluir que:

As cultivares que apresentaram os maiores rendimentos em açúcar foram RB92579, RB867515, RB99395 e RB951541.

As maiores estimativas de herdabilidade e razão entre os coeficientes de variância genético/ambiental foram para as características BRIX, POL, TPH e TCH, indicando ser muito provável obter ganhos futuros na seleção de indivíduos superiores nessas características, realizando cruzamentos genéticos com os genótipos avaliados neste estudo.

Os *primers* de microssatélites SSR05, SSR06 e SSR93 foram eficientes em determinar perfis genéticos únicos e em discriminar grau de parentesco e diversidade genética das 21 cultivares avaliadas neste estudo.

Os cruzamentos genéticos que podem predizer maiores ganhos em rendimento em açúcar são da cultivar RB92579 com as cultivares RB867515, RB931003, RB931011, RB951541, RB98710 e RB99395.

REFERÊNCIAS

AGARWAL, M.; SHRIVASTAVA, N.; PADH, H. Advances in molecular marker techniques and their applications in plant sciences. **Plant cell reports**, v. 27, n. 4, p. 617-631, 2008.

ALWALA, S. et al. Identification of molecular markers associated with sugar-related traits in a *Saccharum* interspecific cross. **Euphytica**, v. 167, n. 1, p. 127-142, 2009.

ASENSIO, L. J. **Técnicas de análisis de datos multidimensionales: bases teóricas y aplicaciones en agricultura**. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 1989.

BARBIN, D. **Componentes de Variância**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1993.

BARBOSA, G. V. S. **Contribuição do melhoramento genético da cana-de-açúcar para a agroindústria canavieira de Alagoas**. 2014. 116 p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade Federal do Paraná.

BARBOSA, G. V. S. et al. **Desempenho agroindustrial e censo de variedades de cana-de-açúcar cultivadas no Estado de Alagoas**. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 2008. p. 464-470.

BARBOSA, G. V. S. et al. **Novas variedades RB de cana-de-açúcar para Alagoas**. Maceió: UFAL, 2003.

BARBOSA, Geraldo Veríssimo de Souza et al. RB99395: Sugarcane cultivar with high sucrose content. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 15, n. 3, p. 187-190, 2015.

BARBOSA, M. H. P. et al. Genetic improvement of sugar cane for bioenergy: the Brazilian experience in network research with RIDESA. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, v. 12, n. SPE, p. 87-98, 2012.

BARKER, B.; DAVIS, S. B. Characterisation of cane varieties based on sugar processing parameters. In: **Proc S Afr Sug Technol Ass.** 2005. p. 76-88.

BORÉM, A.; MIRANDA, G. V. **Melhoramento de Plantas**. 4. ed. Viçosa: UFV, 2005, 525 p.

BORÉM, A.; SANTOS, F. R. **Biotechnologia Simplificada**. 2. ed. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2004. V. 1.

BRESSIANI, J. A. **Seleção sequencial em cana-de-açúcar**. 2002. 133 p. Tese de Doutorado. (Doutorado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Universidade de São Paulo, Piracicaba.

CAIXETA, E. T. et al. **Tipos de Marcadores Moleculares** In: BORÉM, A; CAIXETA E.T., 2 . ed. Marcadores Moleculares Viçosa-MG: UFV, 2009.

CALDAS, C. **Cana-de-açúcar**: Bioenergia, açúcar e álcool: tecnologia e perspectivas. UFV, p 360. 2010.

CASTRO, R. D. Eficiência do método blupis no melhoramento da cana-de-açúcar. 2012. 44 p. Tese (Doutorado em Genética e Melhoramento) – Universidade Federal de Viçosa.

CHAPOLA, R. G. et al. Censo varietal 2012. **Araras: CCA-UFSCar**, 2013.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar, primeiro levantamento**. Brasília, 2015.

CORDEIRO, G. M. et al. Characterisation of single nucleotide polymorphisms in sugarcane ESTs. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 113, n. 2, p. 331-343, 2006.

CORDEIRO, G. M. et al. Microsatellite markers from sugarcane (*Saccharum* spp.) ESTs cross transferable to *erianthus* and *sorghum*. **Plant science**, v. 160, n. 6, p. 1115-1123, 2001.

CORDEIRO, G. M.; TAYLOR, G. O.; HENRY, R. J. Characterisation of microsatellite markers from sugarcane (*Saccharum* sp.), a highly polyploid species. **Plant Science**, v. 155, n. 2, p. 161-168, 2000.

CRUZ, C. D. **Programa Genes: estatística experimente al e matrizes**. UFV, 2006.

CRUZ, C. D; REGAZZI. A. J; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético**. v. 1. 2004.

DA OLIVEIRA, C. G. Acompanhamento avaliacao e pesquisas desenvolvidas visando o aperfeicoamento do sistema de pagamento de cana pelo teor de sacarose em Alagoas, na safra 1984/85. In: **Simposio de avaliacao da agroindustria da cana-de-acucar no estado de alagoas**, 3., Maceio, AL (Brazil). 11 Jun 1985.

DE LIMA NETO, J. F. et al. Avaliação agroindustrial e parâmetros genéticos de clones UFRPE de cana-de-açúcar no litoral norte de Pernambuco. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 18, n. 1, p. 8-13, 2013.

DE OLIVEIRA LEITE, M. S.o; PETERNELLI, L. A.; BARBOSA, M. H. P. Effects of plot size on the estimation of genetic parameters in sugarcane families. **Crop breeding and applied technology**, v. 6, n. 1, p. 40, 2006.

DE OLIVEIRA, R. A. et al. Procedimento Blupis e seleção massal em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 796-800, 2010.

DE RESENDE, M. D. V. **Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes**. Embrapa Informação Tecnológica, Colombo: Embrapa Florestas, 2002.

DINIZ, C. A. **Ganho genético da cana-de-açúcar em alagoas nas últimas quatro décadas**. 2013. 46 p. Monografia (Graduação em Eng^a Agrônômica) - Universidade Federal de Alagoas

DOS SANTOS, J. M. et al. Genetic diversity of the main progenitors of sugarcane from the RIDESA germplasm bank using SSR markers. **Industrial Crops and Products**, v. 40, p. 145-150, 2012.

DUARTE FILHO, L. S. C. et al. Genetic similarity among genotypes of sugarcane estimated by SSR and coefficient of parentage. **Sugar Tech**, v. 12, n. 2, p. 145-149, 2010.

DUTRA FILHO, J. de A. et al. Aplicação de técnicas multivariadas no estudo da divergência genética em cana-de-açúcar¹. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 1, p. 185-192, 2011.

EDMÉ, S. J. et al. Genetic contribution to yield gains in the Florida sugarcane industry across 33 years. **Crop science**, v. 45, n. 1, p. 92-97, 2005.

EK, M. et al. Microsatellite markers for powdery mildew resistance in pea (*Pisum sativum* L.). **Hereditas**, v. 142, n. 2005, p. 86-91, 2005.

FALCONER, D. S. **Introdução à genética quantitativa**. UFV, 1987.

FERNANDES, Antonio Carlos. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. **Piracicaba: Stab**, 2003.

FERREIRA, A. R. **Análise genética e seleção em testes dialélicos de Pinus taeda L.** 2013.

FERREIRA, D. F. SISVAR Versão 5.3. Lavras: **UFLA**, 2010. Disponível em: <http://www.dex.ufla.br/~danielff/sisvar.zip>. Acesso em: 16/10/2015.

FETAG/AL. **Federação dos Trabalhadores na Agricultura no Estado de Alagoas** <http://www.fetagal.org.br/links.asp?id=1>. Acesso em: 08/10/2015.

GARCIA, A. A. F. et al. Development of an integrated genetic map of a sugarcane (*Saccharum* spp.) commercial cross, based on a maximum-likelihood approach for estimation of linkage and linkage phases. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 112, n. 2, p. 298-314, 2006.

GLYNN, N. C. et al. Diversity among mainland USA sugarcane cultivars examined by SSR genotyping. **J. Am. Soc. Sugar Cane Technol**, v. 29, p. 36-52, 2009.

GRIVET, L. et al. A review of recent molecular genetics evidence for sugarcane evolution and domestication. **Ethnobot Res Appl**;2:9–17. 2004.

HAMERSKI, F. **Estudo de variáveis no processo de carbonatação do caldo de cana-de-açúcar**. 2009. 150 p. Dissertação (Mestre em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná.

HOGARTH, D. M. Quantitative inheritance studies in sugar-cane. II. Correlations and predicted responses to selection. **Crop and Pasture Science**, v. 22, n. 1, p. 103-109, 1971.

ISST - **International Society of Sugarcane Technologists**. Disponível em: <http://www.issct.org/index.html>. Acesso em: 27 set. 2015

KALIA, R. K. et al. Microsatellite markers: an overview of the recent progress in plants. **Euphytica**, v. 177, n. 3, p. 309-334, 2011.

LEBOT, V. et al. Morphological, phytochemical, and genetic variation in Hawaiian cultivars of ʻawa (kava, *Piper methysticum*, Piperaceae). **Economic botany**, v. 53, n. 4, p. 407-418, 1999.

LIMA, R. B. **Processo de clarificação de caldo de cana-de-açúcar aplicando elétrons acelerados**. 2012. 62 p. Dissertação (Mestre em Ciências) - Universidade de São Paulo.

MASUDA, R.; KANEKO, K.; YAMASHITA, I. Sugar and cyclitol determination in vegetables by HPLC using postcolumn fluorescent derivatization. **Journal of food science**, v. 61, n. 6, p. 1186-1190, 1996.

MELO, L. J. O. T. **Cana-de-açúcar: bioenergia, açúcar e álcool: tecnologia e perspectivas**. UFV, p 282. 2010.

MELO, L. J. O. T. de et al. Desempenho agroindustrial de cultivares de cana-de-açúcar na Zona da Mata Litoral Sul de Pernambuco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 3, p. 684-691, maio/jun. 2009.

MORAES, M. F. de et al. Avaliação agroindustrial e parâmetros genético de progênies de cana-de-açúcar em fase inicial na Zona Canavieira do Litoral Norte de Pernambuco. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 5, p. 1086-1092, 2010.

PALOMINO, J. C. Nonconventional and new methods in the diagnosis of tuberculosis: feasibility and applicability in the field. **European Respiratory Journal**, v. 26, n. 2, p. 339-350, 2005.

PAN, Y. Highly polymorphic microsatellite DNA markers for sugarcane germplasm evaluation and variety identity testing. **Sugar Tech**, v. 8, n. 4, p. 2006.

PINTO, L. R. et al. Avaliação de marcadores do tipo microssatélites para determinação do perfil molecular dos materiais do programa cana-IAC. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL - STAB, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 2008. p. 419-423.

RAMALHO, M. A. P. et al. **Genética na agropecuária**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2004.

RATTEY, A. R. et al. Opportunities to increase rates of parent improvement in Australian sugarcane breeding programs. In: **Proceedings-australian society of sugar cane technologists**. PK Editorial Services; 1999, 2003. p. 42-42.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; JÚNIOR, W. F. M. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. 2004.

RONZELLI JUNIOR, P. Melhoramento genético de plantas. **Curitiba**: Graffice, 1996.

SAGHAI-MAROOF, M. A. et al. Ribosomal DNA spacer-length polymorphisms in barley: Mendelian inheritance, chromosomal location, and population dynamics. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 81, n. 24, p. 8014-8018, 1984.

SANTOS, J. M. et al. Adaptabilidade e estabilidade fenotípica de clones RB de cana-de-açúcar da série 99, no estado de Alagoas. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil - STAB, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 2008. p. 382-386.

SANTOS, T. W. et al. Estimativa de parâmetros genéticos para avaliação da cor do caldo em cana-de-açúcar. In: Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil - STAB, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB Regional Leste, 2008. p. 382-386.

SELVI, A. et al. Evaluation of maize microsatellite markers for genetic diversity analysis and fingerprinting in sugarcane. **Genome**, v. 46, n. 3, p. 394-403, 2003.

SILVA, D. C. **DNA Marcadores moleculares microssatélites para fingerprinting de DNA em cana-de-açúcar**, 2011 43 p. Monografia (Graduação em Biologia) - Universidade Federal de Alagoas

SILVA, G. C. **Seleção de clones RB de cana-de-açúcar no litoral sul da zona da mata de Pernambuco utilizando técnicas multivariadas**. 2008. 110 p. Dissertação de Mestrado (Mestre em Agronomia) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 109p.[Links].

SIMIONI, K. R. et al. Efeito da variedade e época de colheita no teor de fenóis totais em cana-de-açúcar. **STAB**, v. 24, n. 3, 2006.

SINDAÇÚCAR. **Sindicato da Indústria do Açúcar e do Alcool no Estado de Alagoas**. Maceió. Disponível em: <<http://www.sindacucar-al.com.br/dadosestatisticos>>. Acesso em: 05 set. 2015.

SKINNER, J. C.; WU, K. K. Selection methods, criteria, and indices. p. 409-453. In: Heinz, D. J. (Ed.) **Sugarcane improvement through breeding**. Elsevier, Amsterdam. 1987.

SNEATH, Peter HA; SOKAL, Robert R. **Numerical taxonomy**: The principles and practices of numerical classification. San Francisco: WH Freeman, 1973.

TAI, P. Y. P.; MILLER, J. D. Germplasm diversity among four sugarcane species for sugar composition. **Crop science**, v. 42, n. 3, p. 958-964, 2002.

TESSIER, C. et al. Optimization of the choice of molecular markers for varietal identification in *Vitis vinifera* L. **Theoretical and Applied Genetics**, v. 98, n. 1, p. 171-177, 1999.

TEW, T. L.; PAN, Y. Microsatellite (simple sequence repeat) marker-based paternity analysis of a seven-parent sugarcane polycross. **Crop science**, v. 50, n. 4, p. 1401-1408, 2010.

UDOP – União dos Produtores de Bioenergia. **Evolução da produtividade cana-de-açúcar**. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/>>. Acesso em: 22 set. 2015.

VENCOVSKY, R.; BARRIGA, P. **Genética biométrica no fitomelhoramento**. Ribeirão Preto: Soc. Brás. Gen, 1992.

VETTORE, A. L. et al. The libraries that made SUCEST. **Genetics and Molecular Biology**, v. 24, n. 1-4, p. 1-7, 2001.

WEBER, J. L.; MAY, P. E. Abundant class of human DNA polymorphisms which can be typed using the polymerase chain reaction. **American journal of human genetics**, v. 44, n. 3, p. 388, 1989.

ZENI NETO, C. et al. Donor complications including the report of one death in right-lobe living-donor liver transplantation. **Digestive surgery**, v. 24, n. 3, p. 191-196, 2007.

APÊNDICE

Tabela 7: Valores médios das cultivares para os caracteres: Tonelada de cana por hectare (TCH), Fibra industrial da cana (%) (FIB), Sólidos solúveis totais do caldo (%) (BRIX), Pol % caldo (POL), Açúcares redutores do caldo (%) (AR), Teor de sacarose (SAC), Teor de glicose (GLI), Teor de frutose (FRU), Cor do caldo em unidades ICUMSA, e Tonelada de pol por hectare (TPH), avaliados em experimento conduzido na usina Sinimbu-AL, no ano agrícola de 2012/13.

CULTIVAR	TCH (t/ha)		FIB (%)		BRIX (%)		POL (%)		AR (%)		SAC (%)		GLIC (%)		FRU (%)		COR (u.i.)		TPH (t/ha)
RB92579	89,56	a	13,49	b	21,85	a	18,69	a	1,01	b	19,68	a	0,55	b	0,45	b	25014,50	a	16,73
RB99395	84,78	a	13,82	a	22,15	a	19,26	a	0,61	b	20,29	a	0,36	b	0,25	b	23915,25	a	16,32
RB867515	88,98	a	13,52	b	21,05	b	17,79	b	1,41	b	19,00	a	0,84	a	0,57	b	17229,75	b	15,82
RB951541	82,81	b	13,81	a	21,88	a	19,00	a	0,92	b	19,98	a	0,55	b	0,36	b	14942,25	b	15,74
RB931011	90,72	a	13,42	b	19,65	c	16,51	c	1,68	a	16,97	b	0,97	a	0,71	a	13243,00	b	14,97
RB98710	86,45	a	13,87	a	20,43	b	17,24	b	2,05	a	19,05	a	1,13	a	0,92	a	16329,50	b	14,91
RB931003	85,19	a	14,31	a	20,58	b	17,50	b	1,42	b	18,18	a	0,82	a	0,60	b	17457,00	b	14,89
RB72454	79,61	b	13,17	b	19,98	c	17,06	b	1,03	b	18,16	a	0,58	b	0,46	b	16542,75	b	13,59
RB93509	81,48	b	14,04	a	19,08	c	16,26	c	2,27	a	17,14	b	1,31	a	0,97	a	19631,25	b	13,23
SP81-3250	75,68	b	14,41	a	20,08	c	17,14	b	1,95	a	16,95	b	1,06	a	0,89	a	14368,50	b	12,98
Co997	77,16	b	13,87	a	19,38	c	16,41	c	1,28	b	16,91	b	0,64	b	0,64	b	20115,25	b	12,63
SP79-1011	70,55	c	13,97	a	21,00	b	17,77	b	1,90	a	17,15	b	1,03	a	0,87	a	17537,50	b	12,54
SP70-1143	66,52	c	14,06	a	21,53	a	18,25	a	1,71	a	19,04	a	0,96	a	0,75	a	18135,00	b	12,13
SP78-4764	71,40	c	13,99	a	19,95	c	16,89	b	1,58	a	17,48	b	0,95	a	0,64	b	19521,25	b	12,04
VAT90212	72,09	c	13,13	b	18,70	d	15,89	c	2,00	a	14,42	d	1,11	a	0,89	a	17063,50	b	11,46
Co331	76,07	b	13,42	b	18,03	d	15,02	d	1,69	a	15,80	c	0,97	a	0,72	a	20073,50	b	11,43
CB45-3	71,66	c	13,89	a	18,48	d	15,36	d	1,79	a	15,45	c	1,06	a	0,73	a	25284,50	a	10,97
RB75126	71,13	c	13,87	a	17,90	d	14,98	d	2,23	a	13,43	d	1,18	a	1,06	a	23042,75	a	10,69
SP71-6949	60,60	d	13,09	b	19,50	c	16,82	b	1,08	b	17,37	b	0,61	b	0,47	b	13741,00	b	10,22
RB83102	57,42	d	13,55	b	20,63	b	17,62	b	1,00	b	18,88	a	0,52	b	0,49	b	17889,50	b	10,15
SP71-1406	58,54	d	13,28	b	19,98	c	17,09	b	1,00	b	18,37	a	0,59	b	0,41	b	17281,75	b	10,00
Média	76,11		13,71		20,08		17,07		1,50		17,60		0,85		0,66		18493,30		13,02
QMR	42,57		0,11		0,29		0,30		0,14		1,48		0,04		0,03		16148176,37		1,35
Teste F	403,23**		0,57**		6,14**		5,69**		0,92**		12,67**		0,28**		0,19**		48414125,21**		18,63**

Fonte: o autor.