

RACHEL SOARES RAMOS

SELEÇÃO DE CANA ENERGIA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de Doctor Scientiae.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2015

Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa

T

R175s
2015 Ramos, Rachel Soares, 1982-
Seleção de cana energia / Rachel Soares Ramos. – Viçosa,
MG, 2015.
ix, 67f. ; 29 cm.

Orientador: Márcio Henrique Pereira Barbosa.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.

1. *Saccharum*. 2. Cana-de-açúcar. 3. Diversidade genética.
4. Fibras. 5. Biocombustível. I. Universidade Federal de Viçosa.
Departamento de Fitotecnia. Programa de Pós-graduação em
Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 633.61

RACHEL SOARES RAMOS

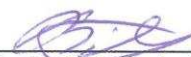
SELEÇÃO DE CANA ENERGIA

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*

APROVADA: 31 de julho 2015.



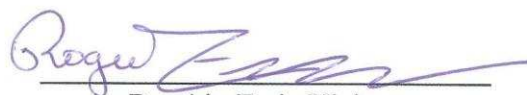
Bruno Portela Brasileiro



Luís Cláudio Inácio da Silveira



Leonardo Duarte Pimentel
(Presidente)



Rogério Faria Vieira



Luiz Alexandre Peternelli
(Coorientador)

Aos meus pais, Domingos e Cida,
que são os alicerces de nossas vidas;
Aos meus irmãos, Raphael e Regiane,
que são os pilares da minha vida,
Ofereço

Ao Sergio, pela amizade e pelo companheirismo,
por me apoiar nos momentos de alegria e de dificuldade,
Dedico.

“Tudo vale a pena, se a alma não é pequena.” Fernando Pessoa

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela dádiva da vida e por me conceber a oportunidade de conhecer pessoas que me ensinaram a não desistir nunca dos meus sonhos e continuar sempre caminhando nos momentos difíceis da vida.

Ao Professor Márcio Henrique Pereira Barbosa pela oportunidade, confiança, orientação, paciência, dedicação e amizade.

À Fundação de Apoio à Pesquisa (FUNAPE) pela concessão da bolsa de estudos.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Fitotecnia pela oportunidade de realização do Curso.

Ao pós-doutor Bruno Portela Brasileiro pela disponibilidade em ajudar e pelas valiosas sugestões nas análises estatísticas e no desenvolvimento do trabalho.

Ao Volmir Kirst pela amizade e pelas sugestões e contribuições.

Ao professor Marcos Deon Vilela Resende pela disponibilidade em ajudar nas análises estatísticas.

Ao professor Luiz Alexandre Peternelli pelas sugestões no trabalho.

Ao professor Reinaldo Francisco Teófilo pela ajuda e contribuições nas análises do NIR.

Ao Luís Cláudio Inácio da Silveira pelas sugestões e disponibilidade de participar da minha defesa.

Ao pesquisador Rogério Faria Vieira pelas valiosas sugestões e pela disponibilidade de participar da minha defesa.

Aos queridos amigos Camila, Lidiane, Karla, Cecília, Sofia, Leandro pela amizade e ajuda nos trabalhos de laboratório. Sempre serei imensamente grata a vocês.

Aos funcionários do Laboratório de Biotecnologia e Melhoramento Vegetal e do Laboratório de Pós-Colheita da Macaúba, Telma, Francisco e Elimárcio, que sempre contribuíram para os trabalhos.

Aos queridos amigos do Laboratório de Cultura de Tecidos Vegetais, que me apoiaram desde que conheci a trabalhar no laboratório.

Aos professores do DFT que contribuíram para meu crescimento acadêmico e profissional.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, Sr. Sebastião, Rita, Luizinho, Tatiani, Lidia pela amizade e disponibilidade em ajudar.

Ao Grupo do Programa de Melhoramento de Cana-de-Açúcar pela amizade.

Às amigas Luciana Rosado e Vânia Xavier pelo apoio e conversas.

À querida amiga Evelyn Jardim pelas horas do café, com muito aprendizado e pelas leituras dos meus textos e sugestões.

Aos queridos amigos da Fitoclone, que sempre me apoiaram e pela confiança no meu trabalho.

Aos amigos de curso, pelos momentos de alegria e estudo.

Ao meu pai que nunca desistiu diante das dificuldades e que sempre nos incentivou a estudar.

À minha mãe pelos sacrifícios e lutas para que conseguíssemos chegar até aqui.

Aos meus queridos irmãos, Raphael e Regiane, que estão presentes em minha vida com carinho e dedicação.

À família Soares e Ramos pelas orações, pela torcida e carinho.

Ao Sergio, pela cumplicidade, companhia, carinho, por estar junto comigo nos momentos difíceis e por acreditar que eu seria capaz.

À família Louro e Borges pela amizade e torcida.

Agradeço a todos que de alguma forma contribuíram para que esse sonho se tornasse realidade.

BIOGRAFIA

RACHEL SOARES RAMOS, filha de Domingos Sávio de Oliveira Ramos e Maria Aparecida Soares Ramos, nasceu em Viçosa, Minas Gerais, em 26 de julho de 1982.

Em julho de 2009, graduou-se em Agronomia, pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), Minas Gerais.

Em agosto do mesmo ano iniciou o curso de Mestrado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos necessários para a obtenção a título Magister Scientiae no dia 08 de julho de 2011.

Em agosto de 2011 iniciou o curso de Doutorado em Fitotecnia, na Universidade Federal de Viçosa, concluindo os requisitos necessários para a obtenção a título Doctor Scientiae, no dia 31 de julho de 2015.

SUMÁRIO

RESUMO.....	viii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	3
CAPÍTULO 1: SELEÇÃO DE FAMÍLIAS E CLONES PARA OBTENÇÃO DE CANA ENERGIA.....	6
RESUMO.....	6
ABSTRACT.....	7
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. MATERIAL E MÉTODOS	10
2.1.Avaliação das famílias	10
2.2.Seleção e avaliação dos indivíduos.....	12
2.3 Análise de diversidade	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	13
4. CONCLUSÃO	23
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	24
CAPÍTULO 2: SELEÇÃO DE CLONES DE CANA ENERGIA	28
RESUMO.....	28
ABSTRACT.....	29
1. INTRODUÇÃO.....	30
2. MATERIAL E MÉTODOS	32
2.1 Material Vegetal.....	32
2.2Análises estatísticas	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
3.1.Componentes de variância e parâmetros genéticos.....	33
4. CONCLUSÃO	40
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41
CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA FIBRA EM CANA ENERGIA	47
RESUMO.....	47
ABSTRACT.....	48
1. INTRODUÇÃO.....	49
2. MATERIAL E MÉTODOS	51

2.1. Material Vegetal.....	51
2.2. Análises estatísticas	52
2.2.1. Avaliação do colmo inteiro	52
2.2.2. Avaliação do efeito dos segmentos do colmo	52
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
3.1. Componentes de variância e parâmetros genéticos.....	52
3.2. Componentes químicos da fibra em cana energia.....	56
4. CONCLUSÃO	60
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61
CONSIDERAÇÕES FINAIS	66

RESUMO

RAMOS, Rachel Soares, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2015. **Seleção de cana energia.** Orientador: Márcio Henrique Pereira Barbosa. Coorientador: Luiz Alexandre Peternelli.

A cana-de-açúcar é uma das culturas mais importantes para a produção de açúcar e etanol e, recentemente, para a produção de biomassa. Como forma de explorar ainda mais o potencial energético da cultura, o programa de melhoramento genético da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) vem realizando novas hibridações envolvendo diferentes espécies do complexo *Saccharum*. Este trabalho foi desenvolvido em três partes, de acordo com as fases de seleção do programa de melhoramento da cana-de-açúcar da Universidade Federal de Viçosa (PMGCA/UFV). Na primeira objetivou-se identificar famílias superiores para a seleção visando a obtenção de clones de cana energia. Para isso foram utilizadas duas populações, uma com 15 famílias de meio-irmãos (FMI) e outra com 50 famílias de irmãos completos (FIC). Foi possível identificar quatro grupos distintos entre os clones selecionados nas FIC. A segunda parte objetivou caracterizar uma população constituída por 124 clones de cana energia com relação aos caracteres componentes da produção e de qualidade da fibra, visando identificar clones superiores para obtenção de cultivares de cana energia. Foi possível identificar clones com elevada tonelada de cana por hectare (TCH) e tonelada de fibra por hectare (TFH). Na terceira parte, foi avaliado o teor dos componentes químicos da fibra (celulose, hemicelulose e lignina) em três segmentos do colmo (terço superior, terzo médio e terzo inferior) e no colmo inteiro. A correlação entre teor de fibra no colmo inteiro e nas três partes do mesmo foi elevada ($> 0,7$) sendo superior comparada com a baixa correlação obtida (0,12 a 0,46) entre os teores de celulose, hemicelulose e lignina na cana inteira e nos três segmentos do colmo.

ABSTRACT

RAMOS, Rachel Soares, D.Sc, Universidade Federal de Viçosa, July, 2015. **Selection of Cane Energy**. Adviser: Márcio Henrique Pereira Barbosa. Co-Adviser: Luiz Alexandre Peternelli.

Sugarcane is one of the most important crops for production of sugar and ethanol, and recently, for production of biomass. As a way to explore further the energy potential of sugarcane, the Brazilian Interuniversity Network for the Development of Sugarcane Industry (RIDESA) has been carrying out new hybridizations involving different species of *Saccharum* complex. This study was conducted in three parts. The first purpose was to identify superior parents for selection to obtain energy cane clones. For this, we used two populations, one with 15 half-sibs families (FMI) and the other with 50 full-sib families (FIC). It was possible to identify four distinct groups among clones selected in the FIC, and the group of clones that showed high average for fiber and sucrose stood out. The second part represents the selection of clones (T2) and aimed at characterizing of a population consisting of 124 clones sugarcane components with respect to the character and quality of the production of biomass in order to identify clones to obtain superior varieties cane energy. It was possible to identify clones (UFV09251 and UFV09911) with high values for TCH (tons of cane per hectare) and TFH (tons of fiber per hectare). In the third chapter it were studied the chemical fiber components (cellulose, hemicellulose and lignin) into three segments of the stalk (superior, middle and inferior segment) and in the whole stalk. The correlation between fiber content in the entire stalk and the three segments was high (> 0.7). It was superior when is compare with the correlation (0.12 to 0.46) between the entire stalk and the three segments for cellulose, hemicellulose and lignin content.

INTRODUÇÃO GERAL

A biomassa lignocelulósica tem se mostrado como alternativa viável, sustentável e racional na produção de combustíveis sólidos, líquidos, energia elétrica, biogás, bio-óleo e produtos químicos diversos (Santos et al., 2012).

A cana-de-açúcar é uma das culturas agrícolas mais eficientes na conversão de energia química (Tew e Cobill, 2008). No Brasil, é uma das principais opções para a produção de biomassa, sendo competitiva economicamente em relação a outras culturas (Silveira, 2014). A área cultivada com a cultura no Brasil já ultrapassa 9 milhões de hectares, com produção de 634 milhões de toneladas de cana na última safra (CONAB, 2015).

O bagaço da cana-de-açúcar é composto por cerca de 50% de água e 50% de fibra (Ming et al., 2006). A fibra é um material complexo, constituído de 32 a 48% de celulose, 19 a 24% de hemicelulose, 23 a 32% de lignina e uma pequena quantidade de cinzas e extrativos (Siqueira et al., 2011; Rocha et al., 2012; Souza et al., 2013).

Devido ao grande potencial da cana-de-açúcar para a produção de eletricidade e também de diversos produtos de alto valor agregado, a caracterização dos componentes da fibra é indispensável para a obtenção do máximo rendimento e aproveitamento da biomassa. Quando a intenção é a produção de etanol celulósico é preferível utilizar cultivares com elevada produção de biomassa, associado ao baixo teor de lignina e elevados teores de celulose e hemicelulose na fibra (Tew e Cobill, 2008). Todavia, se a intenção é a cogeração de eletricidade, a lignina tem uma importante função, em razão do seu maior poder calorífico (Loureiro et al., 2011). Além disso, o bagaço é um subproduto de baixo custo de produção e transporte para a indústria canavieira. Dessa forma, este produto pode ser um substituto dos combustíveis fósseis e da madeira na geração de vapor e energia elétrica, permitindo a autossuficiência energética das

unidades produtoras e, em alguns casos a comercialização de energia elétrica excedente (MATSUOKA et al., 2012).

O desenvolvimento de clones de cana-de-açúcar com maior quantidade de biomassa lignocelulósica tem sido objeto de diversos estudos (Sun e Chen, 2002; Girio et al., 2010; Kim e Day, 2011, Silveira 2014). Para obter cultivares de cana energia com as características desejadas para maior potencial de geração de energia na queima ou na produção de etanol de segunda geração, torna-se indispensável a identificação de genótipos superiores para uso em hibridações (Santchurn et al., 2012; Silveira et al., 2015).

Para incrementar o teor de fibra das futuras cultivares, pode-se recorrer a hibridações envolvendo acessos de *Saccharum spontaneum* e *Saccharum robustum* com as variedades modernas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) (Ming et al., 2006; Silveira, 2014). Isso porque as espécies *S. spontaneum* e *S. robustum* apresentam elevados teores de fibra se comparadas com as cultivares modernas (*Saccharum spp.*). Os acessos dessas espécies possuem como principais características a elevada resistência a pragas e doenças, alto vigor, elevado teor de fibra, além de grande capacidade de perfilhamento (Matsuoka et al., 2014).

A Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) iniciou um programa de hibridação envolvendo acessos de *S. spontaneum*, *S. robustum* e cultivares comerciais, visando o desenvolvimento de clones com teores de fibra acima de 17% e que mantenha os atuais 13% de sacarose (Silveira et al., 2015).

Buscando atender as novas demandas do setor sucroenergético, o foco na obtenção das futuras cultivares deve ser concentrado no aumento substancial do teor de fibra aliado a maior produtividade. As futuras cultivares serão denominadas de cana energia e poderão apresentar mais de 30% de fibra (Tew e Cobill, 2008).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Central de informações agropecuárias: safras – cana (2014) (<http://www.conab.gov.br>). Acesso: 09 de maio de 2015

Girio FM, Fonseca C, Carvalheiro F, Duarte LC, Marques S, BogelLukasik R (2010) Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. *Bioresource Technology* 101: 4775-4800

Kim M, Day D (2011) Composition of sugar cane, energy cane, and sweet sorghum suitable for ethanol production at Louisiana sugar mills. *J Ind Microbiol & Biotechnol* 38: 803-807

Loureiro ME, Barbosa MHP, Lopes FJF, Silvério FO (2011) Sugarcane Breeding and Selection for more Efficient Biomass Conversion in Cellulosic Ethanol. In: Buckeridge MS, Goldman GH (ed) *Routes to Cellulosic Ethanol*. Springer, New York, pp 199-239

Matsuoka S, Kennedy AJ, Santos EGD, Tomazela AL, Rubio LCS (2014). Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects *Advances in Botany*. 2014: 1-13 <http://dx.doi.org/10.1155/2014/597275>

Ming R, Moore PH, Wu KK, D'Hont A, Glaszmann JC, Tew TL (2006) Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. In: Janick J (ed) *Plant Breeding Reviews*. John Wiley & Sons, Inc, Oxford, UK. pp 15–118
doi: 10.1002/9780470650349.ch2

Rocha GJM, Martin C, Silva VFN, Gomez EO, Gonçalves, AR (2012) Mass balance of pilot-scale pretreatment of sugarcane bagasse by steam explosion followed by alkaline delignification. *Bioresour. Technol.* 111: 447–452

Santchurn D, Ramdoyal K, Badaloo M G H, Labuschagne M (2012) From sugar industry to cane industry: investigations on multivariate data analysis techniques in the identification of different high biomass sugarcane varieties. *Euphytica* 185: 543-558

Santos FA, Queiróz JH, Colodette JL, Fernandes AS, Guimarães VM, Rezende ST (2012). Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Quim. Nova* 35: 1004-1010

Silveira LCI (2014) Melhoramento genético da cana-de-açúcar para obtenção de cana energia. Tese de doutorado. Universidade Federal do Paraná

Silveira LCI, Brasileiro BP, Kist V, Daros E, Peternelli LA (2015) Genetic diversity and coefficient of kinship among potential genitors for obtaining cultivars of energy cane. *Ciência Agrônômica* 46: 358-368

Siqueira G, Milagres, AMF, Carvalho W, Koch G, Ferraz A (2011) Topochemical distribution of lignin and hydroxycinnamic acids in sugar-cane cell walls and its correlation with the enzymatic hydrolysis of polysaccharides. *Biotechnology for Biofuels*, 07:1-9

Souza AP, Leite DCC, Pattathil S, Hahn MG, Buckeridge MS (2013) Composition and structure of sugarcane cell wall polysaccharides: implications for second-generation bioethanol production. *Bioenergy Research*, 6: 64–579

Sun Y, Cheng JY (2002) Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. *Bioresource Technology* 83:1-11

Tew TL, Cobill RM (2008) Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: Vermerris W (ed) *Genetic Improvement of Bioenergy Crops*. Springer, New York, pp 249-271

CAPÍTULO 1: SELEÇÃO DE FAMÍLIAS E CLONES PARA OBTENÇÃO DE CANA ENERGIA

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das culturas agronômicas de maior eficiência na produção de biomassa. Como forma de explorar ainda mais o potencial energético da cultura, o programa de melhoramento genético da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) vem realizando novas hibridações envolvendo diferentes espécies do complexo *Saccharum*. O objetivo deste estudo foi avaliar a diversidade genética presente nas populações segregantes selecionadas, selecionar as famílias superiores para obtenção de clones promissores e identificar genitores e clones potenciais para desenvolver cultivares de cana energia. Foram avaliadas 50 famílias de irmãos completos (FIC) e 15 famílias de meio-irmãos (FMI). Os acessos com os melhores desempenhos foram RB867515, RB93509, Co285, B70710, MEX68-200, IM76-228 e IM76-229, com destaque para RB93509 e Co285. As estimativas de herdabilidade (0,49 a 0,91) e acurácia (0,70 a 0,95) em relação a produtividade de cana por hectare (TCH), teor de fibra (FIB) e teor de sacarose (PC) indicam alta correlação entre as médias genotípicas preditas e os verdadeiros valores, permitindo uma eficiente seleção de famílias de cana energia. Também foi possível avaliar a variabilidade genética presente nas famílias e nas populações. Foram identificados 4 grupos distintos entre os clones selecionados nas FIC. Merece destaque o grupo formado por clones que apresentou médias elevadas de fibra e sacarose. As informações obtidas nesse trabalho são úteis para o direcionamento das futuras hibridações e na elaboração de novas estratégias de avaliação e seleção em famílias de cana energia.

Palavras-chave: *Saccharum spp.*, bioenergia, fibra e diversidade genética.

ABSTRACT

Sugarcane (*Saccharum* spp.) have been mentioned the agronomic crops more efficient biomass production. As way to explore further the energy potential of culture, the Brazilian Interuniversity Network for the Development of Sugarcane Industry (RIDESA) has been carrying out new hybridizations involving different species of *Saccharum* complex. The aim of this study was to evaluate the genetic diversity present in segregating populations, selecting superior families to obtain promising clones, and identify potential parents for generating energy cane cultivars. For the present study, we evaluated 50 full-sib families (FIC) and 15 half-sib families (FMI). The parents with the best performances were RB867515, RB93509, Co285, B70710, MEX68-200, IM76-228 and IM76-229, especially the parents RB93509 and Co285. Estimates of heritability (0.49 to 0.91) and accuracy (from 0.70 to 0.95) for characters tons of cane per hectare (TCH), fiber (FIB) and sucrose content (PC) indicate high correlation between the average genotype predicted and actual values, enabling efficient selection of energy sugarcane families. It was also possible to evaluate the genetic variability present in families and selected clones. Besides that, it is possible to identify four distinct groups among the clones selected in the FIC. Also noteworthy is the group of clones that showed high average for fiber and sucrose. It was possible to verify the wide genetic variability detected and the presence of promising clones in the populations, it can infer the possibility of use of superior genotypes in new intercrossing and even in future commercial plantations. In addition, the information obtained in this work are essential for the direction of future hybridization and developing new strategies for evaluating and selecting energy cane families.

Key words: *Saccharum* spp., bioenergy, genetic diversity and plant breeding.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das culturas mais importantes para a produção de açúcar e etanol e, recentemente, vem se destacando como principal alternativa na produção de biomassa (Brumbley et al., 2007).

No início dos programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar a atenção dos melhoristas recaía exclusivamente no desenvolvimento de cultivares com elevado teor de sacarose. Diante da possibilidade de utilização da cana-de-açúcar na produção de biomassa, alguns programas iniciaram novas linhas de pesquisa para desenvolver cultivares de cana-de-açúcar com maior teor de fibra, denominadas cana energia (Loureiro et al., 2011). Tais cultivares podem incrementar significativamente a cogeração de energia e permitir melhor aproveitamento da celulose e da hemicelulose, tanto na produção de etanol de segunda geração como na produção de bio-óleo e outros produtos a partir da pirólise da biomassa (Yang et al., 2006).

Recentemente, o programa de melhoramento genético da Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético (RIDESA) iniciou um programa de hibridação envolvendo acessos de *Saccharum spontaneum*, *Saccharum robustum* e *Saccharum spp.* Para desenvolver clones com altos teores de fibra.

Logo, o estudo da diversidade genética no complexo *Saccharum* é fundamental para identificar a variabilidade genética presente nas coleções de germoplasma. Vários métodos podem auxiliar na escolha dos genitores candidatos a serem utilizados no programa de melhoramento. As análises de diversidade genética permitem identificar grupos heteróticos e genitores potenciais para realizar as hibridações e obter novos genótipos de cana-de-açúcar (Santos et al., 2012; Brasileiro et al., 2014; Silveira et al., 2015).

Atualmente, diversas metodologias têm sido utilizadas no estudo da divergência genética, dentre elas a Análise de Componente Principal (ACP). Essa técnica de análise multivariada permite avaliar a variabilidade existente nas populações e indica a importância de cada caráter sobre a variação total disponível entre os genótipos avaliados (Cruz e Carneiro, 2012).

Após as hibridações envolvendo os genitores para a obtenção de cana-de-açúcar, é necessário realizar a avaliação das famílias e, em seguida, selecionar indivíduos dentro das melhores famílias. Várias metodologias podem ser aplicadas nas fases iniciais dos programas de melhoramento genético da cana-de-açúcar para seleção dos indivíduos, como seleção massal (Matsuoka et al., 1999; Mariotti et al., 1999) e as diferentes estratégias que fazem uso das informações de família (Kimbeng e Cox 2003; Resende e Barbosa, 2006; Stringer et al., 2011; Brasileiro et al., 2015).

Alguns programas de melhoramento genético têm adotado a avaliação de famílias, seguida da seleção individual somente nas famílias com valores genotípicos elevados, pois essa estratégia aumenta a probabilidade de se selecionar clones superiores na primeira fase de teste (T1) (Barbosa et al., 2005).

A seleção de clones via procedimento BLUP individual é o procedimento ideal de seleção de indivíduos a serem clonados. Essa seleção deve ser considerada simultaneamente com as informações do indivíduo, da família, do delineamento experimental e com o parentesco entre os genitores (Resende, 2002). Em cana-de-açúcar, ocorre a colheita total da parcela na fase T1, impossibilitando a avaliação individual. Portanto, tal procedimento não pode ser adotado (Resende e Barbosa, 2005). Como alternativa, uma metodologia de seleção, denominada BLUP individual simulado (BLUPIS) foi proposta por Resende e Barbosa (2006). Nessa nova estratégia são selecionadas as famílias que apresentam efeitos genotípicos (VG) positivos e, em seguida, é simulado o número de indivíduos a ser selecionado em cada família.

O objetivo deste estudo foi avaliar a diversidade genética presente nas populações segregantes selecionadas, selecionar as famílias superiores para obter clones promissores e identificar genitores e clones com potencial para desenvolver cultivares de cana energia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Avaliação das famílias

O presente trabalho foi desenvolvido com base na avaliação de indivíduos de duas populações, uma composta por 15 famílias de meio-irmãos (FMI), plantada em 2010, outra, por 50 famílias de irmãos completos (FIC), plantada em 2012.

Os dois ensaios foram plantados em Latossolo vermelho (LVE), no Centro de Pesquisa e experimentação em Cana-de-Açúcar (CECA). O primeiro ensaio foi constituído por 15 FMI e plantado em novembro de 2010. As famílias foram distribuídas no delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições. As parcelas foram constituídas de um sulco de 11,40 m de comprimento, com espaçamento de 1,40 m entre sulcos. Em cada parcela foram distribuídas 20 plântulas, com espaçamento de 0,60 m entre plântulas.

O segundo ensaio foi instalado em novembro de 2012 e constituído por 50 FIC distribuídas no delineamento em blocos casualizados, com cinco repetições. As parcelas constaram de dois sulcos de 15,40 m, com espaçamento de 1,40 m entre sulcos. Em cada parcela foram distribuídas 20 plântulas, com espaçamento de 0,80 m entre plântulas.

Nos dois ensaios (FMI e FIC), a cana-planta foi cortada no mês de julho. No ano seguinte, maio de 2012 e maio de 2014, no ensaio de FMI e FIC, respectivamente, foram realizadas as avaliações das famílias em cana-soca.

Os caracteres agronômicos avaliados nos dois ensaios foram: número médio de colmo por planta (NMC), obtido com a contagem do número de colmos da parcela; peso médio de colmo (PMC), obtido com a pesagem de 10 colmos por parcela; teor de fibra (FIB) e teor de sacarose (PC), obtidos por meio da análise tecnológica de 10 colmos (Coopersucar, 1996). A análise tecnológica foi realizada nas cinco repetições no ensaio de FMI e em duas repetições no ensaio de FIC. Com base nas análises tecnológicas foram estimadas os seguintes caracteres: produtividade de cana por hectare (TCH), calculada com a seguinte fórmula: $TCH = (NMC \times PMC \times 10) / AP$, em que AP corresponde à área da planta (1,12 m²), e 10 é a constante usada para fazer a conversão da massa da planta em toneladas. A produtividade de sacarose por hectare (TPH) foi obtida por: $TPH = (TCH \times PC) / 100$ e a tonelada de fibra por hectare (TFH) por: $TFH = (TCH \times FIB) / 100$.

Os dados dos caracteres foram analisados utilizando o seguinte modelo estatístico: $\mathbf{y} = \mathbf{Xr} + \mathbf{Zg} + \mathbf{e}$, em que: \mathbf{y} é o vetor de dados ($\mathbf{y} \sim N(\mathbf{Xr}, \mathbf{V})$); \mathbf{r} é o vetor dos efeitos de repetição, assumidos como fixos e somados à média geral; \mathbf{g} é o vetor dos efeitos genotípicos, $\mathbf{g} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{G})$, \mathbf{G} é a matriz de covariância genética dos genótipos ($\mathbf{G} = \mathbf{I}\sigma_g^2$); \mathbf{e} é o vetor de erros, em que: $\mathbf{e} \sim N(\mathbf{0}, \mathbf{R})$, \mathbf{R} é a matriz de covariância residual ($\mathbf{R} = \mathbf{I}\sigma_e^2$). \mathbf{X} e \mathbf{Z} são as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Os componentes de variância σ_g^2 e σ_e^2 correspondem à variância genotípica e residual, respectivamente. As análises de modelos mistos REML/BLUP foram realizadas por meio do software SELEGEN (Resende, 2007).

2.2. Seleção e avaliação dos indivíduos

Nas FMI, a estratégia de seleção adotada foi o BLUPIS, conforme proposto por Resende e Barbosa (2006). Com essa estratégia foram selecionados 116 indivíduos nas 7 famílias que apresentaram valores genotípicos positivos de TCH. Na melhor família (B70710 × ?) foram selecionados 44 indivíduos. O número de indivíduos indicados para seleção em cada família k ($k=1,2,\dots,j,\dots,116$) é calculado por $n_k = (\hat{g}_k / \hat{g}_j)n_j$, em que \hat{g}_j é o valor genotípico da melhor família e n_j equivale ao número de indivíduos indicados para seleção na melhor família (44 indivíduos).

A seleção nas FIC foi realizada com base nos valores genotípicos para o teor de fibra (FIB), teor de sacarose (PC) e produtividade de cana por hectare (TCH). Essas famílias foram ordenadas para os caracteres de produção: TCH, produtividade de fibra por hectare (TFH) e produtividade de sacarose por hectare (TPH). Com base nesses caracteres, foram selecionadas as 10 melhores famílias. Em seguida foram selecionados 5 a 10% dos genótipos presentes nas melhores famílias, o que totalizou 146 indivíduos selecionados em 16 famílias (Tabela 2).

A intenção de selecionar famílias com médias genotípicas elevadas de TCH, TFH e TPH teve como principal razão a manutenção da variabilidade genética na segunda fase de teste (T2) do programa de melhoramento genético. Assim, é esperado selecionar clones com as características industriais presente nas atuais cultivares, ou seja, elevado teor de sacarose associada à maior produtividade de fibras.

Após a seleção dos 146 indivíduos nas famílias de irmãos completos (FIC) e 116 indivíduos nas famílias de meio-irmãos (FMI) foram realizadas as seguintes análises tecnológicas: pureza do caldo em porcentagem (PUR), teor de sacarose (PC), que consiste no teor de sacarose contido no caldo, teor de fibra em porcentagem (FIB) e açúcares totais recuperáveis (ATR), em kg de açúcar por tonelada de cana moída. Os

indivíduos selecionados nas FMI e FIC foram avançados para a segunda fase de teste (T2) em parcelas com 2 sulcos de 4 m, no delineamento em blocos aumentados.

2.3 Análise de diversidade

Foi realizado o agrupamento das famílias de meio-irmãos (FMI), das famílias de irmãos completos (FIC) e dos indivíduos selecionados nos dois tipos de famílias (FMI e FIC) e que deram origem, respectivamente, as populações segregantes 1 e 2 (POP1 e POP2). O agrupamento foi realizado com base na análise de componentes principais (ACP) com a finalidade de avaliar a diversidade genética presente entre e dentro das populações selecionadas com base nos caracteres tecnológicos: PUR, PC, FIB e ATR. A ACP foi realizada com o auxílio do programa R (R Development Core Team, 2014).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros genéticos e ambientais estimados pelo método REML/BLUP na avaliação de 15 famílias de meio-irmãos (FMI) e 50 famílias de irmãos completos (FIC) são apresentados na Tabela 1.

As médias genotípicas de FIB, PC, TCH, TFH e TPH nas FIC foram maiores que nas FMI, principalmente para o teor de fibra (FIB) e para os caracteres de produtividade (TCH, TFH e TPH). Os coeficientes de variação (CV%) demonstram boa precisão experimental na avaliação de todos os caracteres. A variância genotípica apresentou efeito significativo de acordo com a análise de Deviance (Peternelli et al., 2012) indica a presença de variabilidade genética entre as famílias (Tabela 1).

Tabela 1 - Estimativa dos parâmetros genéticos e ambientais em 15 famílias de meio-irmãos (FMI) e em 50 famílias de irmãos completos (FIC) de cana-de-açúcar do Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da Universidade Federal de Viçosa (PMGCA/UFV).

Parâmetros ^ε	FMI					FIC				
	FIB	PC	TCH	TFH	TPH	FIB	PC	TCH	TFH	TPH
σ_g^2	0,334*	1,67*	321,71*	3,17*	3,20*	2,50*	1,57*	714,75*	10,89*	2,74*
h^2	0,49	0,86	0,81	0,79	0,73	0,911	0,68	0,76	0,47	0,25
Acurácia	0,70	0,92	0,90	0,89	0,85	0,95	0,82	0,87	0,68	0,50
CV(%)	12,68	10,42	27,71	28,44	31,08	4,53	10,568	25,88	25,71	28,18
Média geral	10,21	11,09	69,57	7,00	7,67	15,34	11,47	126,24	19,35	14,33

^ε σ_g^2 : variância genotípica; h^2 : herdabilidade para média de famílias; CV (%): coeficiente de variação experimental. *significativo a 5% de probabilidade de acordo com a análise de Deviance. FIB = teor de fibra, PC = teor de sacarose, TCH = produtividade de cana por hectare, TFH = produtividade de fibra por hectare e TPH = produtividade de sacarose por hectare.

Na FMI a herdabilidade média de família no sentido amplo (h^2_{mf}) nas FMI foi alta para PC (0,86), TCH (0,81), TFH (0,79) e TPH (0,73), o que permite selecionar as melhores famílias com uma acurácia acima de 85%. A h^2_{mf} foi considerada moderada para FIB (0,49), mas com acurácia de 0,70.

Nas FIC a herdabilidade média de família no sentido amplo (h^2_{mf}) foi de 0,91, 0,68 e 0,80, para FIB, PC e TCH, respectivamente (Tabela 1). Para esses caracteres, a acurácia foi acima de 80%. Zeni-Neto et al. (2013) estudaram famílias de irmãos completos de cana-de-açúcar e obtiveram estimativas de herdabilidade média entre famílias para TCH de 0,52, com acurácia de 72%. Zhou et al. (2012) também encontraram valores similares aos obtidos no presente estudo para a herdabilidade de FIB e PC. Para TFH e TPH foram obtidos baixos valores de herdabilidade e acurácia, em consequência do menor número de repetições usados nas estimativas desses caracteres, pois as análises tecnológicas foram realizadas em apenas duas repetições, com isso somente duas repetições do TCH puderam ser usadas nas estimativas de TFH e TPH.

Nas sete melhores famílias de meio-irmãos (FMI) foram selecionados 116 indivíduos para o caractere TCH. Os indivíduos selecionados nessas famílias deram origem à população 1 (POP1). Também foram selecionados 147 indivíduos nas 10 melhores famílias de irmãos completos (FIC) para os principais caracteres de produção em cana energia: TCH, TFH e TPH, o que totalizou 16 famílias selecionadas. Os indivíduos selecionados nas famílias de irmãos completos (FIC) deram origem a população 2 (POP2).

Nas FIC, o cruzamento RB93509 × Co421 originou a maior média de FIB (20,34%); o cruzamento RB98710 × IM76-228 gerou a maior média de PC (13,04%). A melhor média de TCH (178,88 t ha⁻¹) ocorreu no cruzamento MEX68-200 × RB93509 (Tabela 2).

Tabela 2 - Médias genotípicas para teor de fibra (FIB), teor de sacarose (PC), tonelada de cana por hectare (TCH), tonelada de fibra por hectare (TFH), tonelada de sacarose por hectare e número de indivíduos selecionados (n_k) nas melhores famílias de meio-irmãos (FMI) e famílias de irmãos completos (FIC).

Famílias		Médias Genotípicas					n_k
MÃE	PAI	FIB	PC	TCH	TFH	TPH	
RB93509 ⁺	B70710 ⁺⁺	15,0	12,5	158,8	23,8	19,9	10
IN84-62 ⁺⁺⁺⁺	IM76-229 ⁺⁺⁺	15,3	11,8	146,9	22,5	17,4	10
RB011623 ⁺	MEX68-200 ⁺	16,3	11,5	157,4	25,7	18,1	10
Co285 ⁺⁺	RB93509 ⁺	14,3	10,6	168,6	24,2	17,8	10
Co453 ⁺	RB0442 ⁺	14,3	11,1	143,3	20,5	15,9	10
CTC9 ⁺	UM69-001 ⁺⁺	15,2	11,8	142,1	21,6	16,7	10
Co62175 ⁺⁺	Co285 ⁺⁺	13,0	12,0	135,1	17,6	16,3	10
RB867515 ⁺	US85-1008 ⁺⁺	16,5	12,0	134,3	22,2	16,1	10
US74-103 ⁺⁺	RB96524 ⁺	14,5	11,0	150,5	21,9	16,7	10
MEX68-200 ⁺	RB93509 ⁺	14,8	9,37	178,8	26,6	16,7	10
Co62175 ⁺	28NG-289 ⁺⁺⁺	16,3	9,98	167,7	27,4	16,7	10
Co617 ⁺	RB04811 ⁺	13,1	9,73	161,3	21,2	15,7	10
RB047232 ⁺	Co285 ⁺⁺	16,0	12,5	126,2	20,2	15,8	9
IM76-228 ⁺⁺⁺	RB867515 ⁺	16,1	12,6	156,5	25,3	19,8	7
RB98710 ⁺	IM76-228 ⁺⁺⁺	14,8	13,0	147,0	21,8	19,1	6
RB93509 ⁺	Co421 ⁺	20,3	10,4	119,8	24,3	12,4	5
<hr/>							
147							
B70710 ⁺⁺	?	10,0	8,4	108,4	10,8	9,1	44
F150 ⁺	?	10,0	12,1	82,1	8,2	9,9	18
IN84-105 ⁺⁺⁺⁺⁺	?	9,9	11,2	84,1	8,3	9,4	17
CANA							
BLANCA ⁺⁺⁺⁺	?	10,5	11,9	82,6	8,7	9,9	13
NG57-6 ⁺	?	10,6	12,6	74,3	7,9	9,4	9
Co62175 ⁺⁺	?	9,7	11,4	76,4	7,4	8,7	8
Co223 ⁺⁺	?	10,1	11,0	77,3	7,8	8,5	7
<hr/>							
116							
<hr/>							
263							

⁺Saccharum spp., ⁺⁺F1 proveniente de cruzamento com Saccharum spontaneum, ⁺⁺⁺Saccharum robustum, ⁺⁺⁺⁺S. spontaneum, ⁺⁺⁺⁺⁺S. officinarum, [?]Genitores desconhecidos.

Mais de um cruzamento envolvendo os genitores RB867515, RB93509, Co285, B70710, MEX68-200, IM76-228 e IM76-229 apresentaram médias altas de fibra e produtividade de canas, com destaque para os genitores RB93509 e Co285 que foram selecionados em 4 e 3 cruzamentos, respectivamente (Tabela 2). O genitor B70710 apresentou a maior média genotípica de TCH (108,4). Este pode ser considerado um genitor promissor para futuros cruzamentos.

É interessante notar que esses genótipos são derivados de *S. spontaneum*, e *S. robustum*, o que demonstra a importância dessas espécies para incrementar a biomassa da cana nos programas de melhoramento para obter cana energia, pois esses progenitores apresentam maior teor de fibra se comparado com as demais espécies do gênero *Saccharum* (Tew e Cobill, 2008).

Com base na análise tecnológica realizada nos indivíduos selecionados nas melhores famílias foi possível avaliar a variabilidade genética nas populações segregantes selecionadas e nas melhores FMI e FIC via análise de componentes principais (ACP) (Figura 1).

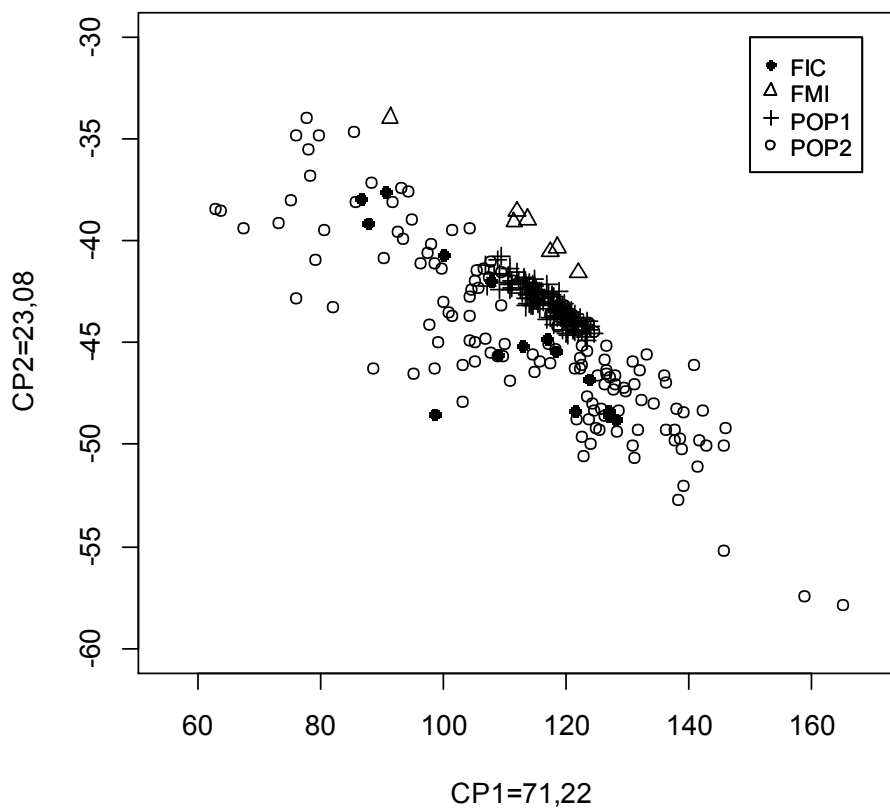


Figura 1 - Distribuição dos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2). Demonstra a dispersão dos clones das duas populações avaliadas (POP1 e POP2), das famílias selecionadas de meio-irmãos (FMI) e irmãos completos (FIC).

A ACP permite estudar a diversidade genética e contribui para a avaliação da importância de cada caráter em estudos sobre a variação total disponível entre os genótipos. Além disso, a ACP é eficiente quando os dois primeiros componentes

explicam mais de 80% da variação total encontrada (Cruz e Carneiro, 2012). Neste estudo, o primeiro componente principal explicou 71,2% da variância total, enquanto o segundo componente explicou 23,1%. Portanto, os dois primeiros componentes principais explicaram cerca de 94% da variação (Figura 1 e Tabela 3). PUR, PC e ATR apresentaram correlações mais altas com o primeiro componente principal, com os respectivos valores de 0,90, 0,98 e 0,97. FIB apresentou maior coeficiente de correlação (-0,90) com o segundo componente principal (CP2) (Tabela 3).

Tabela 3 – Variâncias (λ_i), proporção da variância total explicada (% explicada) e os coeficientes de correlação entre os caracteres tecnológicos (PUR, FIB, PC e ATR) e cada componente principal (CP).

CP	λ_i	% explicada	Caracteres			
			PUR*	FIB	PC	ATR
CP1	288,8	72,2	0,9	-0,4	0,9	1,0
CP2	0,8	22,1	-0,2	-0,9	-0,1	-0,1
CP3	0,2	5,6	-0,4	0,0	0,2	0,2
CP4	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,0	0,0

*PUR = pureza do caldo, FIB = teor de fibra, PC = teor de sacarose, ATR = açúcares totais recuperáveis.

A dispersão gráfica dos escores obtidos na ACP permitiu visualizar a divergência entre as famílias (FIC e FMI) e os indivíduos selecionados nas duas populações (POP1 e POP2) (Figura 1). Santchurn et al. (2012) realizaram a ACP usando caracteres tecnológicos e componentes da produção de biomassa, como produção de colmo, palha e ponteiros. Observaram que o CP1 correlacionou-se com os caracteres de qualidade da cana (FIB, PC e BRIX) e o CP2 correlacionou-se com caracteres relacionados à produção de biomassa. Esses resultados demonstram a importância dos caracteres tecnológicos no processo de avaliação da diversidade genética de famílias e

das populações segregantes selecionadas nos programas de melhoramento da cana-de-açúcar.

Para os caracteres tecnológicos PUR, FIB, PC e ATR, houve pouca variabilidade entre as médias das FMI e entre os indivíduos que deram origem a POP1. As FIC e a POP2 apresentaram as maiores médias para todos os caracteres avaliados. Houve maior variabilidade nas famílias de irmãos completos e em sua população segregante selecionada (POP2) (Figura 2).

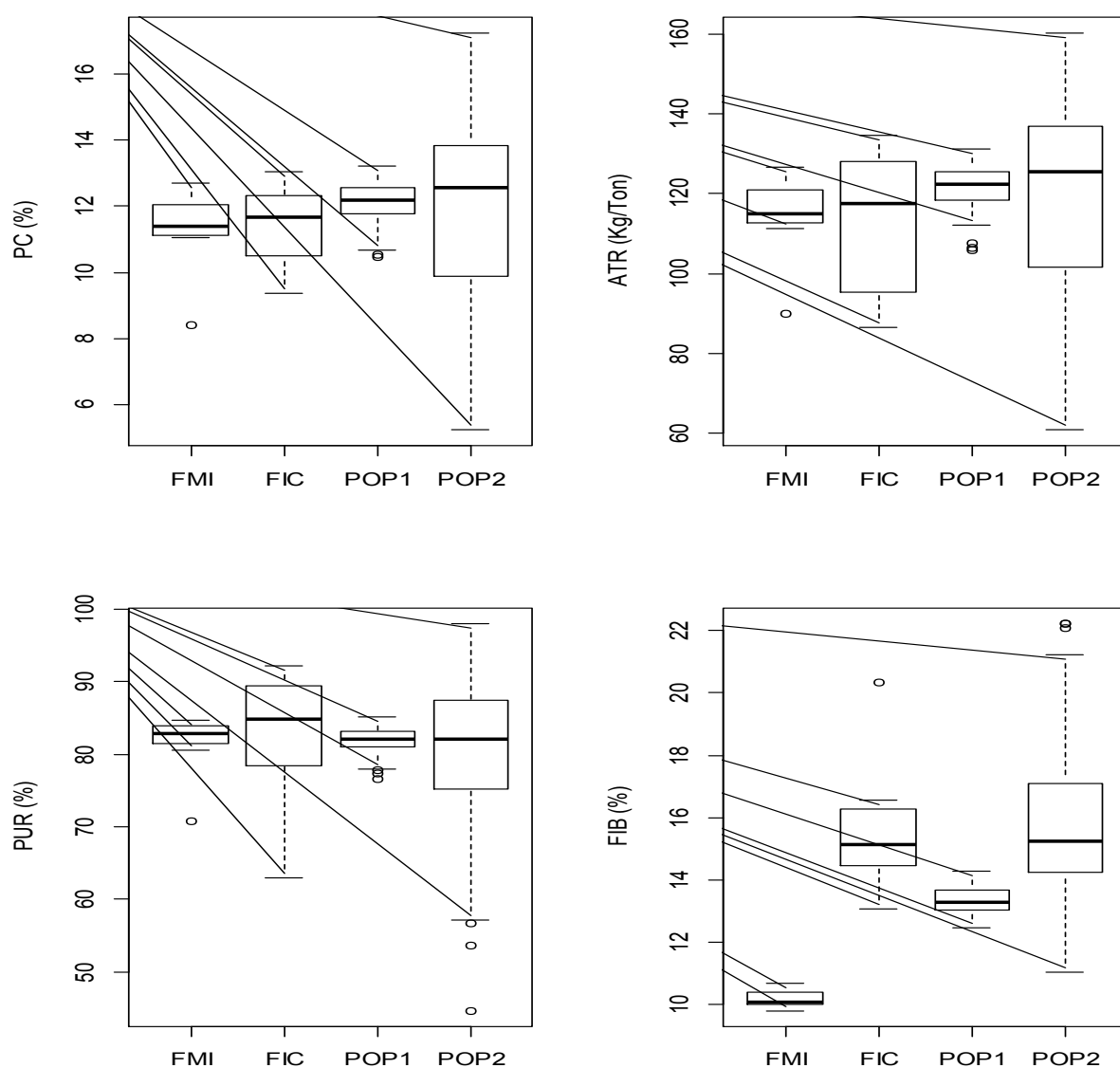


Figura 2 - Box-plot do teor de sacarose (PC), açúcares totais recuperáveis (ATR), pureza (PUR) e teor de fibra (FIB) em função das famílias selecionadas de meio-irmãos (FMI) e irmãos completos (FIC) e nas populações segregantes 1 e 2 (POP1 e POP2).

Para observar com detalhes a variabilidade presente na POP2, os dados de FIB e PC foram apresentados em gráfico (Figura 3), o que possibilitou a identificação visual de 4 grupos (G1, G2, G3 e G4). Os teores de fibra e sacarose dos indivíduos do grupo 1 (G1) ficaram acima dos valores encontrados em variedades comerciais, com média de 14,2% de FIB e 14,1% de PC. No grupo 2 (G2) os indivíduos apresentam 14,5% de fibra e 9,4% de sacarose, ou seja, teor de fibra acima da média das variedades comerciais, mas com baixo conteúdo de sacarose. Os genótipos do grupo 4 (G4) apresentaram médias elevadas para fibra (17,15%) e os valores de sacarose nos genótipos se mantiveram próximos aos valores encontrados nas variedades atuais (13,6%). Os genótipos que formaram o grupo 3 (G3) apresentaram alto teor de fibra, com média de 18,7% e baixo teor de sacarose, média de 9,2%. Alguns clones atingiram 22,22% de fibra, como se pode observar na Tabela 4. Esses resultados indicam o grande potencial da cana-de-açúcar para a produção de energia e outros produtos com alto valor agregado (Santos et al., 2012; Santchurn et al., 2012; Rocha et al., 2015).

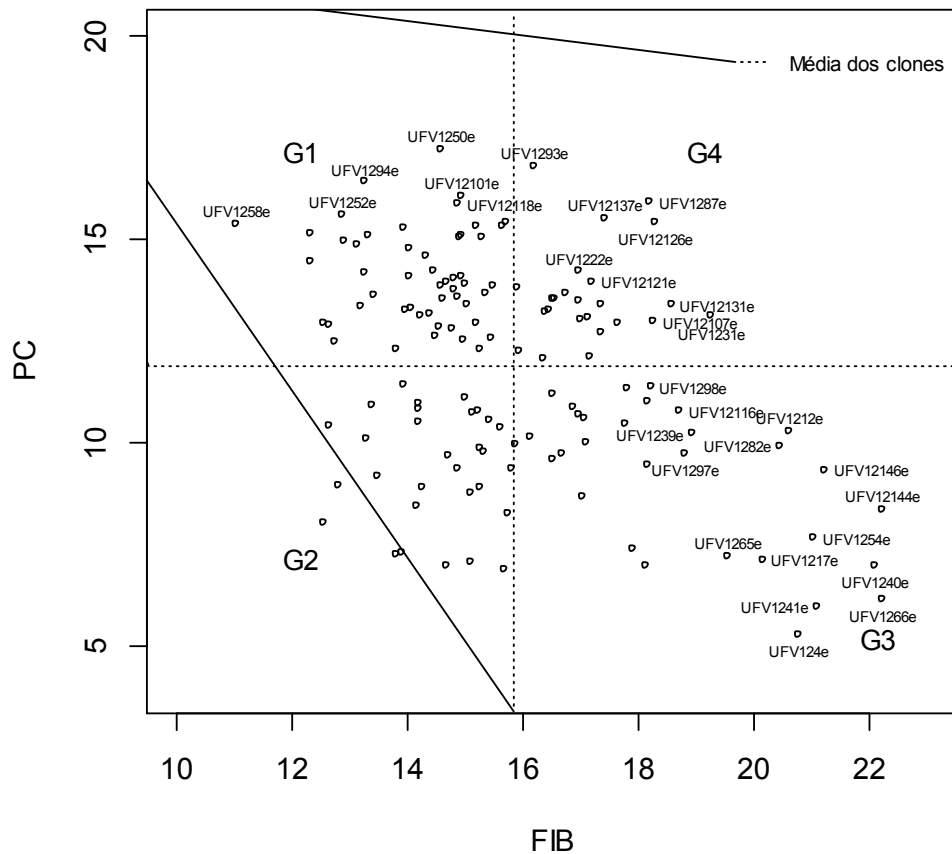


Figura 3 - Distribuição das médias para o teor de fibra (FIB) e o teor de sacarose (PC) dos 136 clones pertencentes a população 2 (POP2), com a formação de quatro grupos de clones de cana-de-açúcar (G1, G2, G3 e G4).

No presente trabalho foi possível obter genótipos com altos teores de fibra e sacarose com os poucos genitores de *S. spontaneum* e *S. robustum* usados, ou seja, os resultados sugerem a possibilidade de combinar alto teor de fibra de *S. spontaneum* e *S. robustum* com o alto teor de sacarose das cultivares atuais. Esse resultado demonstra o potencial existente na exploração da variabilidade genética presente no gênero *Saccharum*. Portanto, a introdução de novos acessos e o aumento do teor de fibra via seleção recorrente dentro das populações de *S. spontaneum* e *S. robustum* poderá alterar as características agrônomicas e industriais das futuras cultivares de cana-de-açúcar. Na As médias dos quatro grupos formados a partir da POP2, além dos valores máximos, mínimos e do desvio-padrão para cada caractere avaliado (Tabela 4).

Tabela 4 - Média, desvio-padrão (DP), valores máximos (MÁX) e mínimos (MÍN) nos quatro grupos (G1, G2, G3 e G4) formados na população 2 (POP2).

Caracteres*	Grupo G1				Grupo G2			
	MÉDIA	DP	MÁX	MÍN	MÉDIA	DP	MÁX	MÍN
FIB	14,2	1,0	15,7	11,0	14,5	0,9	15,8	12,5
PC	14,1	1,1	17,2	12,3	9,4	1,4	11,4	6,9
PUR	88,1	7,8	128,2	78,7	71,2	6,6	79,8	56,7
ATR	139,0	10,0	160,2	122,8	98,2	11,8	116,7	75,5
	Grupo G3				Grupo G4			
	MÉDIA	DP	MÁX	MÍN	MÉDIA	DP	MÁX	MÍN
FIB	18,7	1,94	22,2	15,8	17,1	0,9	19,2	15,8
PC	9,2	1,8	11,4	5,3	13,6	1,2	16,8	12,1
PUR	73,2	10,1	85,5	44,6	88,2	8,7	90,4	70,1
ATR	95,0	14,9	114,8	61,0	134,2	9,7	156,8	120,7

* FIB = teor de fibra (%), PC = teor de sacarose (%), PUR = teor de pureza (%) e ATR = açúcar total recuperável.

A pureza é um caracter que influencia diretamente a qualidade do açúcar. Esse caractere indica o estágio de maturação da cana-de-açúcar e também o teor de sacarose (PC) contido nos sólidos solúveis (BRIX). De acordo com essa premissa, pode-se inferir na possibilidade de selecionar genótipos do grupo 4 (G4) tanto para a produção de açúcar quanto para a cogeração de energia, pois além de possuírem alto teor de fibra, alguns indivíduos possuem grau de pureza satisfatório.

A seleção de genitores e os cruzamentos em cana-de-açúcar devem ser realizados com base em informações sobre a divergência genética e o coeficiente de parentesco entre os genótipos, de forma a explorar ao máximo os efeitos de dominância via hibridações entre genótipos de diferentes grupos heteróticos (Paternelli et al., 2009; Brasileiro et al., 2014, Silveira et al., 2015). Portanto, os resultados apresentados nesse trabalho podem ser úteis na realização de novos cruzamentos que envolvem genitores com maior teor de fibra advindo principalmente de descendentes de *S. spontaneum* (Co421, US85-1008 e MEX68-200) e *S. robustum* (28NG289, IM76-229 e IM76-228).

O aumento do teor de fibra via seleção recorrente nas populações de *S. spontaneum* e *S. robustum* são essenciais para o sucesso do programa de cana energia, pois o uso de genitores com elevados teores de fibra podem gerar famílias e clones com

teores de fibra superior aos selecionados. Kennedy (2008) obteve indivíduos de cana-de-açúcar com 42% de fibra em um longo programa de seleção recorrente.

As informações obtidas neste estudo são essenciais para o direcionamento das novas hibridações e na elaboração de novas estratégias de avaliação e seleção em famílias de cana energia. Os cruzamentos intra e interespecíficos envolvendo o complexo *Saccharum* devem ser explorados, para o incrementar o teor de fibra presente nas futuras cultivares.

Devido à expansão do cultivo da cana-de-açúcar nos últimos anos no Brasil e em outros países o cruzamento das cultivares atuais com descendentes de *S. spontaneum* e *S. robustum* também pode contribuir para a introgressão de alelos responsáveis por maior longevidade dos canaviais, maior capacidade de perfilhamento e também para a tolerância aos principais estresses bióticos e abiótico que ocorrem na cultura.

4. CONCLUSÃO

Foi possível selecionar clones com alto teor de fibra e baixo teor de sacarose, assim como clones que apresentam os mesmos teores de fibra e sacarose das cultivares atuais. Os cruzamentos RB93509 × Co421, RB98710 × IM76-228 e MEX68-200 × RB93508 apresentaram as maiores médias genotípicas para FIB, PC e TCH, respectivamente.

Os clones UFV1252e, UFV1294e e UFV1250e foram destaques, por apresentar os mesmos teores de fibra e sacarose das cultivares comerciais. Os clones UFV1287e, UFV12137e apresentaram altos teores de fibra associados a teores de sacarose comparáveis à cultivares atuais. Portanto, esses clones podem ser utilizados em diversas vias dos processos tecnológicos na indústria e biorrefinarias.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barbosa MHP, Resende MDV, Bressiani JA, Silveira LCI, Peternelli LA (2005) Selection of sugarcane families and parents by REML/BLUP. *Crop BreedAppl Biotechnol* 5: 443-450

Brasileiro BP, Marinho CD, Costa PMA, Peternelli LA, Resende MDV, Cursi DE, Hoffmann HP, Barbosa MHP (2014) Genetic diversity and coefficient of parentage between clones and sugarcane varieties in Brazil. *Genet Mol Res* 13: 9005-9018

Brasileiro BP, Marinho CD, Costa PMA, Cruz CD, Peternelli LA, Barbosa MHP (2015) Selection in sugarcane families with artificial neural networks. *Crop Breeding and Applied Biotechnology* 15: 72–78

Brumbley SM, Purnell MP, Petrasouits LA, Nielsen LK, Twine PH (2007) Developing the sugarcane biofactory for high value biomaterials. *International Sugar Journal* 109: 5-15

Cruz CD e Carneiro PCS (2012) Modelos Biométricos aplicados ao melhoramento genético. Editora UFV, Viçosa

Kennedy AJ (2008) Prospects for combining high sucrose content with increased fibre to generate multi-purpose cane varieties. In: Proceedings of the Conference of West Indies Sugar Technologists, Jamaica. Disponível em:

<http://www.jamaicasugar.org/wist/Proceedings/Prospects%20for%20combining%20high%20sucrose%20content.pdf>. Accessed 02 december 2014

Kimbeng CA, Cox MC (2003) Early generation selection of sugarcane families and clones in Australia: a review. *J Am Soc Sugarcane Technol* 23: 20-39

Loureiro ME, Barbosa MHP, Lopes FJF, Silvério FO (2011) Sugarcane Breeding and Selection for more Efficient Biomass Conversion in Cellulosic Ethanol. In: Buckeridge MS, Goldman GH (ed) *Routes to Cellulosic Ethanol*. Springer, New York, pp 199-239

Mariotti JÁ, Cuenya MI, Salas MBG (1999) Análisis de componentes familiares e intra familiares em progênies de combinaciones biparentales de cana de azucar (*Saccharum spp.*). *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán* 76: 52-57

Matsuoka S, Garcia AAF, Calheiros GG (1999) Hibridação em cana-de-açúcar. In: Borém A (ed) *Hibridação Artificial de Plantas*. Editora da UFV, Viçosa, pp 221-254

Peternelli LA, Ferreira FM, Rocha RB, Barros WS, Barbosa MHP (2009) Análise dos coeficientes de endogamia e de parentesco para qualquer nível de ploidia usando o pacote estatístico R. *Bragantia* 68: 849-855

Peternelli LA, Resende MDV, Mendes TO (2012) Experimento e Análise Estatística em Cana-de-Açúcar. In: Santos F, Borém A, Caldas C (ed) *Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol – Tecnologias e Perspectivas*. Editora UFV, Viçosa, pp 333-354

R Development Core Team (2014) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>

Resende MDV, Barbosa MHP (2005) Melhoramento genético de plantas de propagação assexuada. EMBRAPA, Colombo

Resende MDV, Barbosa MHP (2006) Selection via simulated BLUP based on family genotypic effects in sugarcane. Pesquisa Agropecuária Brasileira 41: 421-429

Resende MDV (2002) Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes. Embrapa Informação Tecnológica (Brasília)

Resende MDV (2007) Matemática e Estatística na Análise de Experimentos e no Melhoramento Genético. EMBRAPA, Brasília

Rocha GJM, Nascimento VM, Gonçalves AR, Silva VFN, Martín C (2015) Influence of mixed sugarcane bagasse samples evaluated by elemental and physical–chemical composition Industrial Crops and Products 64: 52–58

Santchurn D, Ramdoyal K, Badaloo M G H, Labuschagne M (2012) From sugar industry to cane industry: investigations on multivariate data analysis techniques in the identification of different high biomass sugarcane varieties. Euphytica 185: 543-558

Santos JM, Duarte Filho LSC, Soriano ML and Silva PP (2012) Genetic diversity of the main progenitors of sugarcane from the RIDESA germplasm bank using SSR markers Industrial. Crops Products 40: 145-150.

Silveira LCI, Brasileiro BP, Kist V, Daros E, Peternelli LA (2015) Genetic diversity and coefficient of kinship among potential genitors for obtaining cultivars of energy cane. *Ciência Agronômica* 46: 2015

Stringer JK, Cox MC, Atkin FC, Wei X, Hogarth D M (2011) Family Selection Improves the Efficiency and Effectiveness of Selecting Original Seedlings and Parents. *Sugar Tech* 13: 36-41

Tew TL, Cobill RM (2008) Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: Vermerris W (ed) *Genetic Improvement of Bioenergy Crops*. Springer, New York, pp 249-272

Yang H, Yan R, Chen H, Zheng C, Lee DH, Liang DT (2006) n-Depth investigation of biomass pyrolysis based on three major components: hemicellulose, cellulose and lignin. *Energy & Fuels* 20: 388-393

Zeni-Neto H, Daros E, Bessalho-Filho JC, Scapim CA, Vidigal MCG, Filho, PSV (2013) Selection of families and parents of sugarcane (*Saccharum* spp.) through mixed models by joint analysis of two harvests. *Euphytica* 193: 391-408

Zhou M, Lichakane M, Joshi SV (2012) Family evaluation for quality traits in South African sugarcane breeding programmes. *Proceedings South African Sugar technologist association* 85: 221-236

CAPÍTULO 2: SELEÇÃO DE CLONES DE CANA ENERGIA

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi caracterizar uma população de clones de cana-de-açúcar com relação aos componentes da produção e de qualidade da biomassa, para identificar clones superiores para obtenção de cultivares de cana energia. Foram estimadas as médias genóticas de 124 clones para os caracteres componentes da produção: número de colmo (NC) e peso médio de colmos (PMC), além dos componentes de qualidade da biomassa: os teores de fibra (FIB), lignina (LIG) e conteúdo de sacarose (PC). Com esses caracteres foi possível estimar a produtividade de colmo por hectare (TCH), a produtividade de fibra por hectare (TFH) e a produtividade de lignina por hectare (TLH). Os efeitos dos clones foram significativos ($p < 0,01$) para todos os caracteres, exceto para TLH e LIG. As estimativas de herdabilidade e a acurácia foram de alta magnitude para o caráter NC (0,62 e 0,78), o que indica alta correlação entre as médias genóticas preditas e os verdadeiros valores, permitindo uma seleção eficiente de clones de cana energia. Os clones UFV09251 e UFV09911 apresentaram os maiores valores genóticos de TFH e TCH. O clone UFV0911 também se destacou por apresentar 16 colmos por metro e peso médio de colmos de 2,09 Kg. O clone UFV09270 apresentou elevado teor de fibra (15,04%). O clone UFV09225 apresentou elevado conteúdo de sacarose (14,05%). As correlações entre TFH e TLH foram de moderada magnitude (0,51). A correlação entre TFH e TCH foi alta (0,89). As correlações entre TCH e seus componentes de produção NC e PMC foram de moderada magnitude (0,56 e 0,59). Os clones UFV09251 e UFV09911 têm alto potencial de se tornarem cultivares de cana energia, pois possuem alta produtividade de colmo e de fibra.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., fibra, lignina, biomassa

ABSTRACT

The study was carried out to characterize the population of sugarcane clones. It were estimated genotypic average of 124 clones for the production components characters: number of cane (NC), mean weight of canes (PMC), in addition to biomass quality components: the fiber content (FIB), lignin (LIG) and sucrose (PC). With these characters could be estimated ton of cane per hectare (TCH), ton of fiber per hectare (TFH) and ton of lignin per hectare (TLH). There were statistically significant differences ($p < 0.01$) for all characters except for TLH and LIG. Heritability estimates and the accuracy were of high magnitude for the NC character (0.621 and 0.788), indicating a high correlation between the average genotype predicted and actual values, enabling efficient selection of energy cane clones. The UFV09251 e UFV09911 clones showed the highest genotypic values for TFH and TCH. The UFV0911 clone also stood out among the clones with the highest number of cane (16 cane per meter) and mean weight of stalks (2,09Kg). The UFV09270 clone showed high fiber content (15.04%). The clone UFV09225 showed high sucrose content (14.05%). Correlations between TFH and TLH were of moderate magnitude (0.51). However, the correlation TFH and TCH was high (0.89). Correlations of TCH and NC and PMC showed moderate magnitude (0.56 and 0.59). Thus, the clones UFV09251 and UFV09911 can be recommended to selected to obtain energy cane cultivars, because this clones showed the highest values for TCH and TFH, besides showed high NC and PMC. The UFV09262 clone showed high levels of FIB and can be selected for obtaining energy cane.

Key words: *Saccharum* spp., fiber, lignin, biomass

1. INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar tem se destacado no cenário mundial em razão do elevado potencial de produtividade de sacarose, produto amplamente utilizado para a produção de açúcar e etanol. Além disso, nos últimos anos os resíduos do processamento industrial, tais como o bagaço, folhas e ponteiros, passaram a ser analisados em relação ao potencial para produzir etanol de segunda geração e para cogeração de energia elétrica (Rípoli et al., 2000; Santos et al., 2012).

No Brasil, a cana-de-açúcar ocupa, aproximadamente, 9 milhões de hectares. Na safra de 2014/15 a produção de colmos ultrapassou 634 milhões de toneladas e a produção de açúcar foi de 35 milhões de toneladas. A produção de etanol apresentou um aumento de 2,53% em relação à safra anterior, chegando a 28 bilhões de litros (CONAB, 2015).

Na safra atual, a tendência é de aumento da produção de cana-de-açúcar, tendo em vista o preço competitivo do etanol em relação a gasolina e também devido à expectativa de aumento na cogeração de energia elétrica, pois haverá maior quantidade de resíduos para a queima nas caldeiras.

O bagaço é um produto fibroso resultante do esmagamento da cana-de-açúcar para extração do caldo (Rocha et al., 2015). O bagaço possui alto conteúdo energético (Waclawovsky et al., 2010), e apresenta grande potencial de rendimento energético (Santchurn et al., 2012; Rocha et al., 2015). Além disso, o uso do bagaço pode trazer vários benefícios ambientais (Macedo et al., 2008; Ferreira et al., 2013; Rocha et al., 2015).

O bagaço fresco é composto por cerca de 50% de água e 50% de fibra (Ming et al., 2006). A fibra é um material complexo constituído de 32 a 48% de celulose, 19 a 24% de hemicelulose, 23 a 32% de lignina e uma pequena quantidade de cinzas e extrativos (Siqueira et al., 2011; Rocha et al., 2012; Souza et al., 2013).

Tendo em vista o grande potencial da cana-de-açúcar para a produção de energia e também de diversos produtos de alto valor agregado (Santos et al., 2012), a caracterização dos componentes da fibra é indispensável para a obtenção de alto rendimento energético. Quando a intenção é a produção de etanol celulósico é preferível utilizar cultivares com alto conteúdo de celulose e hemicelulose e baixo de lignina (Tew e Cobill, 2008). Todavia, se a intenção é a cogeração de eletricidade, a lignina tem uma importante função, em razão do seu maior poder calorífico (Loureiro et al., 2011). Silveira et al. (2015) concluíram que o aumento da produção de lignina ocorre devido à maior produção de biomassa. Por isso, pesquisas têm se intensificado nos últimos anos, para desenvolver cultivares de cana-de-açúcar, denominadas cana energia, com alta produtividade de biomassa, (Loureiro et al., 2011).

Para o desenvolvimento de cultivares de cana energia normalmente são realizados cruzamentos entre *Saccharum officinarum* e *Saccharum spontaneum* (Ming et al., 2006; Wang et al., 2008; Loureiro et al., 2011). *S. spontaneum* tem as seguintes características: alto teor de fibra (Waclawovsky et al., 2010), baixo teor de sacarose, resistência a pragas, doenças e aos estresses abióticos (Ming et al., 2006). Em contrapartida, a espécie *S. officinarum* se caracteriza por apresentar poucos colmos, porém com diâmetro e elevado conteúdo de açúcares (Ming et al. 2006).

O sucesso do melhoramento genético depende da adoção de procedimentos acurados de seleção, os quais se baseiam na estimação dos componentes de variância e na predição das médias genótípicas. Resende (2002) verificou que na seleção e clonagem de genótipos avaliados em testes de progênies é imprescindível a predição dos valores genóticos e não apenas dos valores genéticos aditivos.

O objetivo desse trabalho foi selecionar uma população de clones de cana-de-açúcar visando obter variedades de cana energia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Material Vegetal

O experimento foi conduzido no Centro de Experimentação em Cana-de-Açúcar (CECA), localizado no município de Oratórios, Minas Gerais, Brasil. As plântulas foram transplantadas em abril de 2010, formando a população base (T1), composta por 15 famílias de meio-irmãos. A segunda fase de teste (T2) foi constituída a partir da seleção de 124 clones nas melhores famílias da fase T1, por meio do procedimento BLUPIS (Resende e Barbosa, 2006). O plantio do T2 foi realizado em fevereiro de 2011 no delineamento experimental em blocos aumentados. Cada bloco foi constituído de 12 clones e duas testemunhas adicionais (RB867515 e SP80-1842). A parcela experimental foi composta por uma linha de 5 m, com espaçamento de 1,4 m entre linhas e com o plantio de 18 gemas/m⁻¹.

As avaliações foram feitas na fase T2 em cana-planta e cana-soca em julho de 2012 e 2013, respectivamente. Foram realizadas as avaliações dos caracteres agronômicos e as análises tecnológicas. Os caracteres agronômicos avaliados foram: número de colmo em 5 metros (NC), peso médio de colmos (PMC), em kg, obtido com a pesagem de 10 colmos por parcela.

Os 10 colmos foram desintegrados e prensados. O bagaço residual (contendo caldo não extraído e fibra) foi pesado para obter o peso do bagaço úmido (PBU) e após a pesagem o bagaço foi colocado em estufa com circulação forçada de ar para secagem até peso constante, obtendo-se assim o peso do bagaço seco (PBS). O teor de fibra (FIB) e o teor de sacarose (PC) foram obtidos de acordo com Fernandes (2011). Com base em análises espectrométricas e com base em modelos de calibração construídos por Assis (2013), estimou-se o teor de lignina.

A tonelada de cana por hectare (TCH) foi obtida a partir da seguinte expressão:
 $TCH = (NC \times PC \times 10) / 7$. Baseado na TCH, FIB e LIG foi possível estimar a tonelada

de fibra por hectare (TFH): $TFH = (TCH \times FIB) / 100$ e a tonelada de lignina por hectare (TLH): $TFH = (TFH \times LIG) / 100$.

2.2 Análises estatísticas

Os dados foram analisados via modelos mistos REML/BLUP. Os valores genotípicos dos clones foram obtidos baseado no modelo estatístico: $y = X_m + Z_g + W_b + Q_p + T_i + e$, em que y é o vetor de dados, m é o vetor dos efeitos das combinações medição-repetição-local (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), b é o vetor dos efeitos de blocos (assumidos como aleatórios), p é vetor dos efeitos de ambiente permanente (parcelas no caso) (aleatórios), i é o vetor dos efeitos da interação genótipos x locais e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos. Os parâmetros genéticos e os componentes de variância dos caracteres foram obtidos por meio do software Selegen – REML/BLUP (Resende, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Componentes de variância e parâmetros genéticos

A variância genotípica apresentou efeito significativo ($p < 0,01$), de acordo com a análise de deviance (Paternelli et al., 2012), para os caracteres TFH, TCH, FIB, NC, PMC e PC (Tabela 1).

Tabela 1 - Estimativa dos componentes de variância e parâmetros genéticos para os caracteres: toneladas de fibra por hectare (TFH), toneladas de lignina por hectare (TLH), toneladas de cana por hectare (TCH), teor de fibra (FIB), teor de lignina (LIG), número de colmos (NC), peso médio de colmos (PMC) e teor de sacarose (PC) em 124 clones de cana-de-açúcar nas safras 2012 e 2013.

Parâmetros	Caracteres							
	TFH	TLH	TCH	FB (%)	LIG (%)	NC	PMC	PC (%)
σ_g^2	1,92 ^{ns}	0,24 ^{ns}	165,09*	0,75*	0,07 ^{ns}	2,53*	0,03*	1,73*
h^2g	0,08	0,12	0,13	0,18	0,00	0,24	0,22	0,27
AC	0,64	0,34	0,36	0,42	0,00	0,48	0,46	0,51
r	0,20	0,21	0,22	0,24	0,09	0,59	0,30	0,37
Média	12,89	3,11	97,09	13,28	23,87	10,90	1,24	12,19

: Significativo a 1%() de probabilidade de acordo com a análise de Deviance. ⁽¹⁾ σ_g^2 : Variância genotípica; σ_e^2 : Variância residual; σ_f^2 : Variância fenotípica; h^2g : Herdabilidade individual no sentido amplo; r: repetibilidade; AC: Acurácia seletiva; c^2_{bloc} : coeficiente de determinação dos efeitos de bloco; c^2_{perm} : coeficiente de determinação dos efeitos de ambiente permanente.

Esses resultados indicam a existência de variabilidade genotípica entre os clones avaliados para os caracteres em questão. Essa variabilidade pode ser explorada via seleção. Baffa et al. (2014) avaliaram 286 clones na fase T2 e verificaram efeitos significativos desses clones sobre NC, TCH, FIB, LIG e PC. Entretanto, no presente trabalho, não foi observado efeitos significativos entre os clones para lignina, TFH e TLH, o que provavelmente ocorreu devido à baixa variabilidade existente na população estudada. Essa baixa variabilidade pode ser consequência do número limitado de famílias avaliadas na fase T1.

O valor da herdabilidade foi baixa para todos os caracteres, entretanto, para TFH e PC a acurácia seletiva foi de média magnitude (0,64 e 0,51), o que favorece o processo de seleção de clones. Esses baixos valores de herdabilidade podem ocorrer em razão da influência ambiental sobre os clones de cana-de-açúcar nas primeiras fases da seleção (Matsuoka et al. 2005).

Pedrozo (2006) estudou 130 clones de cana-de-açúcar na segunda fase de teste (T2) e encontraram baixa herdabilidade para TCH, NC e PMC (0,45; 0,25 e 0,13, respectivamente).

O NC mostrou-se repetível entre cana planta e cana soca, pois a repetibilidade foi de média magnitude (0,59). Esses resultados indicam que existe regularidade entre cana-planta e cana soca para NC é possível manter a superioridade desses caracteres ao longo das fases de seleção ou ao longo dos ciclos produtivos (Resende, 2002). Portanto, é possível diminuir os custos de fenotipagem com a realização de poucas análises tecnológicas ao longo das safras.

A repetibilidade apresentou baixa magnitude para TFH (0,20), TLH (0,21), TCH (0,22), FIB (0,24), PMC (0,30), PC (0,37).

Santos et al. (2004) determinaram as estimativas de repetição de diversas características agroindustriais de 20 genótipos de cana-de-açúcar. Esses autores encontraram coeficientes de repetibilidade moderados para TCH (0,60), FIB (0,61) e PC (0,44).

Os clones UFV09251 e UFV09911 apresentaram os maiores TCH (Tabela 2), enquanto o clone UFV09288 apresentou maior NC (12 colmos em 5 metros) e o clone UFV09251, maior peso médio de colmo (1,5 kg).

Matsuoka et al. (2014) relatam algumas características que os clones candidatos a cana energia devem possuir: elevado vigor, rusticidade, elevado perfilhamento e alta capacidade de rebrota de soqueira, rizoma vigoroso e resistência a pragas e doenças, além de elevado teor de fibra.

Wang et al. (2008) cruzaram clones de *S. officinarum* e cultivares comerciais com *S. spontaneum*. Observaram elevado número de colmos em relação às variedades comerciais, porém, o peso médio dos colmos foi menor.

A produção de fibra por hectare (TFH) variou de 13,3 t ha⁻¹ (UFV09245) a 14,3 t ha⁻¹ (UFV09251), com média de 13,60 t ha⁻¹. A produção de lignina por hectare (TLH) variou de 3,1 t ha⁻¹ (UFV09274) a 3,6 t ha⁻¹ (UFV09256), com média de 3,3 t ha⁻¹

(Tabela 2). Silveira et al. (2015) relatam que as famílias com as maiores produções de fibra também foram as de maiores médias para toneladas de lignina por hectare, assim como no presente estudo (Tabela 2).

Tabela 2. Médias genotípicas dos 24 clones de cana-de-açúcar selecionados para TFH, avaliados nas safras 2012 (cana-planta) e 2013 (cana-soca), Oratórios, MG.

Clones	Caracteres ⁽¹⁾							
	TFH	TLH	TCH	FB (%)	LIG (%)	NC	PMC	PC (%)
251	14.3	3.5	113.2	13.5	23.9	11.3	1.5	11.5
256	14.1	3.6	107.1	13.8	23.9	12.0	1.3	12.0
295	14.0	3.5	108.2	13.5	23.9	11.9	1.4	12.6
271	14.0	3.5	106.6	13.7	23.9	11.6	1.3	12.5
263	14.0	3.4	107.7	13.7	23.9	11.8	1.4	12.5
284	13.8	3.3	109.8	13.1	23.9	12.6	1.3	13.1
230	13.7	3.2	108.3	13.0	23.9	11.7	1.4	12.4
236	13.7	3.3	103.8	13.6	23.9	11.3	1.4	11.1
911	13.7	3.4	101.6	13.5	23.9	11.5	1.2	12.3
239	13.6	3.4	99.8	14.1	23.9	11.4	1.2	11.4
276	13.6	3.3	103.1	13.5	23.9	11.9	1.2	12.4
288	13.5	3.3	99.4	13.8	23.9	12.7	1.1	12.9
262	13.5	3.6	95.2	14.3	23.9	11.1	1.2	11.8
274	13.5	3.1	106.3	13.1	23.9	12.0	1.3	12.4
264	13.5	3.3	106.0	13.1	23.9	12.5	1.2	12.7
221	13.5	3.3	106.2	12.9	23.9	12.3	1.2	13.6
250	13.5	3.4	101.9	13.5	23.9	10.5	1.4	11.8
259	13.4	3.4	100.6	13.9	23.9	10.6	1.4	12.0
277	13.4	3.3	100.8	13.5	23.9	11.0	1.3	11.2
195	13.4	3.1	103.9	13.2	23.9	11.0	1.4	13.0
223	13.4	3.3	104.3	13.1	23.9	12.1	1.2	12.1
269	13.4	3.2	110.1	12.8	23.9	12.2	1.3	11.1
249	13.4	3.5	99.5	13.6	23.9	11.5	1.2	11.7
283	13.4	3.1	105.3	13.2	23.9	11.8	1.3	12.7
247	13.3	3.3	100.0	13.5	23.9	11.4	1.2	12.0
275	13.3	3.3	105.7	12.8	23.9	11.4	1.3	11.6
245	13.3	3.3	101.9	13.1	23.9	12.2	1.2	10.9
1842	15.0	3.7	120.7	12.4	23.9	11.5	1.5	14.8
7515	13.0	3.2	106.0	12.1	23.9	8.3	1.8	14.2
Média	13.6	3.3	104.3	13.4	23.9	11.7	1.3	12.1
D.Padrão	0.3	0.1	4.1	0.4	0.0	0.6	0.1	0.7
Variância	0.1	0.0	16.4	0.1	0.0	0.3	0.0	0.5
Máximo	14.3	3.6	113.2	14.3	23.9	12.7	1.5	13.6
Mínimo	13.3	3.1	95.2	12.8	23.9	10.5	1.1	10.9

⁽¹⁾TFH: Toneladas de fibra por hectare (t ha⁻¹); TLH: Toneladas de lignina por hectare (t ha⁻¹); TCH: Toneladas de cana por hectare (t ha⁻¹); FIB: Teor de fibra (%); LIG: Teor de lignina (%); NC: Número de colmos; PMC: Peso médio de colmos (Kg); PC: Teor de sacarose (%).

A produtividade de colmos (TCH) variou de 95,2 t ha⁻¹ (UFV09262) a 113,2 t ha⁻¹ (UFV09251), com média de 104,3 t ha⁻¹ (Tabela 2). Além disso, os clones UFV09251 e UFV09911 também apresentaram elevados valores de TFH. Por isso, esses clones podem ser selecionados para a obtenção de cana energia.

É interessante notar que o clone UFV09251 é oriundo do cruzamento B70710 × ? e CO285 × ?, respectivamente. Esses clones tem como um dos progenitores a espécie *S. spontaneum*, o que demonstra a importância dessa espécie para incrementar os valores de biomassa nos programas de melhoramento da cana-de-açúcar voltados para cana energia. A espécie *S. spontaneum* apresenta maior teor de fibra se comparado com as demais espécies do gênero *Saccharum* (Tew e Cobill, 2008).

O teor de fibra variou de 12,8% (UFV09275) a 14,3% com média de 13,4%. O clone UFV09262 apresentou o maior teor de fibra (14,3%). Evidenciando a sua superioridade e confirmando a possibilidade de seleção desse clone para a produção de biomassa.

O clone UFV09221 apresentou o maior teor de açúcares (13,6%), com média de 12,1%. Esses valores estão de acordo com os teores encontrados nas cultivares atuais, que variam de 11% a 13% (Tew e Cobill, 2008). De acordo com esses autores, cultivares de cana-de-açúcar com teores de fibra em torno de 17% e com 12 a 13% de açúcar, são classificadas como cana do tipo I. Este tipo de cana é interessante do ponto de vista industrial, pois o rendimento de açúcar seria mantido e o bagaço usado na cogeração de energia elétrica apresentaria melhor quantidade e qualidade de fibra, o que permite maior produção de eletricidade por tonelada de resíduo processado.

O teor de lignina (LIG) não variou. Masarin et al. (2011) analisaram alguns parâmetros de produção de 11 clones. Concluíram que clones de porte alto, com alta produtividade de sacarose e biomassa possuem baixo teor de lignina. Vários fatores

podem influenciar na composição lignocelulósica das fibras: genéticos ambientais e métodos de análise (Hatfield e Fukushima, 2005).

Rocha et al. (2015) não encontraram diferenças entre as variedades estudadas com relação à lignina. Segundo esses autores, a quantidade e a composição dos monômeros depende da localização da parede celular, do estágio de desenvolvimento da célula ou tecido e do ambiente de cultivo.

Esse foi o primeiro trabalho com o objetivo de obtenção de variedades de cana energia realizado no PMGC/UFV. No banco de germoplasma da Serra do Ouro, AL, Brasil, existem poucos acessos de *S. spontaneum* e *S. robustum*, o que comprometeu a obtenção de mais famílias derivadas dessas espécies para constituir a população base de seleção para o presente estudo. Portanto, novos cruzamentos devem ser conduzidos, para aumentar o teor de fibra e a produtividade das futuras cultivares de cana energia.

As estimativas de correlações genéticas fornecem informações mais precisas comparadas com as médias fenotípicas, o que eleva as possibilidades de seleção de genótipos superiores, e conseqüentemente, o desenvolvimento de novas cultivares.

As correlações entre TFH com TLH foram positivas e de moderada magnitude (0,54). A correlação de TFH com TCH foi de elevada magnitude (0,89). (Tabela 3). Os caracteres de maior correlação com TLH foram LIG, TCH, e NC (0,81, 0,46 e 0,44), respectivamente. Silveira et al. (2015) estudaram 50 famílias de cana-de-açúcar para obter variedades de cana energia. Verificaram que os caracteres de maior correlação com TFH e TLH foram TCH, NC, LIG, FIB e PMC. Esses resultados sugerem que aumento de qualquer um dos componentes de produção poderia aumento na produção de lignina e fibra.

Tabela 3 – Coeficientes de correlação genética entre os caracteres avaliados em 124 clones de cana-energia, nas safras de 2012 e 2013. PMGCA/UFV, Oratórios, MG.

Caracteres ⁽¹⁾	TFH	TLH	TCH	FB	LIG	NC	PMC
TLH	0,54						
TCH	0,89	0,46					
FB	0,19	0,16	-0,21				
LIG	0,02	0,81	0,02	0,01			
NC	0,55	0,44	0,50	0,13	0,21		
PMC	0,45	0,12	0,62	-0,36	-0,12	-0,26	
PC	0,02	0,20	0,10	-0,19	0,27	0,21	0,02

⁽¹⁾ TFH: Toneladas de fibra por hectare (t ha⁻¹); TLH: Toneladas de lignina por hectare (t ha⁻¹); TCH: Toneladas de cana por hectare (t ha⁻¹); FIB: Teor de fibra (%); LIG: Teor de lignina (%); NC: Número de colmos; PMC: Peso médio de colmos (Kg); PC: Teor de sacarose (%).

Os valores de correlação entre TCH e seus componentes de produção (NC e PMC) foram positivos e de moderada magnitude (0,50 e 0,62; respectivamente) (Tabela 3). Esses valores são semelhantes aos encontrados por Silveira et al. (2015), na avaliação de famílias de cana energia. Silva et al. (2009), Espósito et al. (2012) e Brasileiro et al. (2013) encontraram altos valores de correlação entre TCH e NC, tanto em cana-planta quanto em cana-soca nas primeiras fases de seleção. Esses resultados sugerem que o número de colmos podem ser usados na seleção de cana-de-açúcar para elevação da produtividade.

A correlação entre a FIB e PC foi fraca e negativa (-0,19). Santchurn et al. (2012) encontraram correlação negativa entre fibra e sacarose. Esses autores enfatizam a dificuldade de selecionar indivíduos para ambos os caracteres simultaneamente. Santchurn et al. (2014) estudaram 64 genótipos com elevado teor de biomassa e verificaram que a proporção de sacarose e fibra é indicador da partição dos fotoassimilados entre a fibra e a sacarose contida na cana-de-açúcar.

Entretanto, segundo Matsuoka et al. (2014), essa proposição é verdadeira somente quando o interesse é unicamente o aumento do teor de açúcares. Kennedy (2008) evidencia a possibilidade de manter o atual teor de sacarose e elevar o teor de fibra de futuras cultivares. Segundo esse autor, a cana-de-açúcar tem duas fases distintas

no ciclo de vida: a fase de crescimento, que corresponde à época chuvosa, em que a fibra é acumulada no colmo. A sacarose é acumulada na fase de amadurecimento, quando cessa o crescimento vegetativo devido ao período seco. Portanto, estes componentes não competem entre si pelos fotoassimilados.

De acordo com Kennedy (2008), Rao et al. (2007), Santchurn et al. (2014) e Silveira (2014) é possível obter genótipos com alto teor de fibra e bons teores de sacarose. Esses exemplos são apenas uma pequena amostra da variabilidade genética existente no complexo *Saccharum*, conforme relatado por Matsuoka et al. (2014) e das possibilidades existentes de combinações híbridas que podem ser realizadas visando aumentar a probabilidade de sucesso na obtenção de cultivares de cana energia.

O número de colmos e o peso de colmos são componentes importantes para incrementar a produção de biomassa e, conseqüentemente, a produtividade de fibra e lignina (Silveira et al., 2015). Portanto, clones que apresentam médias superiores desses componentes poderão ser adicionados ao processo de seleção recorrente, ser inter cruzados ou seguir adiante no programa de melhoramento genético da cana-de-açúcar para a obtenção de cultivares de cana energia. Por isso, a caracterização agrônômica e tecnológica dos clones é importante para a seleção de cana energia.

4. CONCLUSÃO

A seleção dos melhores clones para obtenção de cana energia deve ser baseada na produtividade de cana (TCH) e fibra (TFH). O clone UFV09251 é recomendado para ser selecionado, pois apresentaram os maiores valores para TCH e TFH. O clone UFV09262 apresentou elevado teor de FIB, podendo ser selecionado para a obtenção de cana energia. As informações obtidas nesse estudo podem ser úteis para a elaboração de novas estratégias de avaliação e análise dos componentes químicos da fibra de clones de cana energia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Assis C (2013) Previsão do teor de lignina em cana-de-açúcar usando espectroscopia no infravermelho próximo e métodos quimiométricos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa.

Baffa DCF, Costa PMA, Silveira G, Lopes FJ, Barbosa MHP, Loureiro ME, Cruz CD, Peternelli LA (2014) Path Analysis for Selection of Saccharification-Efficient Sugarcane Genotypes through Agronomic Traits. *Agronomy Journal*, 106: 1643-1650
doi: 10.2134/agronj13.0576

Brasileiro BP, Peternelli LA, Barbosa MHP (2013) Consistency of the results of path analysis among sugarcane experiments. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13: 113-119.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Central de informações agropecuárias: safras – cana (2014) (<http://www.conab.gov.br>). Acesso: 09 de maio de 2015

Espósito DP, Peternelli LA, Paula TOM, Barbosa MHP (2012). Análise de trilha usando valores fenotípicos e genotípicos para componentes do rendimento na seleção de famílias de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, Santa Maria, 42: 38-44

Fernandes AC (2011) Cálculos na Agroindústria da Cana de Açúcar

Ferreira SS, Nishiyama MY, Paterson AH, Souza, GM (2013) Biofuel and energy crops: high-yield Saccharinae take center stage in the post-genomics era, 14:210

Hatfield R e Fukushima RS (2005) Can lignin be accurately measured? Crop Science, vol. 45:832–839

Kennedy AJ (2008) Prospects for combining high sucrose content with increased fibre to generate multi-purpose cane varieties. In: Proceedings of the Conference of West Indies Sugar Technologists, Jamaica. Disponível em: <http://www.jamaicasugar.org/wist/Proceedings/Prospects%20for%20combining%20high%20sucrose%20content.pdf>. Acesso: 02 abril 2015

Loureiro ME, Barbosa MHP, Lopes FJF, Silvério FO (2011) Sugarcane Breeding and Selection for more Efficient Biomass Conversion in Cellulosic Ethanol. In: Buckeridge MS, Goldman GH (ed) Routes to Cellulosic Ethanol. Springer, New York, pp 199-239

Macedo IC, Seabra JEA, Silva JEAR (2008) Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020. Biomass Bioenerg, 32:582-595

Masarin F, Gurpilhares DB, Baffa DCF, Barbosa, MHP, Carvalho, W, Ferraz A, Milagres AMF (2011). Chemical composition and enzymatic digestibility of sugarcane clones selected for varied lignina content. Biotechnology for Biofuel, 4:55

Matsuoka S, Garcia AAF, Arizono H (2005) Melhoramento de cana-de-açúcar. In: Borém, A. Melhoramento de espécies cultivadas. Viçosa, MG. Editora UFV. 205-251

Matsuoka S, Kennedy AJ, Santos EGD, Tomazela AL, Rubio LCS (2014). Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects *Advances in Botany*. 2014: 1-13 <http://dx.doi.org/10.1155/2014/597275>

Ming R, Moore PH, Wu KK, D'Hont A, Glaszmann JC, Tew TL (2006) Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. In: Janick J (ed) *Plant Breeding Reviews*. John Wiley & Sons, Inc, Oxford, UK. pp 15–118 doi: 10.1002/9780470650349.ch2

Pedrozo CA (2006) Eficiência da seleção em fases iniciais no melhoramento da cana-de-açúcar. Tese de Mestrado em Genética e Melhoramento, Viçosa, MG

Peternelli LA, Resende MDV, Mendes TO (2012) Experimento e Análise Estatística em Cana-de-Açúcar. In: Santos F, Borém A, Caldas C (ed) *Cana-de-açúcar: Bioenergia, Açúcar e Etanol – Tecnologias e Perspectivas*. Editora UFV, Viçosa, pp 333-354

Rao PS, Davis H, Simpson C. (2007) New sugarcane cultivars and year round sugar and ethanol production with bagasse based cogeneration in Barbados and Guiana *Proceedings of the 2007 Congress, International Society of Sugar Cane Technologists*. 26: 1169–1176

Resende MDV (2002). *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica. 975p

Resende MDV, Barbosa MHP (2006) Selection via simulated BLUP based on family genotypic effects in sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 421-429

Resende MDV (2007). *Selegen-REML/BLUP: Sistema Estatístico e seleção genética computadorizada via modelos mistos*. Colombo: Embrapa Floresta, Curitiba, 359p

Rípoli, TCC, Molina Jr, WF, Rípoli, MLC (2000) Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. *Scientia Agricola*, 57: 677-681

Rocha GJM, Martin C, Silva VFN, Gomez EO, Gonçalves, AR (2012) Mass balance of pilot-scale pretreatment of sugarcane bagasse by steam explosion followed by alkaline delignification. *Bioresour. Technol.* 111: 447-452

Rocha GJM, Nascimento VM, Gonçalves AR, Silva VFN, Martín C (2015). Influence of mixed sugarcane bagasse samples evaluated by elemental and physical-chemical composition. *Industrial Crops and Products* 64: 52-58

Santchurn D, Ramdoyal K, Badaloo M G H, Labuschagne M (2012) From sugar industry to cane industry: investigations on multivariate data analysis techniques in the identification of different high biomass sugarcane varieties. *Euphytica* 185: 543-558

Santchurn D, Ramdoyal K, Badaloo M G H, Labuschagne M (2014) From sugar industry to cane industry: Evaluation and simultaneous selection of different types of high biomass canes. *Biomass and Bioenerg* 61: 82-92

Santos FA, Queiróz JH, Colodette JL, Fernandes AS, Guimarães VM, Rezende ST (2012). Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Quim. Nova* 35: 1004-1010

Santos MSM, Madalena, JA, Soares L, Ferreira PV, Barbosa GVS (2004) Repetibilidade de características agroindustriais em cana-de-açúcar. *Pesq. gropec. bras* 39: 4

Silva FL, Pedrozo CA, Barbosa MHP, Resende MDV, Peternelli LA, Costa PMA, Vieira MS (2009). Análise de trilha para os componentes de produção de cana-de-açúcar via BLUP. *Revista Ceres*, 56:308-314

Silveira LCI, Brasileiro BP, Kist V, Daros E, Peternelli LA, Barbosa MHP (2015) Selection strategy in families of energy cane based on biomass production and quality traits. [Euphytica](#) 201: 443-455

Siqueira G, Milagres, AMF, Carvalho W, Koch G, Ferraz A (2011) Topochemical distribution of lignin and hydroxycinnamic acids in sugar-cane cell walls and its correlation with the enzymatic hydrolysis of polysaccharides *Biotechnology for Biofuels*, 07:1-9

Souza AP, Leite DCC, Pattathil S, Hahn MG, Buckeridge MS (2013) Composition and structure of sugarcane cell wall polysaccharides: implications for second-generation bioethanol production. *BioEnergy Research*, 6: 64–579

Tew TL, Cobill RM (2008) Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: Vermerris W (ed) Genetic Improvement of Bioenergy Crops. Springer, New York, pp 249-272

Waclawovsky AJ, Sato PM, Lembke CG, Moore PH, Souza GM (2010). Sugarcane for bioenergy production: an assessment of yield and regulation of sucrose content *Plant Biotechnology Journal* 8: 263–276. doi: 10.1111/j.1467-7652.2009.00491.x

Wang L, Jackson P A, Lu X, Fan Y H, Foreman J W, Chen X K, Deng H H, Fu C, Ma L, Aitken K S (2008) Evaluation of sugarcane x *Saccharum spontaneum* progeny for biomass composition and yield components. *Crop Science* 48: 951–961

CAPÍTULO 3: CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DA FIBRA EM CANA ENERGIA

RESUMO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das culturas agronômicas de maior eficiência na produção de biomassa. O objetivo deste trabalho foi caracterizar clones de cana-de-açúcar em relação as propriedades químicas da fibra e quantificar os componentes químicos da fibra em três segmentos do colmo. Foram avaliados 124 clones na segunda fase de teste (T2). Foram colhidos 10 colmos de cada parcela. Destes, cinco foram usados integralmente e cinco foram divididos em três segmentos: terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI). Cada segmento do colmo e o colmo inteiro foram desintegrados e prensados. Avaliou-se o teor de fibra (FIB), celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG) no bagaço seco, triturado e moído dos três segmentos e do colmo inteiro. As estimativas de herdabilidade (0,69) e acurácia (0,83) para o teor de fibra (FIB), indicam alta correlação entre as médias genótípicas preditas e os verdadeiros valores, permitindo uma eficiente seleção de clones de cana energia. Não houve diferenças significativas entre os segmentos e a cana inteira para CEL e HEM. A maior porcentagem de FIB e LIG foi observada no terço inferior (TI). A correlação entre teor de fibra no colmo inteiro e nas três partes do mesmo foi alta (> 0,7) e superior quando comparada com a baixa correlação obtida (0,12 a 0,46) entre os teores de celulose, hemicelulose e lignina na cana inteira e nos três segmentos do colmo. O clone UFV09262 apresentou alto teor de fibra (19,78%). Houve diferenças entre os segmentos do colmo com relação a fibra e lignina. A fibra e lignina estão mais concentradas na região do terço inferior da cana. Portanto, as informações obtidas nesse estudo são úteis para a elaboração de novas estratégias de avaliação e seleção de clones de cana energia.

Palavras-chave: lignina, celulose, hemicelulose, biomassa, *Saccharum spp.*

ABSTRACT

The study was carried out to characterize sugarcane clones concerning the chemical properties of the fiber and quantify the chemical components of the fiber in three segments of the stalk. For the present study it was evaluated 124 clones in the second test phase (T2). It was measured fiber (FIB), cellulose (CEL), hemicellulose (HEM) and lignin (LIG). It were harvested 10 stalk of each plot. The stalk were divided into three segments: Superior (S), Middle (M) and Inferior (I). Each stalk segment and the entire stalk were disintegrated and pressed. The fiber (FIB), cellulose (CEL), hemicellulose (HEM) and lignin (LIG) were evaluated in the bagasse from the three segments and in the whole stalk. Determination of cellulose, hemicellulose and lignin were based on spectrometric analyzes and from the calibration models. The heritability estimates (0.69) and accuracy (0.83) to the fiber content (FIB) indicate a high correlation between the mean genotypic predicted and actual values. The genetic variation coefficient (CVG) for fiber were 13.07%. There were no significant differences between the segments and the entire stalk to cellulose and hemicellulose. The highest percentage of fiber and lignin was observed in the lower third (TI). The correlation between fiber content in the entire stalk and the three segments was high (> 0.7). It was superior when is compare with the correlation (0.12 to 0.46) between the entire stalk and the three segments for cellulose, hemicellulose and lignin content. The UFV09262 clone presented high fiber content (19.78%). It was observed differences between the stem segments for fiber and lignin. Fiber and lignin are more concentrated in the basal segment of the stem (15.35%; 24%, respectively).

Key words: lignin, cellulose, hemicellulose, biomass, *Saccharum* spp.

1. INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar tem se destacado no cenário mundial em razão do elevado potencial de produtividade de sacarose, componente amplamente utilizado para a produção de açúcar e etanol. Além disso, nos últimos anos, os resíduos do processamento industrial, como o bagaço, folhas e ponteiros, passaram a ter importância em virtude das inúmeras possibilidades de aproveitamento desses materiais para produzir etanol de segunda geração, energia elétrica e outros materiais de alto valor agregado (Rípoli et al., 2000; Santos et al., 2012).

A produtividade da cana-de-açúcar aumentou nos últimos anos. Na safra de 2014/15 foram cultivados cerca de 9 milhões de hectares, nos quais foram produzidos aproximadamente 634 milhões de toneladas de cana-de-açúcar. A produção de açúcar foi de 35 milhões de toneladas, 6% menos em relação à safra anterior. Entretanto, a produção de etanol aumentou 2,53% em relação à safra anterior, chegando a 28 bilhões de litros (CONAB, 2015).

Na safra atual, a tendência é de aumento na produção de cana-de-açúcar, por causa do preço competitivo do etanol em relação a gasolina. Ademais, devido à expectativa de aumento na cogeração de energia elétrica.

A biomassa da cana-de-açúcar é composta por três componentes químicos principais: celulose, hemicelulose e lignina (Masarin et al., 2011). A celulose é um polímero linear de unidades de celobiose, com porções amorfas e cristalinas. Esse componente é formado exclusivamente por moléculas de anidro-glicose unidas por 9 ligações β -(1,4) de fórmula geral ($C_6H_{10}O_5$) (Carvalho et al., 2009; Aguiar e Ferraz, 2011). Na cana-de-açúcar, a celulose pode variar de 32% a 48% (Rocha et al., 2012). As hemiceluloses estão associadas à celulose e à lignina e são formadas por ligações glicosídicas entre diferentes monossacarídeos, tais como: β -D-xilose, β -D-manose, β -D-galactose, α -L-arabinose, ácidos α -D-glicurônico, e β -D-galacturônico, bem como

grupamentos 4-O-metil (Carrier et al., 2011). A fração hemicelulose varia de 19 a 24% (Souza et al., 2013; Rocha et al., 2015). A lignina é um heteropolímero de estrutura complexa, altamente condensada, e formada por três precursores fenilpropanóides monoméricos: álcool sinapílico (propanol siringil), álcool coniferílico (propanol guaiacil) e álcool p-cumerílico (propanol p-hidroxifenil) (Lopes et al., 2013). Estes componentes são responsáveis pelo elevado conteúdo energético do bagaço da cana (Masarin et al., 2011; Hoi e Martincigh, 2013; Rocha et al., 2015). Portanto, o desenvolvimento de clones de cana-de-açúcar com maior quantidade de biomassa lignocelulósica tem sido objeto de estudos nos últimos anos (Wang et al., 2008, Silveira et al., 2015). As cultivares de cana-de-açúcar com maior teor de fibra são denominadas cana energia (Loureiro et al., 2011).

O desenvolvimento de cultivares cana energia geralmente envolve cruzamentos entre as espécies de *Saccharum officinarum* e *Saccharum spontaneum* (Wang et al., 2008; Matsuoka et al., 2014). À espécie *S. spontaneum* atribui-se as seguintes características: maior teor de fibra (Waclawovsky et al., 2010), baixo conteúdo de sacarose, resistência a pragas e doenças e estresses abióticos (Ming et al., 2006). Em contrapartida, a espécie *S. officinarum* se caracteriza por apresentar poucos colmos, porém com maior diâmetro e elevado conteúdo de açúcares (Ming et al. 2006). Por isso é importante caracterizar quimicamente a fibra da cana-de-açúcar buscando cultivares promissores.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a correlação dos componentes químicos da fibra em três segmentos do colmo e no colmo inteiro.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material Vegetal

O experimento foi conduzido no Centro de Experimentação em Cana-de-Açúcar (CECA), localizado no município de Oratórios, Minas Gerais, Brasil. As plântulas foram transplantadas em abril de 2010. Essas plântulas formaram a população base, primeira fase de teste (T1), composta por 15 famílias de meio-irmãos. Foi utilizado o procedimento BLUPIS (Best Linear Unbiased Prediction Individual Simulated) (Resende e Barbosa, 2006), baseado no caráter toneladas de colmo por hectare (TCH) para selecionar 124 clones dentro das melhores famílias com médias genotípicas acima da média geral, os quais constituíram a população alvo deste estudo, segunda fase de teste (T2).

O plantio da cana no T2 foi realizado em julho de 2011 no delineamento experimental em blocos aumentados. Cada bloco foi constituído de 12 clones e 2 testemunhas adicionais (RB867515 e SP80-1842). A parcela experimental foi composta por uma linha de 5 m, com espaçamento de 1,40 m entre linhas e com plantio de 18 gemas por metro.

Foram colhidas 10 colmos. Cinco desses colmos foram divididos em três segmentos: terço superior (TS), terço médio (TM) e terço inferior (TI). Cada segmento do colmo e o colmo inteiro foram desintegrados e prensados. O bagaço foi pesado para obter o peso úmido. Após a pesagem, o bagaço foi colocado em estufa com circulação forçada de ar até peso constante para obter o peso do bagaço seco (PBS). Avaliou-se o teor de fibra (FIB), celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG) no bagaço dos três segmentos e do colmo inteiro. A determinação da celulose, hemicelulose e lignina do colmo inteiro e dos três segmentos do colmo foi realizada a partir do bagaço seco, triturado e moído, com base em análises espectrométricas e modelos de calibração construídos por Assis (2013).

2.2. Análises estatísticas

2.2.1. Avaliação do colmo inteiro

Os valores genotípicos dos clones foram obtidos a partir do modelo estatístico: $y = Xr + Zg + Wb + e$, em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos de repetição (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como aleatórios), b é o vetor dos efeitos de blocos (assumidos como aleatórios), e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência dos referidos efeitos.

2.2.2. Avaliação do efeito dos segmentos do colmo

Os valores genotípicos de cada clone em cada segmento da planta estudado foram analisados pelo modelo estatístico: $y = Xr + Zg + Wp + e$, em que y é o vetor de dados, r é o vetor dos efeitos dos segmentos do colmo (assumidos como fixos) somados à média geral, g é o vetor dos efeitos genotípicos (assumidos como fixos), p é o vetor dos efeitos de parcela, e e é o vetor de erros ou resíduos (aleatórios). As letras maiúsculas representam as matrizes de incidência para os referidos efeitos.

O programa computacional utilizado para realizar as análises foi o Sistema Estatístico e Seleção Genética Computadorizada SELEGEN – REML/BLUP (Resende, 2007).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Componentes de variância e parâmetros genéticos

Existe variabilidade genética entre os clones e possibilidade de seleção para FIB, uma vez que os valores do coeficiente de variação genética, CVg (%) foi igual a 13,07.

Valores acima de 10% indicam a presença de variabilidade com possibilidade de ganhos genéticos com a seleção (Oliveira et al., 2008).

Tabela 1 - Estimativa dos componentes de variância e parâmetros genéticos para fibra (FIB), celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG) avaliados no colmo inteiro de 124 clones de cana energia. Oratórios-MG, Brasil, 2013.

Parâmetros ⁽¹⁾	Caracteres			
	FIB	CEL	HEM	LIG
σ^2g	3,68*	0,00 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,13 ^{ns}
h^2g	0,69±0.19	0,01±0.02	0,00±0.01	0,02±0.03
AC	0,83	0,11	0,08	0,16
CV _{gi}	13,07	0,11	0,53	1,52
CV _r	1,51	0,11	0,08	0,16
Média	14,68	45,76	22,82	23,92

(*) Significativo a 1% de probabilidade de acordo com a análise de Deviance. ^{ns}: Não significativo. ⁽¹⁾: σ^2g : Variância genotípica; h^2g : herdabilidade em nível de indivíduo no sentido amplo; AC: acurácia; CV_{gi} (%): coeficiente de variação genotípico; CV_r: coeficiente de variação relativa.

A variância genotípica da celulose, hemicelulose e lignina entre os clones não apresentaram diferenças significativas (Tabela 1). A baixa variabilidade encontrada nesses caracteres na população pode ser devido ao número limitado de famílias avaliadas na fase T1. Rocha et al. (2015) estudaram 60 variedades de cana-de-açúcar provenientes de diferentes condições de cultivo e concluíram que não houve diferenças significativas entre as variedades em relação à lignina, celulose e hemicelulose. Entretanto, Baffa et al. (2014) avaliaram 286 clones na fase T2 e verificaram diferenças significativas entre as médias de fibra, celulose, hemicelulose, lignina e sacarose dos clones.

A acurácia refere-se à correlação entre o valor genético verdadeiro e o estimado ou predito com base nas informações obtidas nos experimentos. Os valores adequados de acurácia são aqueles próximos à unidade, ou 100%. A acurácia é tanto mais alta quanto menores forem os desvios absolutos entre os valores genéticos paramétricos e os valores genéticos estimados ou preditos (Resende e Duarte, 2007).

Os valores de acurácia seletiva (Tabela 1) da FIB foi 0,83. Este número indica que houve precisão na condução do experimento, conforme os critérios definidos por Resende e Duarte (2007).

Os três componentes da fibra, HEM, CEL e LIG, apresentaram herdabilidade próxima de zero (Tabela 1) o que indica a existência de alta influência do ambiente atuando sobre esses caracteres. Por isso, mais estudos são necessários para compreender como ocorre a deposição da lignina, celulose e hemicelulose na parede celular e desenvolver estratégias para selecionar clones com alto conteúdo dos componentes lignocelulósicos, para obter cultivares de cana energia para a produção de etanol celulósico ou produção de eletricidade.

A caracterização dos 20 clones de cana energia selecionados para FIB estão apresentados na tabela 2. O ranqueamento dos 20 clones de cana energia revelaram que o clone UFV09262 apresentou o maior teor de FIB (19,78%) (Tabela 2).

Tabela 2. Valores genotípicos dos 20 clones de cana-de-açúcar selecionados para FIB, avaliados na safra de 2013. PMGCA, Oratórios, MG.

Clones	Caracteres ⁽¹⁾			
	FIB	CEL	HEM	LIG
UFV09262	19,78	45,76	22,83	24,02
UFV09270	18,45	45,77	22,82	23,91
UFV09239	18,10	45,76	22,82	24,00
UFV09226	18,09	45,77	22,82	23,95
UFV09249	17,62	45,77	22,83	23,97
UFV09196	17,58	45,78	22,83	23,97
UFV09256	17,25	45,78	22,80	23,99
UFV09236	17,21	45,77	22,84	23,87
UFV09278	17,06	45,76	22,81	23,96
UFV09268	16,74	45,76	22,82	23,96
UFV09288	16,70	45,77	22,83	23,92
UFV09258	16,65	45,76	22,82	23,87
UFV09293	16,63	45,77	22,84	23,97
UFV09298	16,60	45,78	22,82	23,89
UFV09290	16,58	45,77	22,81	23,98
UFV09233	16,56	45,77	22,82	23,98
UFV09289	16,50	45,77	22,83	23,89
UFV09264	16,47	45,77	22,81	23,96
UFV09205	16,41	45,78	22,82	23,87
UFV09260	16,40	45,78	22,83	23,94
SP80-1842	13,32	45,78	22,81	24,18
RB867515	12,95	45,79	22,83	23,88
Média	17,17	45,77	22,82	23,94
Desvio-padrão	0,88	0,01	0,01	0,05
Variância	0,77	0,00	0,00	0,00
Máximo	19,78	45,78	22,84	24,02
Mínimo	16,40	45,76	22,80	23,87

⁽¹⁾ FIB: Teor de fibra (%); CEL: Teor de celulose (%); HEM: Teor de hemicelulose (%) LIG: Teor de lignina (%).

Muitos genótipos apresentaram valores genotípicos de fibra superiores aos das testemunhas RB867515 e SP80-1842. Tal fato é importante, uma vez que no melhoramento da cana-de-açúcar a seleção é baseado em variedades comerciais e são selecionados os clones que apresentam produtividade igual ou superior a estas. É evidente que além da produtividade de cana e de fibra, esses clones precisam agregar um conjunto de outras características físicas, químicas e morfológicas para serem selecionados e comporem um grupo de clones promissores.

É interessante notar que o clone UFV09262 é oriundo do cruzamento B70710 × ?, que, por sua vez, é proveniente do cruzamento entre 28NG288 × *Saccharum spontaneum*, o que demonstra a importância da espécie *S. spontaneum* para a obtenção de clones com elevado teor de fibra. A espécie *S. spontaneum* tem maior teor de fibra se comparado com as demais espécies do gênero *Saccharum* (Tew e Cobill, 2008). Portanto, já era esperado que os clones advindos dessa família (B70710 × ?) apresentassem maior variabilidade para fibra.

O aumento do teor de fibra na cana pode ser obtido via seleção recorrente nas populações de *S. spontaneum* e *S. officinarum* (Rao et al., 2007), assim como em populações derivadas do cruzamento dessas espécies com cultivares comerciais (Silveira et al., 2015). As espécies do complexo *Saccharum* são essenciais para o sucesso do programa de cana energia, principalmente os acessos descendentes de *S. spontaneum* e *S. robustum*. Kennedy (2008) relata a obtenção de clones de cana energia com 42% de fibra em um longo programa de seleção recorrente entre indivíduos com alto conteúdo de sacarose e fibra.

3.2. Componentes químicos da fibra em cana energia

Com o objetivo de investigar o conteúdo dos componentes lignocelulósicos em segmentos da cana-de-açúcar foi realizada a análise espectroscópica em três segmentos da cana-de-açúcar: terço superior (TS), terço médio (TM) e no terço inferior (TI).

A análise de variância dos segmentos da planta no bagaço da cana-de-açúcar para fibra, celulose, hemicelulose e lignina são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Análise de variância dos segmentos da cana-de-açúcar (efeito fixo) para os caracteres fibra (FIB), celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG).

FV	GL	Caracteres			
		FIB	CEL	HEM	LIG
Segmento	3	12,8**	0,78 ^{ns}	0,63 ^{ns}	30,85**
Clone	121	12,62**	2,16 ^{ns}	2,12 ^{ns}	4,12*

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

^{ns}: Não significativo.

Os efeitos dos segmentos da planta influenciaram significativamente ($p < 0,01$) FIB e LIG (Tabela 3). Hoi e Martincigh (2013) caracterizaram física e quimicamente a fibra da cana-de-açúcar e encontraram diferenças no teor de fibra entre as variedades estudadas e entre o ápice e o colmo da cana. No presente estudo, para os caracteres celulose e hemicelulose não foi observada diferenças significativas entre os segmentos da cana (Tabela 3).

Tabela 4. Teor de fibra (FIB), celulose (CEL), hemicelulose (HEM) e lignina (LIG) nos 3 segmentos do colmo de cana energia e na cana inteira.

Segmentos ⁽¹⁾	Caracteres			
	FIB	CEL	HEM	LIG
TS	14,39	45,25	22,33	22,32
TM	14,60	45,27	22,21	23,30
TI	15,35	45,31	22,26	24,00
INT	14,64	45,22	22,32	23,39
Média geral	14,78	45,26	22,28	23,25
Desvio-padrão	0,42	0,04	0,06	0,70
Variância	34,30	340,88	82,32	85,08

⁽¹⁾TS: Terço Superior; TM: Terço Médio; TI: Terço Inferior e INT: Cana Inteira.

O teor de fibra (FIB) foi maior no terço inferior (15,35%) da planta, seguido do terço médio (14,60%) e do terço superior (14,39%) (Tabela 4). Hoi e Martincigh (2013) estudaram diversos segmentos da cana e relatam que à medida que a cana amadurece, a porcentagem de fibra tende a aumentar. Segundo esses autores, a maior porcentagem de fibra foi encontrada na palha, seguida das folhas verdes, ponteiros e colmo da cana. De acordo com Fernandes (2000), o teor de fibra é influenciado por diversos fatores, como

clima (chuva e temperatura), solo (umidade e fertilidade), época de corte e método de determinação dos componentes ligninocelulósicos.

Leite et al. (2010) estudaram a qualidade tecnológica da cana-de-açúcar em diferentes porções do colmo e encontraram maior teor de fibra no terço superior do colmo. Esses autores concluíram que as condições climáticas favoreceram o desenvolvimento vegetativo da cultura e o crescimento das plantas, o que contribuiu para a formação de novos entrenós e/ou alongamento dos entrenós imaturos.

O teor de lignina (LIG) foi maior no terço inferior da cana (24%) (Tabela 4). Existe uma relação negativa entre os componentes químicos da fibra nos diferentes segmentos da cana-de-açúcar. Enquanto o teor de lignina e hemicelulose é baixo na parte inferior da cana, o teor de celulose é alto (Ouensanga, 1989).

Tabela 5. Coeficiente de correlação genotípica entre os três segmentos do colmo e o colmo inteiro em relação a fibra (FIB), celulose (CEL), hemicelulos (HEM) e lignina (LIG).

Segmentos ⁽¹⁾	Caracteres			
	FIB	CEL	HEM	LIG
TS	0,75	0,30	0,12	0,43
TM	0,80	0,19	0,16	0,43
TI	0,80	0,40	0,28	0,47

⁽¹⁾TS: Terço Superior; TM: Terço Médio e TI: Terço Inferior.

A correlação entre os três segmentos da cana e a cana inteira foram elevadas para fibra, o que indica que o teor de fibra encontrado na cana inteira é devido à maior proporção desse elemento no terço inferior (Tabela 5). Portanto, o acúmulo de fibra nos três segmentos encontra-se diretamente relacionado entre si e com a cana inteira.

Do ponto de vista anatômico, Patuaru (1989) identificou dois tipos de fibras no bagaço da cana-de-açúcar. As fibras verdadeiras, contém células resistentes e estão localizadas na região externa e nos tecidos vasculares. As fibras de paredes finas e de forma irregular estão localizadas nas células parenquimáticas do caule, no interior dos

tecidos, na medula. Essas fibras tem a mesma composição, porém diferem em relação às estruturas, enquanto as fibras da casca apresentam elevada capacidade de expansão e contração, as fibras da medula tem a propriedade de absorção. Isso explica porque ocorre o acúmulo das fibras de forma uniforme no colmo da cana-de-açúcar.

Celulose, hemicelulose e lignina apresentaram correlação positiva, porém baixa entre os segmentos da planta e a cana inteira. O terço inferior apresentou a maior correlação com a cana inteira para os três componentes, demonstrando que os teores dos componentes da fibra encontrados na cana inteira é devido ao acúmulo principalmente no terço inferior da cana.

4. CONCLUSÃO

A correlação entre teor de fibra no colmo inteiro e nas três partes do mesmo é elevada quando comparada com a baixa correlação obtida entre os teores de celulose, hemicelulose e lignina na cana inteira e nas três porções do colmo.

O teor de fibra, celulose e lignina é maior no terço inferior da cana.

O maior teor de fibra foi do clone UFV09262 que apresenta o maior teor de fibra entre os 124 clones avaliados. Portanto, as informações obtidas nesse estudo podem ser úteis para a elaboração de novas estratégias de avaliação e análise dos componentes químicos da fibra de clones de cana energia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar A, Ferraz A (2011) Mecanismos envolvidos na biodegradação de materiais lignocelulósicos e aplicações tecnológicas correlatas. *Química Nova* 34: 1729-1738

Assis C (2013) Previsão do teor de lignina em cana-de-açúcar usando espectroscopia no infravermelho próximo e métodos quimiométricos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa

Baffa, DCF; Costa, PMA; Silveira, G; Lopes, FJ; Barbosa, MHP; Loureiro, ME; Cruz, CD; Peternelli, LA (2014) Path Analysis for Selection of Saccharification-Efficient Sugarcane Genotypes through Agronomic Traits. *Agronomy Journal* 106:1643-1650
doi:10.2134/agronj13.0576

Carrier M, Loppinet-Serani Anne, Denux Dominique, Lasnier Jean-Michel, Ham-Pichavant Frédérique, Cansell François, Aymonier Cyril (2011) Thermogravimetric analysis as a new method to determine the lignocellulosic composition of biomass. *Biomass & Bioenergy*

Carvalho W, Canilha L, Ferraz A, Milagres A (2009) Uma visão sobre a estrutura, composição e biodegradação da madeira. *Química Nova* 32: 1-5

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Central de informações agropecuárias: safras – cana (2014) (<http://www.conab.gov.br>). Acesso: 09 de maio de 2015

Fernandes AC (2000) Cálculos na agroindústria de cana-de-açúcar. Piracicaba: STAB, p. 66.

Hoi, LWS e Martincigh, BS (2013) Sugar cane plant fibres: Separation and characterization. *Industrial Crops and Products*, 47: 1-12.

Kennedy AJ (2008) Prospects for combining high sucrose content with increased fibre to generate multi-purpose cane varieties. In: *Proceedings of the Conference of West Indies Sugar Technologists*, Jamaica. Disponível em:

<http://www.jamaicasugar.org/wist/Proceedings/Prospects%20for%20combining%20high%20sucrose%20content.pdf>. Acesso: 02 abril 2015

Leite GHP, Crusciol CAC, Siqueira GF, Silva MA (2010) Qualidade tecnológica em diferentes porções do colmo e produtividade da cana-de-açúcar sob efeito de maturadores. *Bragantia*, 69: 861-870

Lopes FJF, Silvério FO, Baffa DCF, Loureiro M, Barbosa MHP (2011) Determination of Sugarcane Bagasse Lignin S/G/H Ratio by Pyrolysis GC/MS, *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 31: 309-323

Loureiro ME, Barbosa MHP, Lopes FJF, Silvério FO (2011) Sugarcane Breeding and Selection for more Efficient Biomass Conversion in Cellulosic Ethanol. In: Buckeridge MS, Goldman GH *Routes to Cellulosic Ethanol*. New York, Springer, cap. 13, p. 199-239

Masarin F, Gurpilhares DB, Baffa DCF, Barbosa, MHP, Carvalho, W, Ferraz A, Milagres AMF (2011). Chemical composition and enzymatic digestibility of sugarcane clones selected for varied lignina content. *Biotechnology for Biofuel*, 4:55

Matsuoka S, Kennedy AJ, Santos EGD, Tomazela AL, Rubio LCS (2014). Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects *Advances in Botany*. 2014: 1-13. <http://dx.doi.org/10.1155/2014/597275>

Ming R, Moore PH, Wu KK, D'Hont A, Glaszmann JC, Tew TL (2006) Sugarcane improvement through breeding and biotechnology. In: Janick J (ed) *Plant Breeding Reviews*. John Wiley & Sons, Inc, Oxford, UK. pp 15–118
doi: 10.1002/9780470650349.ch2

Ouensanga A (1989) Variation of fiber composition in sugar cane stalks. *Wood Fiber Sci*. 21, 105–111

Oliveira RA, Oliveira FJ, Bastos GQ, Filho CJA, Reis OV (2008) Seleção de famílias de cana-de-açúcar via modelos mistos. *Scientia Agrária, Curitiba*, v. 9, n. 3, p. 269-274

Paturau JM (1989) *By-products of the Cane Sugar Industry, An Introduction to Their Industrial Utilization* Elsevier Publishing Co, Amsterdam, pp. 37–42

Rao PS, Davis H, Simpson C. (2007) New sugarcane cultivars and year round sugar and ethanol production with bagasse based cogeneration in Barbados and Guiana *Proceedings of the 2007 Congress, International Society of Sugar Cane Technologists*. 26: 1169–1176

Resende MDV, Barbosa MHP (2006) Selection via simulated BLUP based on family genotypic effects in sugarcane. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41: 421-429

Resende MDV (2007) Software SELEGEN-REML/BLUP: sistema estatístico e seleção genética computadorizada via modelos lineares mistos. Colombo: Embrapa Florestas.

Resende MDV, Duarte JB (2007) Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, 37:182-194

Rípoli, TCC, Molina Jr, WF, Rípoli, MLC (2000) Energy potential of sugar cane biomass in Brazil. *Scientia Agricola*, 57: 677-681

Rocha GJM, Martin C, Silva VFN, Gomez EO, Gonçalves, AR (2012) Mass balance of pilot-scale pretreatment of sugarcane bagasse by steam explosion followed by alkaline delignification. *Bioresour. Technol.* 111: 447–452

Rocha, GJM; Nascimento, VM; Gonçalves, AR; Silva, VFN; Martín, C. Influence of mixed sugarcane bagasse samples evaluated by elemental and physical–chemical composition (2015) *Industrial Crops and Products* 64: 52–58

Santos FA, Queiróz JH, Colodette JL, Fernandes AS, Guimarães VM, Rezende ST (2012). Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. *Quim. Nova* 35: 1004-1010

Silveira LCI, Brasileiro BP, Kist V, Daros E, Peternelli LA (2015) Genetic diversity and coefficient of kinship among potential genitors for obtaining cultivars of energy cane. *Revista Ciência Agronômica*, 46: 358-368

Souza AP, Leite DCC, Pattathil S, Hahn MG, Buckeridge MS (2013) Composition and structure of sugarcane cell wall polysaccharides: implications for second-generation bioethanol production. *BioEnergy Research*, 6: 64–579

Tew TL, Cobill RM (2008) Genetic Improvement of Sugarcane (*Saccharum* spp.) as an Energy Crop. In: Vermerris W (ed) *Genetic Improvement of Bioenergy Crops*. Springer, New York, pp 249-272

Wang L, Jackson P A, Lu X, Fan Y H, Foreman J W, Chen X K, Deng H H, Fu C, Ma L, Aitken K S (2008) Evaluation of sugarcane x *Saccharum spontaneum* progeny for biomass composition and yield components. *Crop Science* 48: 951–96

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise de diversidade genética estudada no capítulo 1 demonstrou a variabilidade existente no Complexo Saccharum e as inúmeras possibilidades de cruzamentos entre os genótipos, que pode gerar clones superiores visando a obtenção de cultivares de cana energia. O cruzamento que resultou em maior teor de fibra foi Saccharum spp. x S. spontaneum (RB93509 x Co421), demonstrando a importância dos genitores descendentes de S. spontaneum para a obtenção de clones com elevado teor de fibra. A identificação de genitores e combinações híbridas específicas é fundamental para acelerar os ganhos genéticos e aumentar a probabilidade de identificação e seleção dos genótipos superiores. Atualmente, com o conceito de biorrefinaria e as possibilidades de utilizar todas as partes da cana, desde o colmo, até das folhas e os resíduos tem aumentado a busca por cultivares que contenham elevado teor de fibra e também alto conteúdo de açúcares.

Além dos elevados teores de fibra e alta produtividade de biomassa, é interessante, para a cogeração de eletricidade, elevados teores de lignina, devido ao seu alto poder calorífico. No segundo capítulo, estudou-se as bases genéticas nesse componente, e como esse caráter pode ser passado para a descendência. Observou-se que este caráter apresentou baixa herdabilidade, entretanto, este parâmetro pode aumentar inserindo novos genótipos para futuros cruzamentos.

Para a produção do etanol celulósico, cultivares que apresentam altos teores de celulose e hemicelulose são preferíveis. A tecnologia para a quebra das cadeias de açúcares da celulose e hemicelulose ainda não estão completamente dominados pela indústria, porém, os estudos a respeito das rotas fisiológicas e bioquímicas de acúmulo na planta tem sido estudados intensamente. De acordo com os resultados apresentados no terceiro capítulo dessa tese é possível verificar a existência de diferenças do teor de

lignina entre os segmentos do colmo da cana. Foi possível observar também a correlação do teor de fibra entre a cana inteira e os segmentos do colmo, podendo ser uma estratégia visando obter amostras em apenas parte do colmo para otimizar o processo de seleção de clones com maior teor de fibra. Com as informações geradas nessa pesquisa foi possível identificar genótipos e clones de cana-de-açúcar superiores para a obtenção de cultivares de cana energia, além de identificar clones que podem ser utilizados para fins diversos, além da produção de açúcares ou etanol.