

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

Patrícia Jesus de Melo

**RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PRODUTIVAS DE CANA-DE-
AÇÚCAR E DE QUALIDADE DO AÇÚCAR MASCAVO**

Santa Maria, RS
2020

Patrícia Jesus de Melo

**RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PRODUTIVAS DE CANA-DE-AÇÚCAR E DE
QUALIDADE DO AÇÚCAR MASCADO**

Dissertação apresentado ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

Orientador: Prof^o Dr^o. Alessandro Dal' Col Lúcio

Santa Maria, RS
2020

Melo, Patrícia Jesus de
RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PRODUTIVAS DE CANA-DE-AÇÚCAR E
DE QUALIDADE DO AÇÚCAR MASCAVO / Patrícia Jesus de Melo.-
2020.
49 p.; 30 cm

Orientador: Alessandro Dal' Col Lúcio
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Agronomia, RS, 2020

1. Saccharum spp. 2. Análise de trilha 3. Componentes
principais 4. Dissimilaridade genética 5. Correlação
canônica I. Dal' Col Lúcio, Alessandro II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

©2020

Todos os direitos autorais reservados a Patrícia Jesus de Melo. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só pode ser feita mediante a citação da fonte.

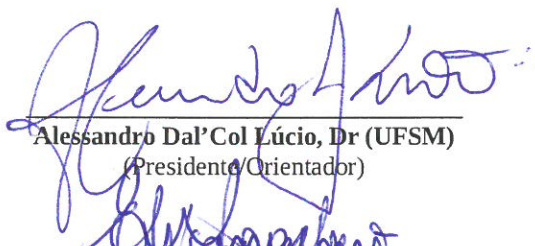
E-mail: patriciameloagronomia@gmail.com

Patrícia Jesus de Melo

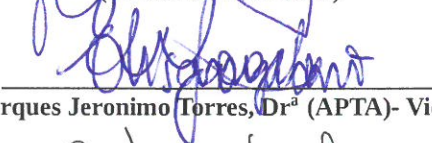
**RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PRODUTIVAS DE CANA-DE-AÇÚCAR E DE
QUALIDADE DO AÇÚCAR MASCAVO**

Dissertação apresentado ao Curso de Pós-Graduação
em Agronomia, da Universidade Federal de Santa
Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para a
obtenção do título de **Mestre em Agronomia**.

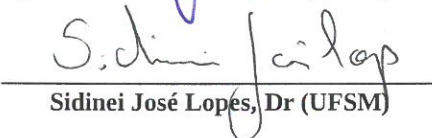
Aprovado em 17 de fevereiro de 2020:



Alessandro Dal'Col Lúcio, Dr (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Elisangela Marques Jeronimo Torres, Dr^a (APTA)- Videoconferência



Sidinei José Lopes, Dr (UFSM)

Santa Maria, RS
2020

DEDICATÓRIA

Aos meus pais **Delomar Melo** e **Vera Jesus**

Aos meus irmãos **Joelma Melo**, **Hermes Melo**, **Natiele Melo** e **Waldemar Melo**

Dedico este trabalho

AGRADECIMENTO

A Deus, por todas conquistas, por guiar meus passos para que eu chegasse até aqui, a todas as pessoas que colocaste em meu caminho, pois muitas me ajudaram e inspiraram a nunca desistir.

A Universidade Federal de Santa Maria e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia por me possibilitar crescimento profissional e pessoal.

A Agência Paulista de Tecnologia dos agronegócios (APTA) pela concessão dos dados para a realização deste estudo.

Ao meu orientador, Alessandro Dal'Col Lúcio, pela amizade, confiança, orientação e ensinamentos transmitidos.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível de Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus pais, Delomar Melo e Vera Jesus, por todo apoio, amizade e carinho ao longo de minha jornada, sendo exemplos de honestidade e perseverança.

Aos meus irmãos Joelma Melo, Hermes Melo, Natiele Melo e Waldemar Melo por todo apoio e incentivo.

Aos meus primos Natália Mello, Lúcio Mello, Claudia Ferraz, Camila Fernandes e a minha tia Cléria Jesus pelo incentivo, apoio e ajuda nos momentos de dificuldade.

A todos meus colegas e amigos do grupo de experimentação, principalmente, a Maria Diel, Tiago Olivoto e Bruno Sari que me ajudaram, dividindo seus conhecimentos, a ajuda deles foi de fundamental importância para que eu chegasse até aqui.

Aos demais amigos, colegas e familiares que de alguma forma me ajudaram nessa caminhada e contribuíram para realização deste trabalho.

RESUMO

RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS PRODUTIVAS DE CANA-DE-AÇÚCAR E DE QUALIDADE DO AÇÚCAR MASCADO

AUTOR: Patrícia Jesus de Melo
ORIENTADOR: Alessandro Dal' Col Lúcio

A cana-de-açúcar é uma cultura importante para a economia do país. O açúcar possui grande importância devido ao elevado consumo, por conferir sabor adocicado aos alimentos. A preocupação com a saúde aumenta a procura pelo consumo do açúcar mascavo em função das características mais saudáveis. Apesar da crescente demanda pelo consumo deste tipo de açúcar, há pouco estudo sobre cultivares de cana-de-açúcar e épocas de colheita mais propícias para a produção de açúcar mascavo. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo estimar as relações lineares entre os caracteres de produção da cana-de-açúcar e de qualidade do açúcar mascavo, para determinar quais características podem ser usadas como critério para seleção de genótipos com maior rendimento e qualidade do açúcar mascavo obtido, e estudar a dissimilaridade genética dos genótipos e sua respectiva resposta produtiva em açúcar mascavo nas três épocas de colheita durante o cultivo. Utilizou-se o delineamento de blocos ao acaso em um fatorial 10x3, sendo dez genótipos de cana-de-açúcar (IACSP 93-3046, RB 96-6928, IACSP 95-5094, IACSP 97-4039, SP 81-3250, IACSP 95-5000, RB 86-7515, IACSP 96-3060, IACSP 04-704, IACSP 04-656) e três épocas de colheita (15, 17 e 19 meses de cultivo) com quatro repetições. Foi avaliada variáveis tecnológicas relacionada com parâmetros de qualidade e variáveis agrônomicas relacionadas ao aspecto produtivo. Foram realizadas as análises de agrupamento, componentes principais, trilha e correlações canônicas. Os resultados revelam que todos os genótipos apresentaram melhor resposta de produção de açúcar mascavo na segunda época de colheita. As variáveis que mais contribuíram para a variabilidade foram a sacarose aparente da cana, açúcares totais recuperáveis e teor de sólidos solúveis da cana. Para cada época de colheita foram formados diferentes grupos de genótipos. Dentre os dez genótipos, oito apresentaram maior produção de açúcar mascavo após 17 meses de cultivo. Na coloração do açúcar mascavo houve variação conforme a época de colheita e a cultivar utilizada para a produção do mesmo. Na análise de causa e efeito, a variável caldo por tonelada de cana apresentou maior efeito direto sobre a produção de açúcar mascavo, na primeira e segunda época de colheita. Para a terceira época de colheita, a variável teor de sólidos solúveis do caldo apresentou maior efeito direto sobre a produção de açúcar mascavo. Com respostas distintas nas três épocas de colheita, a análise de correlação canônica mostrou interdependência entre os grupos de variáveis, evidenciando que há variáveis agrônomicas que podem ser utilizadas como alternativa na seleção de cultivares com maior qualidade de açúcar mascavo.

Palavras-chave: *Saccharum* spp., análise de trilha, componentes principais, dissimilaridade genética, correlação canônica.

ABSTRACT

RELATIONSHIP BETWEEN SUGAR CANE PRODUCTS AND THE QUALITY OF BROWN SUGAR

AUTHOR: Patrícia Jesus de Melo

ADVISOR: Alessandro Dal' Col Lúcio

Sugarcane is an important crop for the country's economy. Sugar is of great importance due to the high consumption, for giving sweet taste to food. Health concerns increase demand for brown sugar consumption due to healthier characteristics. Despite the growing demand for the consumption of this type of sugar, there is little study on sugarcane cultivars and harvest times more suitable for brown sugar production. In this sense, the purpose estimate the linear relationships between the characters of sugarcane production and brown sugar quality, to determine which traits can be used as a criterion for selecting genotypes with the highest yield and quality of the brown sugar obtained, and study the genetic dissimilarity of the genotypes and their respective productive response in brown sugar in the three harvest seasons during cultivation. A randomized block design in a 10x3 factorial was used, ten sugarcane genotypes (IACSP 93-3046, RB 96-6928, IACSP 95-5094, IACSP 97-4039, SP 81-3250, IACSP 95-5000, RB 86-7515, IACSP 96-3060, IACSP 04-704, IACSP 04-656) and three harvest seasons (15, 17 and 19 cultivation months) with four repetitions. Technological variables related to quality parameters and agronomic variables related to the productive aspect were evaluated. Cluster analyzes were performed, principal components, path analysis and canonical correlation. The results show that all genotypes showed a better brown sugar production response in the second harvest season. The variables that most contributed to the variability were the apparent sugarcane, total recoverable sugars and soluble solids content of the cane. For each harvest season, different groups of genotypes were formed. Among the ten genotypes, eight showed higher brown sugar production after 17 months of cultivation. There was variation in the brown sugar color according to the harvesting season and the cultivar used to produce it. In the analysis of cause and effect, the broth variable per ton of cane had the greatest direct effect on brown sugar production, in the first and second harvest season. For the third harvest season, the variable content of soluble solids in the broth showed a greater direct effect on brown sugar production. With different responses in the three harvest seasons, canonical correlation analysis showed interdependence between groups of variables, showing that there are agronomic variables that can be used as an alternative in the selection of cultivars with higher brown sugar quality.

Keywords: *Saccharum* spp., path analysis, principal components, genetic dissimilarity, canonical correlation.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	10
2 ARTIGO 1 - GENETIC DISSIMILARITY BETWEEN SUGARCANE GENOTYPES AT DIFFERENT HARVEST SEASON FOR BROWN SUGAR PRODUCTION	12
2.1 INTRODUCTION	12
2.2 MATERIALS AND METHODS	14
2.2.1 <i>Conditions for cultivation and preparation of the study area</i>	14
2.2.2 <i>Experimental design</i>	14
2.2.3 <i>Measure parameters</i>	14
2.2.4 <i>Statistical analysis</i>	16
2.3 RESULTS AND DISCUSSIONS.....	17
2.4 CONCLUSIONS	22
2.5 ACKNOWLEDGMENTS	22
2.6 REFERENCES	23
2.7 TABLES AND FIGURES.....	26
3 ARTIGO 2 - ASSOCIAÇÃO DE VARIÁVEIS TECNOLÓGICAS E AGRONÔMICAS DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA A PRODUÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE AÇÚCAR MASCAVO.....	30
3.1 INTRODUÇÃO	31
3.2 MATERIAL E METODOS	32
3.2.1 <i>Condições de cultivo e a área de estudo</i>	32
3.2.2 <i>Delineamento experimental</i>	32
3.2.3 <i>Variáveis avaliadas</i>	33
3.2.4 <i>Análises estatísticas</i>	34
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	35
3.4 CONCLUSÃO	43
3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
4 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	45
5 CONCLUSÃO.....	46
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
7 ANEXO	49

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) é uma cultura originária de clima tropical que apresenta excelente desenvolvimento em clima subtropical (CHEAVEGATTI-GIANOTTO et al., 2011). É uma cultura de grande importância econômica, por apresentar elevada quantidade de sacarose em sua composição, permitindo a obtenção de açúcar e etanol (SILVA et al., 2014). O açúcar é um carboidrato bastante utilizado no preparo dos alimentos, pois atribui sabor adocicado aos mesmos e características palatáveis conforme preferência do consumidor.

Com a preocupação pelo consumo de alimentos mais saudáveis, uma alternativa visando a substituição do açúcar comum é o uso do açúcar mascavo (SANTOS; QUINÁIA; FELSNER, 2018). A produção de açúcar mascavo ainda ocorre em pequena escala, oriunda principalmente de pequenas agroindústrias ou núcleos familiares (PARAZZI et al., 2009). Este setor vem crescendo, pois o mesmo é uma fonte de minerais e vitaminas. Apresenta em sua composição potássio, cálcio, fósforo, manganês, sódio, ferro, magnésio, zinco, cobre e vitaminas, tais como: B1, B2, B3, B5, B6, B9, C, D2 e K (JAFFÉ, 2015). O açúcar mascavo também apresenta propriedades antioxidantes (NAYAKA et al., 2009; OKABE et al., 2009).

Tendo em vista a importância da cultura para o país, o consumo de açúcar e o atual crescimento da preferência pelo consumo do açúcar mascavo na busca de alimentos mais saudáveis. Ainda há poucos estudos que indiquem um genótipo mais produtivo com relação a obtenção do açúcar mascavo, e a influência da época de cultivo sobre o genótipo visando quantidade e qualidade do produto final. Também é necessário a seleção de forma direta e indireta de caracteres que auxiliem pesquisadores para estudos futuros em programas de melhoramento vegetal da cultura, como auxílio há métodos estatísticos multivariados que visam explorar os dados e extrair informações importantes.

Desta forma, há necessidade de uma investigação mais aprofundada entre as possíveis relações existentes entre as variáveis mensuradas em experimentos que avaliam a produtividade da cana-de-açúcar e o rendimento e qualidade do açúcar mascavo processado. Dentre as metodologias de análise multivariada de dados, a correlação linear de Pearson, permite identificar a correlação entre duas variáveis (PEARSON, 1920). Após a estimação dos coeficientes de correlação linear, pode ser realizada a análise de trilha ou de causa e efeito, que realiza o desdobramento dos coeficientes de correlação de Pearson em efeitos diretos e indiretos de variáveis independentes sobre uma variável dependente principal (WRIGHT, 1921, 1923).

Além das metodologias mencionadas anteriormente há a correlação canônica, que busca identificar e quantificar as relações entre dois grupos de caracteres agronômicos (HOTELLING, 1936). A análise de componentes principais que possibilita identificar entre as variáveis analisadas a influência de cada uma sobre a variância total (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012) e a análise de agrupamento que possibilita identificar a dissimilaridade genética entre genótipos e inferir sobre possíveis cruzamento entre parentais de genética distinta, para assim obter maior vigor heterótico (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

A aplicação dessas metodologias de análises estatísticas de dados multivariados permite a identificação de genótipos, época de colheita e variáveis que proporcionem melhorar a produção de açúcar mascavo. Com base nos resultados obtidos com essas metodologias é possível a tomada de decisões por parte do pesquisador, de tal forma a redução de tempo, mão-de-obra e recursos financeiros durante suas pesquisas, sem perdas de precisão experimental e confiabilidade em suas recomendações.

Desta forma este estudo teve como objetivo estimar as relações entre caracteres de produção da cana-de-açúcar e de qualidade do açúcar mascavo, além de estudar a dissimilaridade genética dos genótipos, sua resposta de produção de açúcar mascavo em diferentes cultivares sobre três épocas de colheita ao longo do cultivo.

2 ARTIGO 1 – GENETIC DISSIMILARITY BETWEEN SUGARCANE GENOTYPES AT DIFFERENT HARVEST SEASON FOR BROWN SUGAR PRODUCTION

ABSTRACT: The purpose of this study was to characterize and identify the dissimilarity between sugarcane genotypes through technological and agronomic variables, in three harvest periods for brown sugar production. A randomized block design was used in a 10x3 factorial scheme, with ten sugarcane genotypes (IACSP 93-3046, RB 96-6928, IACSP 95-5094, IACSP 97-4039, SP 81-3250, IACSP 95-5000, RB 86-7515, IACSP 96-3060, IACSP 04-704, IACSP 04-656) and three harvest seasons (15, 17 and 19 months of cultivation) with four replications. Technological variables related to quality parameters and agronomic variables related to the productive aspect were evaluated. According to the results, all genotypes showed better response in the second harvest. The variables that most contributed to the variability among genotypes were sugarcane apparent sucrose, recoverable total sugars and sugarcane soluble solids content. For each harvest season different groups of genotypes were formed. For most genotypes the highest brown sugar production occurred after 17 months of cultivation. Brown sugar coloration varied according to the harvest season and the cultivar used to produce it.

Keywords: Multivariate analysis, Clustering, Principal components, Quality, *Saccharum* spp.

2.1 INTRODUCTION

Sugarcane (*Saccharum* spp.) belongs to the Poaceae family, originated from a tropical climate. Brazil leads the ranking of world production of sugarcane, harvesting a total of 635 million tons in 2017/2018 crop season. The state of São Paulo is the largest producer of sugarcane, with an estimated harvest of 346 million tons in 2018 (Compania Nacional de Abastecimento - CONAB 2018). Part of the national production of sugarcane is used to produce brown sugar a type of unrefined sugar obtained directly by evaporation and

concentration of the sugarcane juice. It presents a dark color and is produced in small scales (Gutiérrez-Mosquera et al. 2018).

Characterized as a healthy food with higher nutritional value, than other industrially produced sugar, brown sugar is catching attention consumers who search for higher nutritional quality food. It has higher concentrations of minerals, vitamins and also proteins, besides several positive effects like the strengthening of the immune system, cytoprotectors, anticancer properties and reduce the occurrence of diabetes and hypertension (Santos et al. 2018), and presenting antioxidant properties (Nayaka et al. 2009; Okabe et al. 2009).

Due to the economic and social importance of brown sugar, studies are needed indicating genotypes and the growing period, with the most favorable harvesting moment to obtain higher productivity and quality of brown sugar. For this, multivariate analysis techniques are useful in the selection of genotypes and variables. To verify genetic dissimilarity between genotypes one option is cluster analysis and to identify the most and least representative characters, principal components (Cruz et al. 2012).

By using multivariate analysis, it is possible to make decisions on the part of the researcher, with reduced labor and financial resources in their research, without loss of experimental precision and reliability in its recommendations. Considering the economic and social importance of sugarcane in Brazil, and increased consumption of brown sugar, studies that elucidate the production capacity, the sugar quality of genotypes and the influence of the harvest season on the production of brown sugar are welcome. Some authors, such as Ftwi et al. (2016); Nardino et al. (2017) used multivariate analysis techniques to study sugarcane genotypes, but not directed to the production of brown sugar. In this context, the objective was to characterize and identify the dissimilarity between sugarcane genotypes through technological and agronomic variables, in three harvest periods for brown sugar production.

2.2 MATERIALS AND METHODS

2.2.1 Conditions for cultivation and preparation of the study area

The experiment was carried out in the city of Jaú - São Paulo, Brazil, located at 22°17'S and 48° 34'W with 580 meters of altitude. Based on the Köppen's classification, the climate in this region, is Aw-dry type (Alvares et al. 2013), annual temperature average of 21.6 °C, annual rainfall average of 1344 mm. Fertilization throughout the experiment followed soil analysis, with applications according to the technical recommendations for the crop. The planting was carried out in the first fortnight of April 2013, with planting carried out in furrows, was planted in the rows at density of 18 buds per meter.

2.2.2 Experimental design

A randomized block design with four replications, using a split-plot treatment layout was used. The study consisted of ten sugarcane genotypes, characterized in Table 1, with their parents, origin, maturation group and percentage of the area cultivated in Brazil in the 2017/2018 harvest, where data of 6.8 million were collected hectares and in the state of São Paulo, the percentage of cultivated area with a survey of 3.8 million hectares in the 2018/2019 harvest (BRAGA JUNIOR et al., 2019). Three harvesting times, namely 15 (Season 1(S1)), 17 (Season 2(S2)) and 19 (Season 3(S3)) months after planting were allocated in the sub-plots, moment before and after the sugarcane harvest, rather, at the most common time of harvesting sugarcane grown in the year and a half and after the cultivation of sugarcane. The experimental plot was composed of five 8 m length cropping rows spaced by 1.5 m, making a total useful area of 60 m² (2400 m² of experimental area).

2.2.3 Measure parameters

In each sub-plot (harvest time), a sample of 62 stems was collected. This sample was split up into two subsamples. One, containing 12 stems was used to measure the biometrics variables of stem height (SH in cm) and number of internodes (NI) and the technological variables related to the apparent sucrose in sugarcane (ASS cane in %), soluble solids in

sugarcane ($^{\circ}$ Brix cane in %), cane fiber (CF in %), purity (%), and calculation of total recoverable sugars (TRS in $\text{kg} \cdot \text{ton}^{-1}$). The other sub-sample, with 50 stems, was used to measure the stem mass by means of the average stem mass (ASM in kg), the volume of broth extracted in 50 stems, in a small mill, of a suit, (VB in L), apparent sucrose from broth (ASS broth in %) and soluble solids content of broth ($^{\circ}$ Brix broth) sugar cane to be used for the processing of brown sugar.

Eight liters of broth were directed to the production of brown sugar, in open aluminum pan, at atmospheric pressure, on high pressure semi industrial gas cooker. The temperature throughout the process was $95 \pm 5^{\circ}\text{C}$. At the end of the concentration, the temperature was increased to 115°C . This moment is denominated the point of attainment of brown sugar, which is immediately removed from the fire for the manual baking step and the occurrence of sugar crystallization.

For each day of analysis, four batches of brown sugar were produced per day, each batch of eight liters of broth, derived from the broth obtained from the 50 crushed stalks. The analysis sequence lasted ten consecutive days. Thus, 40 samples of brown sugar were processed per harvest season. In all, 120 lots of brown sugar were produced. Samples were analyzed for instrumental color, using Minolta portable colorimeter, model CR400, scale CIELAB. The device measures the coordinates L^* , which represents the brightness on a scale of zero (black) a hundred (White); a^* , which represents a scale of shades of red ($0+a$) to green ($0-a$); and b^* which represents a scale of shades of yellow ($0+b$) the blue one ($0-b$).

The Chroma variable (Hue angle) was measured by converting the values of a^* and b^* obtained, through this occurs the definition of color intensity, (0) in the center and increases according to the distance. Soluble solids content was measured in automatic bench refractometer, brand Reichert, model I300 and the readings were carried out in Polarimeter,

brand Anton Paar, model MCP 200. The mass of brown sugar per tonne of sugarcane (BSTS in kg) and the mass of brown sugar obtained in 100 liters of broth (BS100LB in kg).

To measure the POL variable, a polarimeter was used (sucrose reading by polarized light deviation), °Brix variable was measured by refractometer. The purity, fiber content were determined according to CONSECANA manual (CONSECANA, 2006).

2.2.4 Statistical analysis

Statistical analysis was performed for each growing season as a function of the sugarcane maturation curve. A biplot (Gabriel, 1971) obtained in the principal component analysis (PCA) was used to explore the relationships between characters, the contribution of each character in the total variance well as the magnitude of these characters in relation to the genotypes. To obtain the principal components, the correlation matrix was used. The variables with the lowest contributions to the total variance were excluded from all harvest periods, as described by (Kassambara, 2017).

The clustering analysis of the genotypes was performed using the using bootstrap method of UPGMA (Unweighted Pair-Group Method Using an Arithmetic Average) based on the Euclidean distance matrix estimated with the same variables of the PCA. In order to identify the number of groups, the *pvclust* function of the *pvclust* package of the software R (Suzuki and Shimodaira, 2006) was used. Based on 1000 resamples, groups with approximately unbiased p-value < 0.05 were considered significant. The association between the cophenetic matrix and original matrix was determined by the cophenetic correlation coefficient (CCC) (Sokal and Rohlf, 1962). All statistical analyzes were performed using software R (R CORE TEAM, 2019).

2.3 RESULTS AND DISCUSSIONS

The variables CF, BSTS, NI, ASS BS, Purity and VB were excluded from the PCA due to low contribution to the explanation of the variation in the three harvest periods. In Fig.1 the dotted red line is a separation of the variables with greater and lesser influence.

The first two main components explained 77%, 70.8% and 72.5% of the total variation for S1, S2 and S3, respectively (Fig. 2). For S1 the variables L^* , b^* and Chroma, which indicate staining pattern, were not associated with any of the genotypes (Fig. 2a). The variables SH and ASM were negatively correlated with the variables Chroma, b^* and L^* because they presented vectors in opposite directions (Fig. 2a). This suggests that higher weight stems result in less yellow and less bright sugars, may influence the acceptance of the product in the consumer market. The highest values of SH and ASM were associated with genotypes G8 and G9, where genotype G8 presented higher SH and genotype G9 higher ASM.

The variables ASS cane, °Brix cane, ASS broth, °Brix broth, TRS were positively correlated (Fig. 2a). These are associated with the presence of sucrose in sugarcane. The highest magnitudes of these variables were observed for genotype G10 and the lowest for G3, G4 and G6. The variables ASS Cane, °Brix Cane, ASS broth, °Brix broth, TRS are negatively correlated with variable a^* , which presented a low contribution on the total variation.

For S2 (Fig. 2b) the variables SH, ASW and a^* present higher magnitude for G8 and G9 genotypes, and negative correlation with the Chroma variables, L^* , b^* and AM100L, which present greater magnitude with G7. L^* indicates values of luminosity, lower this value, the darker the sugar and the larger the lighter. The coloration of the sugar produced by the G9 genotype showed dark coloration and the G7 light coloration. The variables °Brix broth, °Brix cane, ASS broth, ASS cane and TRS presented higher magintitude for the G2 and G6 genotypes and lower for the G4 genotype.

For S3, the genotypes G4, G8 and G9 presented greater magnitude with the variables SH and ASM and smaller with the variable L*, b*, Chroma, °Brix broth, ASS broth (Fig. 2c), which indicated greater magnitude with the genotypes G1 and G5. The G4, G8 and G9 genotypes showed darker stained sugar. The genotypes G1 and G5 produced sugar with light coloration, because they showed to be positively correlated with the variables L*, b* and chroma, that is, lighter sugar, yellow and of more intense staining (Fig. 2c).

The variables BS100LB, °Brix cane, ASS cane, TRS and a* are positively correlated, and present a greater magnitude with the genotypes G2, G3 and G6 and smaller magnitude for genotypes G7 and G10 (Fig. 2c). The decrease in productivity of G7 and G10 genotypes, may be associated with the longer time of stay of sugarcane in the growing area until the time of harvest for the processing of brown sugar, with a natural drop in the amount of sucrose present in the sugarcane.

In all harvest times, the variables ASS cane, ASS broth, °Brix broth, °Brix cane, TRS were positively correlated (Fig. 2) which are parameters of quality and quantity of the sugar that will be produced. Among the genotypes studied, it was observed that G2 (clone IACSP04-704) presented similar results in the three harvest periods, for these variables, indicating that it was ready to be processed already in the first harvest season.

For the study of genetic dissimilarity between genotypes, the values for co-phenotype correlation coefficients of 0.78, 0.72 and 0.72 for S1, S2 and S3 respectively were obtained. Nearby Values, equal to or greater than 0.80 indicate good adjustments between the original distance matrix and the graphic distance (Sokal and Rohlf, 1962).

In this way it is possible to verify the genetic dissimilarity between the genotypes within each harvest season, suggesting the genotypes that can be used for crosses, in future breeding programs with the sugar cane crop destined for the production of brown sugar. The

variables selected for discrimination of the genotypes were the same variables used in the analysis of main components.

Genotypes G2, G7 and G10 constituted group 1, it presented the lowest values of TRS and BS100LB, TRS constitutes the total recoverable sugars and consequently lower value of BS100LB, when compared to the other groups of genotypes in S1. Genotypes G1, G3, G4 and G5 (group 2) showed genetic proximity in S1, with the lowest values for SH and ASM with production of brown sugar with lighter coloration, yellow and intense when compared to groups 1 and 3 (Table 2). Genotypes G2, G7 and G10 (group 3), in S1 (Fig. 3a) show genetic similarity, this group presented values of SH and ASM, between the values observed in groups 1 and 2. Group 3 had the highest mean values of TRS, BS100LB and °Brix cane, °Brix broth.

In S2 (Fig. 3b), there were three groups. The first, composed of the genotypes, G8 and G9. This group had a higher average ASM value and the lower values of L*, b* and chroma, with respect to the other groups in S2, these genotypes showed sugar production with dark coloration (Table 2). The second group consisted of G4, this presented the lowest value of ASM and greater value of BS100LB (Table 2). The third group consisted of a greater number of genotypes, among them the G1, G2, G3, G5, G6, G7 and G10, indicating that among these there is no significant genetic diversity, this group presented the highest values of °Brix cane, ASS cane and TRS.

For S3, there were two groups, the first compound of the genotypes G4, G7, G8, G9 and G10, presented the highest ASM value and lowest TRS value (Table 2). The second group, composed of genotypes G1, G2, G3, G5 and G6 with lower ASM value and higher TRS value. In S3, observed reduction of °Brix cane in both groups. S2 presented the best results for the three groups formed, between the three harvest seasons (S1, S2 and S3), indicating greater production of the genotypes after 17 months of cultivation.

The response observed in the three harvest periods with respect to the variables L^* , a^* , b^* and their inverse correlation with the ASM and SH variables suggested that, the increase of the weight results in sugars of yellow coloration and with little brightness, may influence the acceptance of the product in the consumer market. The coloring of brown sugar is an important characteristic as a parameter of quality and indicative of consumer preference, which may or may not be affected by its color (Guerra and Mujica, 2010). The brown sugar is obtained when the cooking temperature is high, causing for example, Maillard reactions and caramelization. Besides that, the presence of phenols and flavonoids in cane stalk may promote differences in the formation of dark pigments in brown sugar, and may vary according to the cultivar (Asikin et al. 2016).

The ASS represents the percentage of apparent sucrose in both cane juice and brown sugar, and is directly related to the amount of sugar that will be obtained. According to (Fig. 1), it is observed that there was more production in S2 because this variable is further from the x-axis and y-axis, which indicates its greater production, as well as other variables that are directly linked with the greater obtaining of the brown sugar.

Ahmed et al. (2016) with a study of two harvest periods, after 11 and 14 months of cultivation, obtained that at 14 months of cane cultivation in the, higher soluble solids content in the broth, what is desirable, Hagos, Mengistu and Mequanint (2014) with the study of six harvesting times after 10, 12, 14, 16, 18 and 20 months of cultivation, that the best productive response with higher sucrose production was at 14 months and after that there was a decline in the production of POL and sucrose, consequently less sugar was produced, these studies address the production of sugar and no brown sugar.

The accumulation of sucrose occurs increasingly, until the peak of sucrose in the stem (Chandra et al. 2014). The amount of sucrose contained in cane juice is related to the amount of sugar that will be obtained, since sucrose is the crystallizable sugar, unlike glucose and

fructose, which does not have the crystallization property and which may negatively interfere with the crystallization of brown sugar if they are at higher levels (Wang et al. 2017).

The obtained dendrogram (Fig. 3a) shows in S1 the genetic similarity between genotypes G6, G8 and G9 (group 1), it presented mean values of SH and ASW higher than the other groups (Table 2), but with lower sugar production compared to groups 2 and 3, response observed because the peak of sucrose synthesis did not occur. The endogenous synthesis of sucrose can be derived from the expression of Susy genes (Thirugnanasambandam et al. 2019). The peak accumulation of sucrose can occur from the endogenous synthesis of reducing sugars (Castro et al. 2001).

For S2 the highest values of POL and ATR were observed, it was the harvest season that provided the best productive response to the genotypes, in the three groups formed. In S3, the dark coloration of the sugar obtained from the G4, G8 and G9 genotypes may occur by decreasing the amount of sucrose, according to the maturation curve of these genotypes, leaving most of the presence of reducing sugars (fructose and glucose), non-crystallizable sugars (Rook et al. 2006).

The sugarcane crop is characterized as semi-perennial, whose harvest occurs at the end of its growth and maturation (accumulation of sucrose), when the maximum productivity and accumulation of TRS occurs. The reduction of the TRS amounts occurs due to the natural decrease of the maturation curve and consequently the conversion of sucrose into reducing sugars (fructose and glucose) (Compania nacional de abastecimento - CONAB, 2018).

The heterotic potential is obtained by the union of two different genotypes, where the material obtained from the crossing has characteristics and qualities superior to the genotypes used to obtain them (Shull 1948). The cross between the G8 or G9 genotypes with the genotypes G1, G2, G3, G5, G6 and G10, becomes promising for the generation of new combinations of favorable alleles for the development of individuals with heterotic potential,

based on their parents (Table 1), and cluster analysis, for the production of brown sugar after 17 months of cultivation. It is important to emphasize that genetic dissimilarity between parents is not enough to obtain heterotic potential, but performance must also be observed, production and productivity of their parents (Carpentieri-Pípolo et al. 2000).

2.4 CONCLUSIONS

The IACSP04-704 genotype showed better and greater brown sugar production, showing to be a more suitable genotype for brown sugar production among the ten evaluated genotypes. This genotype showed higher production in the second harvest season, in addition to having a longer period for harvesting than other cultivars, without affecting the production of brown sugar. In the three growing seasons, the variables that most contributed to the variability were ASS cane, TRS and ° Brix cane.

In S1, S2 and S3 the genotype RB96-6928 and in S3 the genotype IACSP97-4039, produced dark brown sugar. On the other hand, the genotypes IACSP 04-656 and IACSP95-5094 in S1, the IACSP 97-4039 in S2 and the IACSP95-5094 in S3 produced light colored brown sugar.

2.5 ACKNOWLEDGMENTS

We thank the Brazilian National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) and the Coordination for the Improvement of Higher Level Personnel (CAPES), for fellowships and grants to the authors and a APTA (Paulista Agency of Agribusiness Technology) for the availability of the area and experimental conduction.

2.6 REFERENCES

- Ahmed, AZ, El-Bakry, A and Sakina, RA (2016). Assessment of the optimum age for harvesting some promising sugarcane varieties. *Minia Journal of Agricultural Research and Development*, 36, 635-651.
- Alvares, CA, Stape, JL, Sentelhas, PC, Gonçalves, JL de M and Sparovek, G (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22, 711-728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Asikin, Y, Hirose, N, Tamaki, H, Ito, S, Oku, H and Wada, K (2016). Effects of different drying e solidi fi cation processes on physical properties , volatile fraction , and antioxidant activity of non- centrifugal cane brown sugar. *Food Science and Technology*, 66, 340-347. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.10.039>
- Carpentieri-Pípolo, V, Destro, D, Prete, CC, Gonzales, MGN, Popper, I, Zanatta, S and Silva, FAM da (2000). Seleção de genótipos parentais de acerola com base na divergencia genética multivariada. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 35, 1613-1619. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2000000800014>
- Castro, PRC, Miyasaki, JM, Bemardi, M, Marengo, D and Nogueira, MCS (2001). Efeito do ethephon na maturação e produtividade da cana-de-açúcar. *Brazilian Journal Of Agriculture*, 76, 277-290.
- Chandra, A, Verma, PK, Islam, MN, Grisham, MP, Jain, R., Sharma, A and Solomon, S (2014). Expression analysis of genes associated with sucrose accumulation in sugarcane (*Saccharum* spp . hybrids) varieties differing in content and time of peak sucrose storage. *Plant Biology*, 17, 608-617. <https://doi.org/10.1111/plb.12276>
- Conab, C. N. de A (2018). Acompanhamento da safra brasileira: cana-de-açúcar: terceiro levantamento. *Conab*, 5, 1-75.
- CONSECANA (2006). Instruction manual. 5. th ed. Piracicaba-SP: Consecana
- Cruz CD, Regazzi AJ and Carneiro PCS (2012). Modelos biometricos aplicados ao melhoramento genético. V.2. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária.
- Ftwi, M, Mekbib, F and Abraha, E (2016). Multivariate analysis of sugar yield contributing traits in Sugarcane (*Saccharum officinarum* . L), in Ethiopia. *African Journal of Plant Science*, 10, 145-156. <https://doi.org/10.5897/AJPS2016.1419>
- Guerra, MJ and Mujica, MV (2010). Physical and chemical properties of granulated cane sugar “panelas”. *Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 30, 250-257. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010005000012>

- Gutiérrez-mosquera, LF, Arias-giraldo, S and Ceballos-peñaloza, AM (2018). Actualidad del sistema productivo tradicional de panela en Colombia : análisis de mejoras y alternativas tecnológicas. *Ingeniería y Competitividad*, 20, 107-123.
<https://doi.org/10.25100/iyc.v20i1.5233>
- Hagos, H, Mengistu, L and Mequanint, Y (2014). Determining optimum harvest age of sugarcane varieties on the newly establishing sugar project in the tropical areas of tendaho, Ethiopia. *Advances in Crop Science and Technology*, 02, 2-5.
<https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000156>
- Kassambara, A (2017) Practical guide to principal component methods in R (1st ed.). Create Space Independent Publishing Platform. Available at
<http://www.sthda.com/english/wiki/practical-guide-to-principal-component-methods-in-r>. (accessed 15 July 2019).
- Nardino, M, Carvalho, IR., Ferrari, M, Pelegrin, AJ de Szareski, VJ, Follmann, DN and Souza, VQ de. (2017). Indução de mutação e mensuração da variabilidade genética em genótipos de cana-de-açúcar. *Revista de Ciências Agroveterinárias*, 16, 247-255.
<https://doi.org/10.5965/223811711632017247>
- Nayaka, MAH, Sathisha, UV, Manohar, MP, Chandrashekar, KB and Dharmesh, SM. (2009). Cytoprotective and antioxidant activity studies of jaggery sugar. *Food Chemistry*, 115, 113-118. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.11.067>
- Okabe, T, Toda, T, Inafuku, M, Wada, K, Iwasaki, H and Oku, H. (2009). Antiatherosclerotic Function of Kokuto, Okinawan Noncentrifugal Cane Sugar. *Journal of Agricultura and Food Chemistry*, 57, 69-75. <https://doi.org/10.1021/jf802796m>
- R CORE TEAM (2019) A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria. Retrieved from <https://www.r-project.org/>. (accessed 10 July 2019).
- Rook, F, Hadingham, SA, Li, Y and Bevan, MW (2006). Sugar and ABA response pathways and the control of gene expression. *Plant, Cell & Environment*, 29, 426-434.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2005.01477.x>
- Santos, JM, Quináia, SP and Felsner, ML (2018) Fast and direct analysis of Cr, Cd and Pb in brown sugar by GF AAS. *Food Chemistry*, 260, 19-26.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.106>
- Shull, GH (1948). What Is "Heterosis." *Genetics*, 33, 339-446.
- Sokal, RR and Rohlf, FJ (1962). The comparison of dendrograms by objective methods. *Taxon*, 11, 33–40. <https://www.jstor.org/stable/1217208>
- Suzuki, R and Shimodaira, H (2006). Pvcust: an R package for assessing the uncertainty in

hierarchical clustering. *Bioinformatics*, 22, 1540-1542.

<https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btl117>

Thirugnanasambandam, PP, Mason, PJ, Hoang, NV, Furtado, A, Botha, FC and Henry, RJ (2019). Analysis of the diversity and tissue specificity of sucrose synthase genes in the long read transcriptome of sugarcane. *BMC Plant Biology*, 19, 1-14.

<https://doi.org/10.1186/s12870-019-1733-y>

Wang, J, Zhao, T, Yang, B and Zhang, S (2017). Sucrose metabolism and regulation in sugarcane. *Journal of Plant Physiology e Pathology*, 5, 1-6. <https://doi.org/10.4172/2329-955X.1000167>

2.7 TABLES AND FIGURES

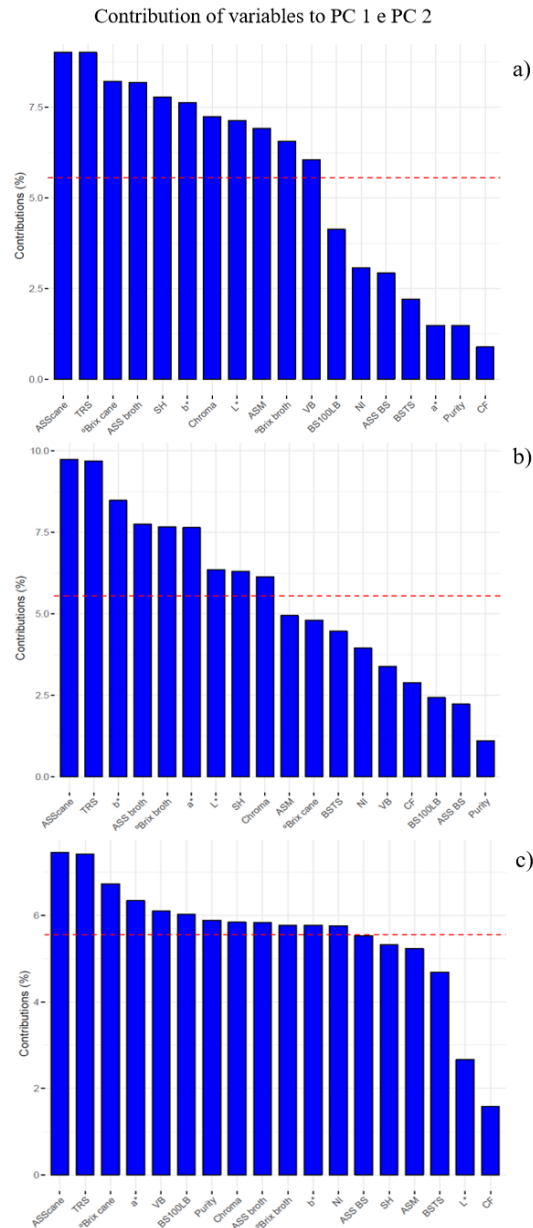


Figure 1. Contribution (%) of each variable analyzed on the first two components referring to analysis of main components for the three harvesting periods of sugarcane: a) first harvest; b) second harvest; c) third harvest. For the variables stem height (SH), brown sugar obtained in 100 liters of broth (BS100LB), total recoverable sugars (TRS), a^* , b^* , Chroma, Cane fiber (CF), L^* , brown sugar per tonne of sugarcane (BSTS), number of internodes (NI), apparent sucrose in brown sugar (ASS BS), apparent sucrose in broth (ASS broth), apparent sucrose in sugarcane.

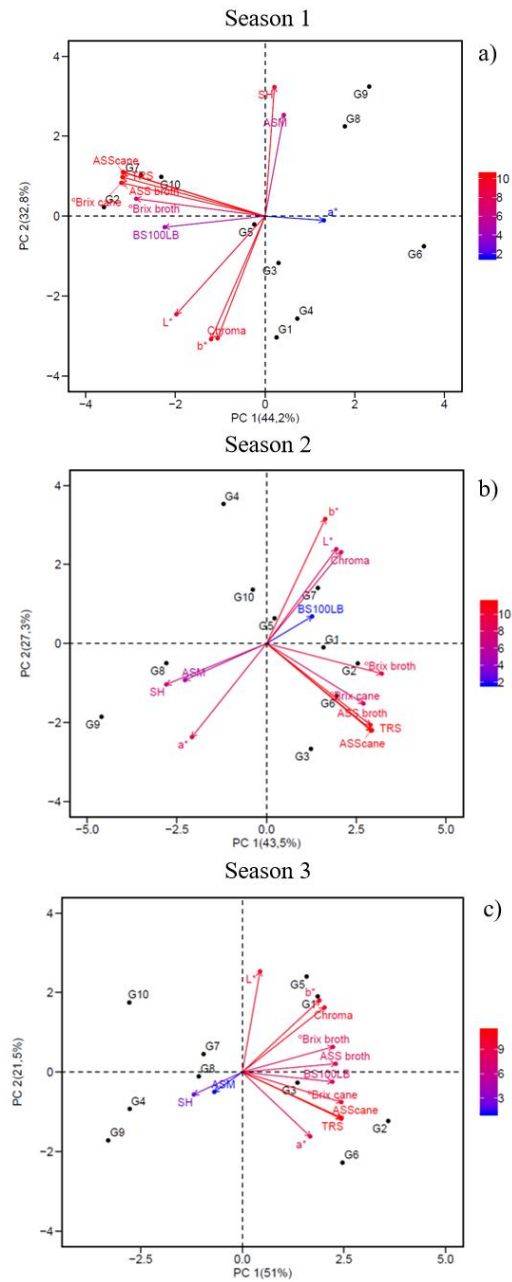


Figure 2. Biplot of main component analysis, a) first harvest; b) second harvest; c) third harvest, with the variables: stem height (SH), brown sugar obtained in 100 liters of broth (BS100LB), total recoverable sugars (TRS), a^* , b^* , Chroma, L^* , apparent sucrose in broth (ASS broth), apparent sucrose in sugarcane (ASS cane), average stem mass (ASM), soluble solids content of broth ($^{\circ}$ Brix broth), soluble solids in sugarcane ($^{\circ}$ Brix cane).

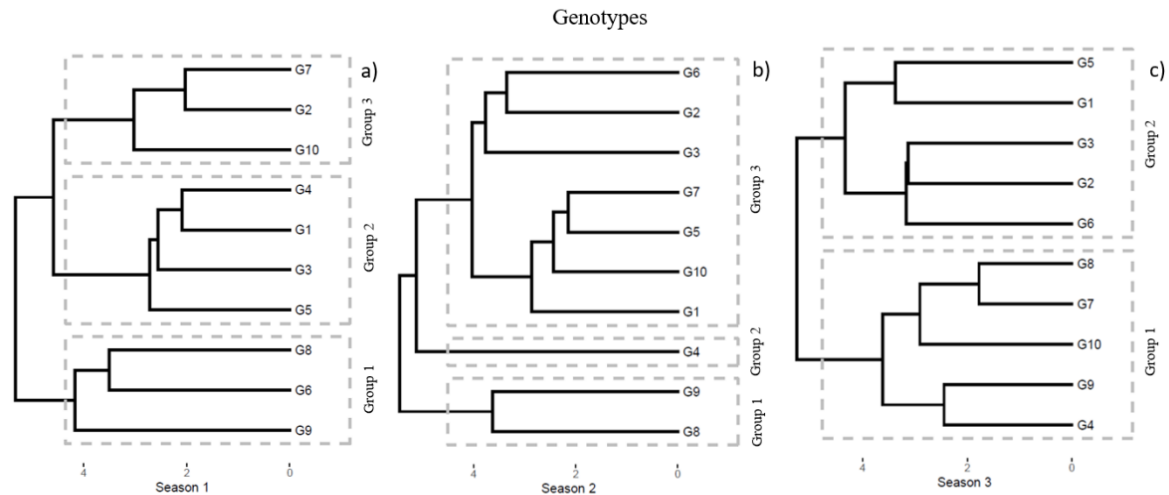


Figure 3. Dendrograms obtained by the unweighted pair-group method using an arithmetic average (UPGMA), by means of the Euclidean distance between the ten genotypes for each harvest season, a) first harvest; b) second harvest; c) third harvest, with the variables: Stem height (SH), brown sugar obtained in 100 liters of broth (BS100LB), total recoverable sugars (TRS), a*, b*, Chroma, L*, apparent sucrose in broth (ASS broth), apparent sucrose in sugarcane (ASS cane), average stem mass (ASM), soluble solids content of broth (°Brix broth), soluble solids in sugarcane (°Brix cane).

Table 1. Classification according to maturation group of sugar cane genotypes and their progenitors.

Genótipo	Código	Grupo de maturação	Origem	Área cultivada na safra 2017/2018 no Brasil %	Área cultivada na safra 2018/2019 no estado de SP %	Parentais	
IACSP04-656	G1	S/Inf	IAC	S/Inf	S/Inf	IACSP93-3046	SP77-5181
IACSP04-704	G2	S/Inf	IAC	S/Inf	S/Inf	IACSP95-3028	SP77-5181
IACSP93-3046	G3	Médio/tardio	IAC	S/Inf	S/Inf	SP79-1011	NA
IACSP95-5000	G4	S/Inf	IAC	S/Inf	1,8	SP84-2066	SP80-185
IACSP95-5094	G5	Médio	IAC	S/Inf	S/Inf	SP80-3280	NA
IACSP96-3060	G6	Médio/tardio	IAC	S/Inf	S/Inf	SP82-6108	NA
IACSP97-4039	G7	Precoce	IAC	S/Inf	S/Inf	RB835486	RB855453
RB867515	G8	Médio/tardia	RIDESA	26	18,3	RB72454	NA
RB966928	G9	Precoce	RIDESA	9,2	15,1	RB855156	RB815690
SP81-3250	G10	Médio	Copersucar	5,7	2,1	CP70-1547	SP71-1279

IAC: Agronomic Institute of Campinas, RIDESA: Interuniversity Network for the

Development of the Sugar and Energy Sector, SP: Copersucar.

Table 2. Mean (\bar{x}), standard deviation (SD) and coefficient of variation (CV) of variables: Stem height (SH), brown sugar obtained in 100 liters of broth (BS100LB), total recoverable sugars (TRS), a*, b*, Chroma, L*, apparent sucrose in broth (ASS broth), apparent sucrose in sugarcane (ASS cane), average stem mass (ASM), soluble solids content of broth ($^{\circ}$ Brix broth), soluble solids in sugarcane ($^{\circ}$ Brix cane), for the groups formed in S1, S3 and S3, from the dendrogram representative of genetic dissimilarity.

S1									
Variável	Group 1			Group 2			Group 3		
	\bar{x}	SD	CV%	\bar{x}	SD	CV%	\bar{x}	SD	CV%
ASM (kg)	2.008	0.296	14.734	1.674	0.424	25.296	1.813	0.204	11.264
SH (cm)	294.042	39.213	13.336	229.729	28.845	12.556	273.958	25.454	9.291
$^{\circ}$ Brix cane (%)	19.869	0.679	3.419	20.329	0.536	2.634	21.180	0.591	2.789
ASS broth (%)	18.237	0.811	4.446	18.604	0.609	3.275	19.387	0.859	4.429
ASS cane (%)	15.523	0.619	3.990	15.655	0.494	3.153	16.553	0.710	4.291
TRS (%)	153.373	5.528	3.604	154.618	4.573	2.958	163.363	6.413	3.925
$^{\circ}$ Brix broth (%)	20.758	0.783	3.773	21.131	0.664	3.142	21.950	0.684	3.117
BS100LB	18.140	1.200	6.614	18.331	1.290	7.037	19.381	0.942	4.860
L*	46.613	1.335	2.865	50.241	1.186	2.361	49.661	1.032	2.077
a*	5.962	0.682	11.436	5.843	0.535	9.154	5.645	0.638	11.308
b*	18.987	1.062	5.593	21.173	0.845	3.989	20.317	0.649	3.194
Chroma	19.907	1.153	5.792	21.970	0.859	3.910	21.093	0.707	3.353
S2									
Variável	Group 1			Group 2			Group 3		
	\bar{x}	SD	CV%	\bar{x}	SD	CV%	\bar{x}	SD	CV%
ASM (kg)	2.041	0.223	10.922	1.486	0.126	8.457	1.613	0.230	14.245
SH (cm)	324.814	16.207	4.990	245.900	6.515	2.649	261.961	29.139	11.124
$^{\circ}$ Brix cane (%)	23.510	0.889	3.781	23.020	0.689	2.994	24.054	0.763	3.171
ASS broth (%)	21.230	0.986	4.646	21.005	0.664	3.161	21.805	0.860	3.944
ASS cane (%)	17.719	0.837	4.725	17.538	0.614	3.500	18.227	0.728	3.995
TRS (%)	174.835	7.733	4.423	172.825	5.852	3.386	179.622	6.728	3.746
$^{\circ}$ Brix broth (%)	21.938	0.644	2.933	22.000	1.020	4.635	22.929	0.649	2.831
BS100LB	21.014	0.858	4.081	22.279	0.563	2.528	21.660	1.410	6.509
L*	46.534	2.447	5.260	49.300	0.869	1.763	49.140	2.169	4.413
a*	6.101	0.236	3.863	5.455	0.468	8.573	5.659	0.571	10.083
b*	17.889	1.155	6.455	20.475	0.602	2.940	19.411	1.318	6.792
Chroma	18.906	1.069	5.656	21.193	0.616	2.909	20.546	2.268	11.040
S3									
Variável	Group 1			Group 2					
	A	SD	CV%	A	SD	CV%			
ASM (kg)	1.841	0.424	23.053	1.583	0.255	16.077			
SH (cm)	298.846	39.901	13.352	260.390	35.403	13.596			
$^{\circ}$ Brix cane (%)	21.442	0.689	3.214	22.545	0.739	3.276			
ASS broth (%)	19.358	0.961	4.967	21.539	2.297	10.662			
ASS cane (%)	16.117	0.832	5.165	17.500	0.793	4.532			
TRS (%)	159.391	7.501	4.706	171.932	7.326	4.261			
$^{\circ}$ Brix broth (%)	20.320	1.085	5.340	21.290	1.093	5.132			
BS100LB	17.951	1.626	9.057	19.614	1.617	8.244			
L*	46.313	2.373	5.125	46.884	2.353	5.019			
a*	5.444	0.494	9.080	5.683	0.404	7.101			
b*	17.100	1.576	9.216	18.446	1.506	8.165			
Chroma	21.442	0.689	3.214	19.311	1.432	7.413			

3 ARTIGO 2 - ASSOCIAÇÃO DE VARIÁVEIS TECNOLÓGICAS E AGRONÔMICAS DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA A PRODUÇÃO QUANTITATIVA E QUALITATIVA DE AÇÚCAR MASCAVO

RESUMO: O objetivo deste estudo foi determinar as relações lineares entre variáveis agronômicas e tecnológicas de açúcar mascavo produzidos por diferentes genótipos de cana-de-açúcar colhidos em diferentes épocas de colheita. O experimento foi conduzido na cidade de Jaú-SP, BR, no delineamento blocos casualizados com parcelas subdivididas, contendo dez genótipos de cana-de-açúcar colhidos em três épocas diferentes. As variáveis analisadas foram: altura de colmo, número de internódios, açúcar mascavo por tonelada de cana-de-açúcar, caldo por tonelada de cana-de-açúcar, massa de colmo, fibra, POL do caldo, pureza, POL da cana, açúcares totais recuperáveis, °Brix do caldo, POL do açúcar mascavo, cor instrumental (“L”, “a”, “b” e croma). As análises estatísticas realizadas foram a análise de trilha e correlação canônica. A variável caldo por tonelada de cana apresentou maior efeito direto sobre a produção de açúcar mascavo na primeira e segunda época de colheita, na terceira época de colheita houve o efeito direto do °Brix do caldo. Nas relações entre os grupos de variáveis tecnológicas e agronômicas, a primeira e terceira época apresentaram o primeiro par canônico significativo. A quantidade de caldo por tonelada e o °Brix do caldo podem ser selecionados para a maior produção de açúcar mascavo, pois ambos apresentaram maior efeito direto. Com respostas distintas nas três épocas de colheita, a análise de correlação canônica mostrou interdependência entre os grupos de variáveis, inferindo que há variáveis agronômicas que podem ser utilizadas como alternativa na seleção de cultivares com maior qualidade de açúcar mascavo.

Palavras-chave: Análise de trilha, correlação canônica, qualidade do açúcar, época de colheita, análise multivariada.

ASSOCIATION OF TECHNOLOGICAL AND AGRONOMIC VARIABLES OF SUGARCANE FOR THE QUANTITATIVE AND QUALITATIVE PRODUCTION OF MASCAVO SUGAR

ABSTRACT: The purpose of this study was to determine the linear relationships between agronomic and technological variables of brown sugar produced by different sugarcane genotypes and harvest times, and to identify direct and indirect effects between the variables. The experiment was conducted in the city of Jaú-SP, BR, in a randomized block design with

ten sugarcane genotypes harvested at three different times. The variables analyzed were stem height, number of internodes, brown sugar per ton of sugarcane, broth per ton of sugar cane, mass of culm, fiber, ASB, purity, AS to cane, total recoverable sugars, °Brix of broth, AS of brown sugar, instrumental color (“L”, “a”, “b” and chroma). The statistical analyzes performed were trail analysis and canonical correlation. The variable broth per ton of sugarcane had the greatest direct effect on brown sugar production in the second and third harvest season, in the third harvest season there was the greatest direct effect of °Brix of broth. In relations between groups of technological and agronomic variables, the first and third epoch obtained the first significant canonical pair. The amount of broth per ton and the broth °Brix can be selected for the highest brown sugar production, as both had the greatest direct effect. With distinct answers in the three harvest seasons, canonical correlation analysis showed interdependence between groups of variables, inferring that agronomic variables can be used as an alternative in the selection of cultivars with higher quality brown sugar.

Keywords: Path analysis, canonical correlation, sugar quality, harvest time, multivariate analysis.

3.1 INTRODUÇÃO

A cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.), da família Poaceae, possui grande importância mundial, econômica e social, seus principais derivados são o etanol e o açúcar (CONAB, 2019). Dentre os derivados da cana-de-açúcar está o açúcar mascavo, que teve sua redescoberta e crescente demanda por apresentar características de um produto saudável e com inúmeros benefícios para a saúde (NAYAKA et al., 2009; OKABE et al., 2009). Ainda há uma carência de informações sobre a cultivar mais indicada para a produção de açúcar mascavo. Além disso, para que um programa de melhoramento possa realizar a seleção de caracteres e variáveis em determinados genótipos é indispensável ao pesquisador ter conhecimento sobre o impacto que terá sua seleção sobre a produção de açúcar mascavo.

A seleção de variáveis de interesse para o melhoramento genético pode ser realizada por análises estatística, estas auxiliam o pesquisador a tomar a decisão correta sobre qual variável selecionar, de modo a aumentar a produção de açúcar mascavo, por exemplo. A análise de trilha inicialmente descrita por Wright (1921, 1934), possibilita identificar como variáveis independentes influenciam direta e indiretamente uma variável dependente principal (CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Além da análise de trilha, a análise de correlação canônica pode contribuir no trabalho do pesquisador, quando o mesmo se depara com dois grupos de variáveis. Nesta abordagem, busca-se a identificação e quantificação desses dois conjuntos, de modo que apresentem suas correlações maximizadas (HOTELLING, 1936; CRUZ; REGAZZI; CARNEIRO, 2012).

Estudos já foram realizados com a cultura da cana-de-açúcar, visando contribuir para o melhoramento genético da cultura, com a aplicação das técnicas de análise de trilha e correlação canônica, porém nenhum foi direcionado para a produção de açúcar mascavo, dentre eles estão: SILVA et al. (2007); SOUZA et al. (2011); ESPÓSITO et al. (2012); MASRI et al. (2015); BARBOSA et al. (2017); ALI et al. (2018, 2019). Buscando contribuir para o estudo de melhoramento na cultura da cana-de-açúcar para a produção de açúcar mascavo, este trabalho tem como objetivo identificar as relações entre as variáveis agrônomicas da cana-de-açúcar e tecnológicas do caldo sobre a produção de açúcar mascavo por tonelada de cana-de-açúcar em três épocas de colheitas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Condições de cultivo e a área de estudo

O experimento foi realizado na cidade de Jaú – São Paulo, Brasil situada a 22°17'S e 48°34'W com 580 m de altitude. O clima da região, segundo a classificação de Köppen é do tipo Aw–seco (ALVARES et al., 2013). Temperatura média anual de 21,6 °C, média pluviométrica anual de 1344 mm. A adubação ao longo do experimento seguiu conforme análise de solo, com aplicações de acordo com as recomendações técnicas para a cultura. O plantio foi realizado na primeira quinzena do mês de abril de 2013, em sulcos, utilizando a densidade de 18 gemas por metro.

3.2.2 Delineamento experimental

Adotou-se o delineamento em blocos ao acaso com quatro repetições, em um fatorial 10x3, em parcelas subdivididas, com os genótipos na parcela principal e as épocas de colheita na subparcela. O estudo foi constituído de dez genótipos de cana-de-açúcar, caracterizados na Tabela 1, com seus progenitores, origem, grupo de maturação e porcentagem da área cultivada no Brasil na safra 2017/2018, onde foi levantado dados de 6,8 milhões de hectares e no estado de São Paulo, a porcentagem da área cultivada com levantamento de 3,8 milhões de hectares na safra 2018/2019 (BRAGA JUNIOR et al., 2019). Foram realizadas três colheitas em diferentes épocas do ano: Época 1 no início da safra de 25/06/2014 a 05/07/2014 após 15 meses de cultivo; época 2 no meio da safra de 15/09/2014 a 25/09/2014 após 17 meses de

cultivo e época 3 ao final da safra de 15/11/2014 a 25/11/2014 após 19 meses de cultivo. A parcela experimental foi composta de cinco linhas de oito metros de comprimento espaçadas por 1,5 m, perfazendo uma área útil total de 60 m², totalizando uma área total de 2400 m².

Tabela 1. Classificação dos genótipos de cana-de-açúcar de acordo com o grupo de maturação, origem, área cultivada e seus progenitores.

Genótipo	Código	Grupo de maturação	Origem	Área cultivada na	Área cultivada na	Parentais	
				safra 2017/2018 no Brasil %	safra 2018/2019 no estado de SP %		
IACSP04-656	G1	S/Inf	IAC	S/Inf	S/Inf	IACSP93-3046	SP77-5181
IACSP04-704	G2	S/Inf	IAC	S/Inf	S/Inf	IACSP95-3028	SP77-5181
IACSP93-3046	G3	Médio/tardio	IAC	S/Inf	S/Inf	SP79-1011	NA
IACSP95-5000	G4	S/Inf	IAC	S/Inf	1,8	SP84-2066	SP80-185
IACSP95-5094	G5	Médio	IAC	S/Inf	S/Inf	SP80-3280	NA
IACSP96-3060	G6	Médio/tardio	IAC	S/Inf	S/Inf	SP82-6108	NA
IACSP97-4039	G7	Precoce	IAC	S/Inf	S/Inf	RB835486	RB855453
RB867515	G8	Médio/tardia	RIDESA	26	18,3	RB72454	NA
RB966928	G9	Precoce	RIDESA	9,2	15,1	RB855156	RB815690
SP81-3250	G10	Médio	Copersucar	5,7	2,1	CP70-1547	SP71-1279

IAC: Instituto Agrônomo de Campinas, RIDESA: Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor Sucroenergético, SP: São Paulo

3.2.3 Variáveis avaliadas

Em cada colheita foi coletada uma amostra de 62 colmos na subparcela, referentes a 1/3 da parcela principal. Esta amostra foi separada em duas subamostras. Uma, com 12 colmos foi utilizada para mensurar as variáveis de altura de colmos (AC em cm), número de internódios (NI), teor de sacarose da cana (POL da cana em %), sacarose do caldo (POL do caldo em %), teor de sólidos solúveis na cana (°Brix da cana em %), fibra da cana (FC em %), Pureza (%) e açúcares totais recuperáveis (ATR em kg . ton⁻¹). A outra subamostra com 50 colmos, foi utilizada para mensurar a massa média de colmo (MMC em kg), o volume de caldo extraído em moenda de pequeno porte, de um terno (VC em L) e teor de sólidos solúveis do caldo (°Brix do caldo) a ser utilizado para o processamento do açúcar mascavo.

Oito litros de caldo, do caldo extraído dos 50 colmos, foram direcionados para a produção de açúcar mascavo, em tacho aberto de alumínio, à pressão atmosférica, em fogão a gás semi industrial de alta pressão. A temperatura ao longo do processo foi em torno de 90 a 100 °C e com temperatura de 115 °C ao final da concentração e obtenção da massa, momento denominado de ponto de obtenção do açúcar mascavo, que é imediatamente retirada do fogo para a etapa de bateção manual e ocorrência da cristalização do açúcar.

Para cada dia de análise foram produzidos quatro lotes de açúcar mascavo por dia, onde cada lote foi oriundo dos oito litros por tacho. A sequência de análises durou dez dias consecutivos. As amostras foram analisadas quanto à cor instrumental, utilizando colorímetro portátil da marca Minolta, modelo CR400, escala CIELAB. O aparelho mede as coordenadas L^* , que representa a luminosidade numa escala de zero (preto) a cem (branco); a^* representa uma escala de tonalidades de vermelho (0+a) a verde (0-a); e b^* , que representa uma escala de tonalidades de amarelo (0+b) a azul (0-b).

A variável croma (ângulo Hue) foi medida pela conversão dos valores de a^* e b^* obtidos, definindo a intensidade da cor (0 no centro e aumenta conforme a distância deste). O teor de sólidos solúveis foi mensurado em refratômetro automático de bancada, marca Reichert, modelo I300 e as leituras de POL do açúcar mascavo (POL AM %) foram realizadas em Polarímetro, marca Anton Paar, modelo MCP 200. Foram calculados a massa de açúcar mascavo por tonelada de cana (AMTC em kg) e a quantidade de caldo por tonelada de cana (CTC).

3.2.4 Análises estatísticas

As análises estatísticas foram realizadas para cada época de colheita. Inicialmente foi realizada a estimação dos coeficientes de correlação de Pearson, após verificado o grau de multicolinearidade nos grupos de variáveis, consecutivamente foi realizado os desdobramentos em efeitos diretos e indiretos por meio da análise de trilha (WRIGHT, 1923, 1934). A variável utilizada como dependente principal foi a produção de açúcar mascavo por tonelada de cana-de-açúcar.

Também foi realizada a análise de correlação canônica entre os dois grupos de variáveis, em que o grupo 1 foi composto pelas variáveis agronômicas AC, NI, AMTC, CTC, MMC e o grupo 2, foi formado por variáveis tecnológicas: fibra, °Brix da cana, POL do caldo, pureza, POL da cana, ATR, °Brix do caldo, POL AM, “L”, “a”, “b” e croma.

Para a identificar a multicolinearidade existente entre as variáveis, tanto para a análise de trilha como na análise de correlação canônica, foi estimado o fator de inflação da variância (FIV) $FIV = 1 / (1 - r^2)$, conforme descrito por Montgomery; Peck; Vining, (2012) e também pelo número de condição (NC). De acordo com Hair et al., (2009); Montgomery; Peck; Vining, (2012), considera-se a multicolinearidade como fraca quando $FIV < 10$ e $NC \leq 100$, moderada a severa quando $100 < NC \leq 1000$ e severa quando $NC > 1000$. Quando a variável apresentar valores de FIV superior a 10 ou NC superior a 100 indica multicolinearidade moderada a severa, e por isso será removida.

Para interpretação da análise de correlação canônica foi utilizado os coeficientes das cargas canônicas cruzadas. A significância das correlações canônicas foi testada por meio do teste *t* e o teste qui-quadrado com 5% de significância. As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software R (R CORE TEAM, 2019).

A matriz de correlação foi obtida pela função *cor* e a análise de trilha por meio da função *pathanalysis*, ambas realizadas por meio do pacote *biotools*, versão 3.1 (SILVA; MALAFAIA; MENEZES, 2017). Para realizar a análise de correlação canônica foi utilizada a função *cca* do pacote *yacca* (BUTTS, 2018). Na multicolinearidade, para identificação do número de condição, foi utilizada a função *cond* do pacote *pracma* (HANS; BORCHERS; BORCHERS, 2019) e para o VIF das variáveis a função *vif* do pacote *faraway* (FARAWAY, 2016).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

No teste de multicolinearidade realizado na matriz de correlação foi obtido resultados com FIV > 10 e NC > 100, por isso realizou-se a exclusão das variáveis que apresentaram FIV acima de 10, de modo que o NC do grupo de variáveis apresentasse valor abaixo de 100. Após a exclusão das variáveis VC, FC, ATR, POL do caldo e CROMA que estavam causando multicolinearidade para a análise de correlação canônica. Em seguida ocorreu a exclusão das variáveis NI, VC, FC, ATR, POL do caldo e AC que estavam causando multicolinearidade para a análise de trilha. As variáveis e grupo de variáveis apresentaram baixos valores para o VIF e NC, indicando multicolinearidade fraca (Tabela 2). Na análise de trilha, as variáveis CROMA, “L”, “a”, “b” e a POL AM foram eliminadas antes da análise por se tratar de variáveis obtidas após a obtenção do açúcar mascavo.

Tabela 2. Variáveis massa média de colmos (MMC), teor de sólidos solúveis da cana (°Brix da cana), pureza, teor de sólidos solúveis do caldo (°Brix do caldo), quantidade de caldo por tonelada de cana (CTC), altura de colmo (AC), sacarose aparente do açúcar mascavo (POL AM), sacarose aparente do caldo (POL do caldo), número de internódios (NI) e parâmetros de coloração “L”, “a”, “b” e CROMA após a redução da multicolinearidade, fator de inflação da variância (FIV) e número de condição (NC) para análise de trilha e correlação canônica, nas três épocas de colheita de cana-de-açúcar.

Análise de trilha					
Época 1		Época 2		Época 3	
Variável	FIV	Variável	FIV	Variável	FIV
MMC	5,27	MMC	1,26	MMC	1,29
°Brix da cana	3,76	°Brix da cana	2,74	°Brix da cana	4,72
Pureza	2,47	Pureza	1,82	Pureza	5,79
°Brix do caldo	3,66	°Brix do caldo	2,50	°Brix do caldo	1,93
CTC	1,78	CTC	1,76	CTC	1,85
AC	4,58				
NC 27,13		NC 10,42		NC 24,70	
Correlação Canônica					
Variáveis tecnológicas					
Variável	FIV	Variável	FIV	Variável	FIV
°Brix da cana	1,50	Fibra	1,58	Fibra	1,46
Pureza	1,14	°Brix da cana	1,53	°Brix da cana	2,17
°Brix do caldo	1,54	Pureza	1,22	Pureza	1,83
POL AM	1,39	°Brix do caldo	2,06	°Brix do caldo	1,50
“L”	4,96	“L”	8,13	“L”	4,20
“a”	2,24	“a”	2,40	“a”	1,70
“b”	3,97	“b”	6,54	“b”	3,58
		Croma	2,93	POL caldo	1,79
		POL AM	1,67	POL AM	1,67
NC 22,49		NC 47,03		NC 26	
Variáveis agronômicas					
AMTC	2,54	AMTC	3,38	AMTC	1,71
MMC	2,45	MMC	1,75	MMC	2,57
AC	1,69	AC	2,07	AC	2,10
NI	1,34	NI	1,32	NI	1,61
CTC	2,90	CTC	3,50	CTC	1,70
NC 12,33		NC 12,33		NC 9	

Na análise de trilha os grupos formados nas três épocas de colheita apresentaram NC e FIV baixo, indicando baixa multicolinearidade. Houve a formação de grupos distintos nas diferentes épocas de colheita (Tabela 2), pois se mantidos as mesmas variáveis, a

multicolinearidade ficaria alta, dessa forma foi realizada a seleção de acordo com o grau da multicolinearidade.

Para os resultados da análise de trilha da primeira época de colheita, o efeito direto das variáveis dependentes sobre a variável principal, variou de -0,0620 a 0,9694. Houve efeito direto da variável caldo por tonelada de cana sobre a produção de açúcar mascavo, com valor de 0,9694 e correlação significativa de 0,8686, indicando relação de causa e efeito entre as variáveis. Quanto maior a quantidade de caldo obtida, maior será a produção de açúcar mascavo (Tabela 3). Nas demais variáveis, não houve efeito direto ou indireto que tenha sido significativo sobre a produção de açúcar mascavo. O coeficiente de determinação obtido foi de 0,8845 e o efeito residual de 0,3398.

Para a segunda época de colheita, foi obtido a variação de -0,4326 a 0,7755 no efeito direto e indireto sobre a variável principal. A variável CTC apresentou efeito direto sobre a variável principal (Tabela 3), resultado semelhante ao obtido na primeira época de colheita. O coeficiente de determinação obtido foi de 0,7816 e efeito residual de 0,4674. Na terceira época de colheita, o efeito direto das variáveis dependentes sobre a variável principal variou de -0,0515 a 0,7754. A variável CTC apresentou efeito direto sobre a produção de açúcar mascavo, assim como o °Brix do caldo apresentou elevado efeito direto e com correlação significativa, indicando que estas variáveis influenciam de forma direta na produção de açúcar mascavo (Tabela 3).

Tabela 3. Efeitos diretos e indiretos e coeficiente de correlação (r) para as três épocas de colheita de cana-de-açúcar, de acordo com os grupos formados na Tabela 2, para as variáveis massa média de colmos (MMC), teor de sólidos solúveis (°Brix da cana), pureza, teor de sólidos solúveis do caldo (°Brix do caldo), quantidade de caldo por tonelada de cana (CTC). Valores na diagonal indicam efeito direto.

Época de colheita 1							
	MMC	°Brix da cana	Pureza	°Brix do caldo	CTC	AC	r
MMC	-0,0620	0,0066	0,0819	0,0345	-0,3675	0,0754	-0,2311
°Brix da cana	-0,0024	0,1674	-0,0396	0,1593	-0,1209	0,0208	0,1846
Pureza	-0,0265	-0,0346	0,1917	-0,0173	-0,4091	-0,0026	-0,2983
°Brix do caldo	-0,0104	0,1297	-0,0161	0,2057	0,0741	0,0102	0,3931
CTC	0,0235	-0,0209	-0,0809	0,0157	0,9695	-0,0383	0,8686*
AC	-0,0461	0,0343	-0,0048	0,0207	-0,3665	0,1013	-0,2611
Coeficiente de determinação: 0,8845							
Efeito residual: 0,3398							
Época de colheita 2							
	MMC	°Brix da cana	Pureza	°Brix do caldo	CTC		r
MMC	-0,0515	0,0782	0,0540	-0,0882	-0,3088		-0,3163
°Brix da cana	0,0093	-0,4326	0,0662	0,3408	0,1316		0,1152
Pureza	0,0137	0,1408	-0,2034	0,0177	0,3753		0,3441
°Brix do caldo	0,0093	-0,3024	-0,0074	0,4875	0,3179		0,5049
CTC	0,0205	-0,0734	-0,0984	0,1998	0,7755		0,8239*
Coeficiente de determinação: 0,7816							
Efeito residual: 0,4674							
Época de colheita 3							
	MMC	°Brix da cana	Pureza	°Brix do caldo	CTC		r
MMC	-0,1866	-0,1383	0,1863	0,0900	-0,0507		-0,0993
°Brix da cana	0,0422	0,6115	-0,5434	0,4000	-0,0583		0,4520
Pureza	0,0516	0,4935	-0,6733	0,3882	0,2975		0,5575
°Brix do caldo	-0,0249	0,3630	-0,3880	0,6738	0,0089		0,6328*
CTC	0,0108	-0,0407	-0,2286	0,0068	0,8764		-0,6247
Coeficiente de determinação: 0,8934							
Efeito residual: 0,3266							

* significativo em 5% de probabilidade de erro pelo teste F

Os grupos de variáveis formados para a determinação das correlações canônicas apresentaram NC e FIV baixos, indicando multicolinearidade fraca (Tabela 2). Os grupos formados nas diferentes épocas de colheitas não apresentaram as mesmas variáveis, pois em algumas épocas, ao se utilizar as mesmas variáveis a multicolinearidade ficaria alta, e por isso a seleção foi diferente em cada grupo.

Os resultados da análise de correlação canônica para a primeira época de colheita, apresentaram o primeiro par canônico significativo (0,8034), indicando haver interdependência entre os grupos de variáveis. Os demais pares canônicos não apresentaram

correlação significativa. Através do R^2 canônico encontrado, a variância explicada foi de 64,54 % entre as variáveis canônicas independentes e dependentes do primeiro grupo de variáveis canônicas.

No grupo I as variáveis da cor instrumental (“L” e “b”) apresentaram os maiores valores, enquanto que para o grupo 2 (independentes), a variável AC apresentou o maior valor, mostrando correlação entre as variáveis mencionadas e indicando que, colmos com menor tamanho possibilitam a produção de um açúcar mascavo com coloração amarelo em tonalidade clara (Tabela 4).

Para a segunda época de colheita não houve nenhum par de correlação significativo, não sendo possível desta forma inferir sobre as relações entre as variáveis do primeiro grupo com as variáveis do segundo grupo (Tabela 4). Para a terceira época de colheita, o primeiro par de correlações canônicas obtido foi significativo, a variância explicada foi de 66 % entre as variáveis canônicas independentes e dependentes do primeiro grupo de variáveis canônicas. As variáveis POL AM, °Brix do caldo e pureza do grupo 1 apresentaram valores altos, assim como a variável AMTC no grupo 2, indicando que a maior quantidade de °Brix do caldo e pureza no caldo proporcionam a maior produção de açúcar mascavo.

Tabela 4. Cargas canônicas cruzadas para as três épocas de colheita de cana-de-açúcar para a produção de açúcar mascavo, de acordo com os grupos formados na Tabela 2, para as variáveis teor de sólidos solúveis da cana ($^{\circ}$ Brix da cana), pureza, teor de sólidos solúveis do caldo ($^{\circ}$ Brix do caldo), teor de sacarose aparente do açúcar mascavo (POL AM), “L”, “a”, “b”, fibra, CROMA, teor de sacarose aparente do caldo (POL do caldo), açúcar mascavo por tonelada de cana (AMTC), massa média de colmos (MMC), altura de colmo (AC), número de internódios (NI) e quantidade de caldo por tonelada de cana (CTC).

Grupo1	Época de colheita 1					Época de colheita 2					Época de colheita 3				
	Pares canônicos					Pares canônicos					Pares canônicos				
	CV 1	CV2	CV3	CV4	CV5	CV 1	CV2	CV3	CV4	CV5	CV 1	CV2	CV3	CV4	CV5
$^{\circ}$ Brix da cana	-0,13	-0,06	-0,22	0,04	0,02	0,09	0,13	-0,09	0,17	0,09	0,30	0,33	0,11	0,07	-0,18
Pureza	0,05	0,09	0,07	0,04	-0,08	0,24	0,12	-0,08	0,02	-0,01	0,44	0,09	0,23	0,23	-0,02
$^{\circ}$ Brix do caldo	0,04	0,10	-0,17	0,24	-0,02	0,33	-0,07	0,18	0,04	0,05	0,43	0,26	-0,17	-0,03	0,07
POL AM	0,05	-0,41	-0,20	0,03	-0,06	0,44	-0,45	-0,02	-0,06	0,00	0,58	0,27	-0,03	-0,13	-0,10
L	0,63	-0,13	-0,06	0,07	0,00	-0,05	-0,05	0,10	-0,13	0,18	0,01	0,29	-0,11	-0,27	0,10
a	-0,07	0,05	0,07	0,12	0,08	-0,32	0,05	-0,11	0,26	-0,06	0,34	0,21	-0,19	0,12	-0,11
b	0,71	0,05	-0,10	0,04	0,05	0,06	0,09	0,15	-0,02	0,18	0,31	0,26	0,02	-0,29	0,06
Fibra						-0,12	0,10	-0,31	-0,11	0,16	-0,18	0,53	-0,03	-0,04	0,17
CROMA						0,10	0,16	0,06	-0,03	0,04					
POL caldo											0,38	0,05	0,02	0,04	0,04
Grupo2	CV 1	CV2	CV3	CV4	CV5	CV 1	CV2	CV3	CV4	CV5	CV 1	CV2	CV3	CV4	CV5
AMTC	0,26	0,32	-0,25	0,03	0,05	0,60	-0,01	0,12	0,19	0,05	0,68	-0,36	-0,02	0,00	0,02
MMC	-0,48	0,14	0,06	0,15	-0,07	-0,30	-0,43	-0,26	0,11	-0,08	-0,09	0,00	-0,49	0,13	0,08
AC	-0,79	0,05	-0,05	0,03	0,01	-0,21	-0,01	-0,19	0,11	-0,21	-0,19	0,22	-0,44	0,01	-0,13
NI	-0,20	0,42	0,12	-0,09	-0,06	0,14	0,12	-0,52	-0,01	-0,07	0,21	0,02	-0,24	0,38	-0,09
CTC	0,24	0,32	-0,03	0,02	0,10	0,30	0,12	0,11	0,27	0,12	0,16	-0,56	0,05	0,21	0,10
Corr	0,80	0,55	0,39	0,29	0,13	0,74	0,65	0,57	0,37	0,24	0,81	0,68	0,53	0,47	0,34
R ² canônico	0,65	0,30	0,15	0,08	0,02	0,55	0,42	0,32	0,14	0,06	0,66	0,46	0,28	0,22	0,12
GL	35	24	15	8	3	45	32	21	12	5	45	32	21	12	5
χ^2	120,2	102,4	83,22	62	32	119,4	101,2	80,95	12	30	119,4	101,17	80,95	58	30
Pr(>F)	0,02**	0,67 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,90 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,00**	0,12 ^{ns}	0,39 ^{ns}	0,45 ^{ns}	0,57 ^{ns}

** significativo em 5% de probabilidade de erro pelo teste F, ^{ns} não significativo.

Em análises de trilha e correlações canônicas, o diagnóstico de multicolinearidade é de grande importância, pois quando possuem alta multicolinearidade, as correlações podem ser imprecisas. Quando isso ocorre, a exclusão de variáveis que estão causando multicolinearidade é uma das alternativas para reduzir o viés dos resultados obtidos (MONTGOMERY; PECK & VINING, 2012).

O efeito direto encontrado pela análise de trilha na época 1 da variável CTC (0,969) comprova a influência da quantidade de caldo por tonelada de cana-de-açúcar sobre a produção de açúcar mascavo, esse resultado já era esperado, uma vez que quanto mais caldo for utilizado, maior será a produção. Estes resultados se repetiram para a segunda época de

colheita. A maior produção de açúcar ocorre devido a quantidade de sacarose do caldo, (SANTOS; QUINÁIA; FELSNER, 2018).

Na terceira época de colheita a quantidade de caldo deixou de ser a variável que mais influenciou na quantidade de açúcar produzido, passando a ser o °Brix do caldo, que devido a curva de maturação da cana estar com o °Brix elevado (maior acúmulo de açúcares) pode ser em função da maior permanência da cana-de-açúcar no campo de cultivo.

Ali et al., (2019) utilizaram a seleção indireta de caracteres, para a produção de açúcar, e segundo os autores, ela pode ser determinada por fatores agronômicos, morfológicos ou fisiológicos com associações e inter-relações, sendo que a produção de açúcar foi influenciada pelo °Brix do caldo. Para Gravois; Milligan & Martin (1991) em seus estudos obteve efeito direto do °Brix do caldo de 0,48 e indireto de 0,43, resultados próximos dos observados neste estudo, os autores mencionados não descreveram o tempo de cultivo da cana-de-açúcar no campo.

Na primeira época de colheita, obteve-se que colmos menores, apresentaram correlação positiva com as variáveis de cor instrumental, “L” e “b”, sendo o açúcar produzido com coloração mais clara nesta época. Como esta resposta qualitativa foi observada apenas na primeira época de colheita, a mesma pode estar associada ao ponto de maturação da cana-de-açúcar, pois entre os genótipos estudados, haviam os precoces, médios e tardios.

A preferência de compra pelo consumidor pode ser afetada pela coloração, Verruma-Bernardi et al., (2010) em estudo de diferentes parâmetros qualitativos em açúcar mascavo, obteve maior preferência por açúcares de coloração marrom intermediária e aparência uniforme.

Vicentini-Polette et al., (2019) em seus estudos sobre a qualidade de diferentes marcas de açúcar mascavo em relação a cor, obteve maior preferência para a coloração castanha com tonalidade de coloração escura. A coloração do açúcar mascavo pode sofrer influência de diferentes fatores, dentre eles a composição do caldo de cana em relação aos teores de sacarose, glicose e frutos, causando reações de caramelização e reação de Maillard, devido à variação de temperatura versus tempo de cozimento e material do tacho. Temperaturas elevadas podem originar compostos denominados caramelos, que promovem o escurecimento do açúcar, uso de equipamentos de aço inoxidável ao invés de aço carbono, a presença de grande quantidade de polifenóis e aminoácidos no caldo que promovem o escurecimento do açúcar (VERRUMA-BERNARDI et al., 2010).

Para a terceira época de colheita, após 19 meses de cultivo da cana-de-açúcar, foram obtidas as interrelações positivas de pureza, °Brix do caldo, POL AM e AMTC. Para esta

época de colheita observa-se que a maior concentração do teor de sólidos solúveis e maior pureza do caldo proporciona maior produção de açúcar mascavo. O POL AM está diretamente relacionado com o AMTC, pois o mesmo é avaliado após a produção do açúcar mascavo. Resultados semelhantes foram encontrados por Oliveira et al., (1999) onde os valores de °Brix do caldo, POL da cana, POL do caldo e pureza foram crescentes quanto ao tempo de cultivo.

Para Anjos et al., (2007) em seus estudos com adubação orgânica e mineral na cultura da cana-de-açúcar para produção de açúcar mascavo em três diferentes épocas de cultivo, obteve os maiores valores de POL e °Brix na segunda e terceira época. Quanto maior a pureza do caldo, maior será a quantidade de açúcar mascavo produzido, pois está correlacionada com a maturação da cana-de-açúcar (VIANA et al., 2017). Viana et al., (2008) verificou aumento da pureza ao longo do período de 120 dias, com a aplicação do redutor de crescimento ethyl-trinexapac, porém o autor não mencionou o período de cultivo total do experimento.

Hagos; Mengistu & Mequanint (2014) estudando diferentes épocas de colheita da cana-de-açúcar na Etiópia, também encontrou maior acúmulo de °Brix e POL conforme maior o período de cultivo, o autor observou aumento no acúmulo dessas variáveis, passando o tempo de colheita de 10 para 14 meses, o mesmo entende que a explicação pode ser devido ao efeito da diluição das enzimas da cana-de-açúcar, modificando os açúcares redutores e convertendo substâncias como fibra em sacarose ou pode ser em função do impacto positivo da idade da colheita nos componentes de rendimento, permitindo a maior acumulação de sólidos solúveis e sacarose no momento da colheita, após os 14 meses de cultivo obteve queda dos parâmetros qualitativos.

Ahmed; EL-Bakry & Sakina (2016) em seu estudo conduzido no Egito, também obteve maiores valores de acúmulo de °Brix conforme maior tempo de cultivo, onde o maior acúmulo ocorreu aos 14 meses de cultivo, além do °Brix o autor também obteve um caldo com maior porcentagem de pureza, até o período próximo de 14 meses, após houve uma redução significativa que o autor justifica pelo rápido aumento do teor de sólidos solúveis totais.

3.4 CONCLUSÃO

Por meio da análise de causa e efeito, obteve-se que a quantidade de caldo por tonelada de cana pode ser selecionada de forma direta para obtenção da maior produção de açúcar mascavo, na primeira e segunda épocas de colheita e na terceira época o °Brix do caldo apresentou maior efeito direto, sendo uma variável recomendada para seleção visando a obtenção de maior quantidade de açúcar mascavo.

A análise de correlação canônica revelou interdependência entre os grupos de variáveis tecnológicas e agronômicas, inferindo que as variáveis agronômicas podem ser utilizadas como alternativa na seleção de cultivares com maior qualidade de açúcar mascavo. Porém as respostas obtidas são distintas de acordo com cada época de colheita.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, A. Z.; EL-BAKRY, A.; SAKINA, R. A. Assessment of the optimum age for harvesting some promising sugarcane varieties. **Minia Journal of Agricultural Research and Development**, v. 36, n. 4, p. 635–651, 2016.

ALI, A. et al. Evaluation of Various Sugarcane Genotypes for Association of Quality Characters with Cane Yield. **Advances in Crop Science and Technology**, v. 6, n. 3, p. 1–5, 2018.

ALI, A. et al. Clonal selection strategy in sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) based on the association of quality traits and cane yield. **The Journal of Animal e Plant Sciences**, v. 29, n. 3, p. 889–893, 2019.

ALVARES, C. A. et al. Köppen’s climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v. 22, n. 6, p. 711–728, 2013.

ANJOS, I. A. dos. et al. Efeitos da adubação orgânica e da época de colheita na qualidade da matéria-prima e nos rendimentos agrícola e de açúcar mascavo artesanal de duas cultivares de cana-de-açúcar (cana-planta). **Ciência e Agrotecnologia**, v. 31, n. 1, p. 59–63, 2007.

BARBOSA, R. P. et al. Seleção antecipada de cana-de-açúcar usando análise de trilha. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 1, p. 1–8, 2017.

BUTTS, C. T. **Yacca: Outro pacote de análise de correlação canônica**, 2018. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/package=yacca>>. Acesso em: 20 Nov. 2019.

CONAB, C. N. DE A. Acompanhamento da safra brasileira de Cana-de-açúcar. **Observatório Agrícola**, p. 58, 2019.

BRAGA JUNIOR, R. L. do C. et al. Censo varietal IAC de cana-de-açúcar no Brasil - Safra 2017/18 e na região Centro Sul - Safra 2018/19 (Série Tecnológica APTA, Boletim técnico

IAC, 221). **Instituto Agronômico de Campinas**, p. 64, 2019.

CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biometricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2012.

ESPÓSITO, D. P. et al. Análise de trilha usando valores fenotípicos e genotípicos para componentes do rendimento na seleção de famílias de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 38–44, 2012.

FARAWAY, J. **Package ‘faraway’**, 2016. Disponível em: <<https://cran.r-project.org/web/packages/faraway/faraway.pdf>>. Acesso em: 20 Nov. 2019.

GRAVOIS, K. A.; MILLIGAN, S. B.; MARTIN, F. A. Indirect selection for increased sucrose yield in early sugarcane testing stages. **Field Crops Research**, v. 26, n. 1, p. 67–73, 1991.

HAGOS, H.; MENGISTU, L.; MEQUANINT, Y. Determining optimum harvest age of sugarcane varieties on the newly establishing sugar project in the tropical areas of tendaho, Ethiopia. **Advances in Crop Science and Technology**, v. 2, n. 5, p. 2–5, 2014.

HAIR, J. F. et al. **Análise multivariada de dados**. 6. ed. bookman, 2009.

HANS, A.; BORCHERS, W.; BORCHERS, M. H. W. **Package ‘pracma’**, 2019. Disponível em: <https://cran.r-project.org/web/checks/check_results_yacca.html>. Acesso em: 20 Nov. 2019.

HOTELLING, H. Relations between two sets of variants. **Biometrika**, v. 28, p. 321–377, 1936.

MASRI, M. I. et al. Phenotypic and genotypic correlations and path coefficient analysis in sugarcane at first clonal selection stage. **Egyptian Journal of Plant Breeding**, v. 19, n. 2, p. 297–321, 2015.

MONTGOMERY, D. C.; PECK, E. A.; VINING, G. G. **Introducion to linear regression analysis**. 5. ed. Wiley, 2012.

NAYAKA, M. A. H. et al. Cytoprotective and antioxidant activity studies of jaggery sugar. **Food Chemistry**, v. 115, n. 1, p. 113–118, 2009.

OKABE, T. et al. Antiatherosclerotic Function of Kokuto , Okinawan Noncentrifugal Cane Sugar. **Journal of Agricultura and Food Chemistry**, v. 57, p. 69–75, 2009.

OLIVEIRA, M. D. S. DE et al. Avaliação de duas variedades de Cana-de-Açúcar submetidas a diferentes tempos de armazenamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, n. 8, p. 1435–1442, 1999.

R CORE TEAM. **A language and environment for statistical computing**. Vienna, Austria, 2019. Disponível em: <<https://www.r-project.org/>>. Acesso em: 20 Nov. 2019.

SANTOS, J. M. DOS; QUINÁIA, S. P.; FELSNER, M. L. Fast and direct analysis of Cr , Cd

and Pb in brown sugar by GF AAS. **Food Chemistry**, v. 260, p. 19–26, 2018.

SILVA, A. R. DA; MALAFAIA, G.; MENEZES, I. P. P. Biotools: an R function to predict spatial gene diversity via an individual-based approach. **Genetics and Molecular Research**, v. 16, n. 2, p. 1–6, 2017.

SILVA, J. W. DA et al. Correlações canônicas de características agroindustriais em cana-de-açúcar. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 29, n. 3, p. 345–349, 2007.

SOUZA, A. E. R. DE et al. Seleção de famílias RB visando á alta produtividade e precocidade na maturação em cana-de-açúcar. **Bragantia**, v. 70, n. 4, p. 788–795, 2011.

VERRUMA-BERNARDI, M. R. et al. Avaliação sensorial de açúcar mascavo. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 14, n. 6, p. 29–38, 2010.

VIANA, R. DA S. et al. Efeito da aplicação de maturadores químicos na cultura da cana de açúcar (*Saccharum* spp.) variedade SP81-3250. **Acta Scientiarum - Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 65–71, 2008.

VIANA, R. DA S. et al. Application of chemical ripeners mixtures the technological quality and agricultural productivity of sugarcane. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 541–550, 2017.

VICENTINI-POLETTE, C. M. et al. Physicochemical and sensorial characterization of commercial sugarcane syrups. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 42, n. 3, p. 808–816, 2019.

WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, n. 7, p. 557–685, 1921.

WRIGHT, S. The theory of path coefficients a reply to nilles's criticism. **Genetics**. v. 8, n. 3, p. 239–255, 1923.

WRIGHT, S. The method of path coefficients. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 5, n. 5, p. 161–215, 1934.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tendo em vista a crescente demanda por alimentos mais saudáveis e o aumento da demanda pelo consumo de açúcar mascavo, este estudo utilizou dez genótipos de cana-de-açúcar de diferentes grupos de maturação, colhidos em diferentes épocas, para aprofundar os conhecimentos sobre as características genéticas que impactam na produção do açúcar mascavo.

Na análise de agrupamento de genótipos é notório que a dissimilaridade genética possibilite em cruzamentos futuro, obter maior produtividade. A análise de componentes principais (PCA) permite identificar as variáveis que mais contribuem para a variabilidade

genética. Os resultados obtidos foram que a sacarose aparente da cana, açúcares totais recuperáveis e teor de sólidos solúveis da cana contribuem para a maior variabilidade genética entre os genótipos analisados. A maior produção de açúcar mascavo foi observada na segunda época de colheita, principalmente para os genótipos IACSP04-704, IACSP93-3046, IACSP96-3060.

De acordo com cada época de colheita, foi obtido diferentes tonalidades de coloração para o açúcar mascavo produzido, nas três épocas de colheita, o genótipo RB 96-9628 apresentou produção de açúcar mascavo com coloração escura. Já os genótipos, IACSP 04-656 e IACSP95-5094 na primeira época de colheita, o genótipo IACSP 97-4039 na segunda época de colheita e o genótipo IACSP95-5094 na terceira época de colheita produziram açúcar mascavo com tonalidade de coloração clara.

Na análise de trilha, dentro das duas primeiras épocas de colheita, a variável caldo por tonelada de cana apresentou o maior efeito direto sobre a produção de açúcar mascavo. Deste modo, conforme maior a quantidade de caldo, maior será a quantidade de açúcar mascavo produzido. Para a terceira época de colheita, o maior efeito direto observado sobre a produção de açúcar mascavo foi do teor de sólidos solúveis do caldo. Essas variáveis apresentaram maior efeito direto sobre a produção de açúcar, deste modo podem ser selecionadas com o objetivo de obter maior produção.

Para a análise de correlação canônica, na primeira época de colheita, foi obtido interdependência entre os grupos de variáveis com interrelação entre a variável altura de colmo com as variáveis “L” e “b” que indicam parâmetros de coloração do açúcar mascavo. Na segunda época de colheita, não houve interrelação entre as variáveis que fosse estatisticamente significativo. Na terceira época de colheita, foi obtido que o °Brix do caldo e pureza proporcionam maior produção de açúcar mascavo por tonelada de cana-de-açúcar. Assim a análise de correlação canônica mostrou que as variáveis agrônômicas podem ser utilizadas como alternativa na seleção de cultivares com maior qualidade de açúcar mascavo.

5 CONCLUSÃO

O genótipo IACSP04-704 apresentou maior produção e qualidade de açúcar mascavo. Entre as três épocas de cultivo, as variáveis que mais contribuíram para a variabilidade foram a sacarose aparente da cana, açúcares totais recuperáveis e teor de sólidos solúveis da cana. A maior produção de açúcar mascavo foi obtida após 17 meses de cultivo (colheita 2, setembro-outubro),

Nas três épocas de colheita o genótipo RB96-6928 e na época 3, o genótipo IACSP97-4039, produziram açúcar marrom escuro. Por outro lado, os genótipos IACSP 04-656 e IACSP95-5094 na época 1, IACSP 97-4039 na época 2 e IACSP95-5094 na época 3 produziram açúcar mascavo de cor com tonalidade clara.

Por meio da análise de trilha, obteve-se que na primeira e segunda época de colheita, a quantidade de caldo por tonelada de cana pode ser selecionada de forma direta para obtenção da maior produção de açúcar mascavo, na terceira época o °Brix do caldo apresentou maior efeito direto, sendo uma variável recomendada para seleção visando a obtenção de maior quantidade de açúcar mascavo.

A análise de correlação canônica revelou interdependência entre os grupos de variáveis tecnológicas e agronômicas, inferindo que as variáveis agronômicas podem ser utilizadas como alternativa na seleção de cultivares com maior qualidade de açúcar mascavo. Porém as respostas obtidas são distintas de acordo com cada época de colheita.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A. et al. Sugarcane (*Saccharum X officinarum*): A Reference Study for the Regulation of Genetically Modified Cultivars in Brazil. **Tropical Plant Biology**, v. 4, n. 1, p. 62–89, 2011.
- CONSECANA (2006). **Instruction manual**. 5. th ed. Piracicaba-SP: Consecana
- CRUZ, C. D.; REGAZZI, A. J.; CARNEIRO, P. C. S. **Modelos biometricos aplicados ao melhoramento genético**. 4. ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2012.
- HOTELLING, H. Relations between two sets of variants. **Biometrika**, v. 28, p. 321–377, 1936.
- JAFFÉ, W. R. Nutritional and functional components of non centrifugal cane sugar: A compilation of the data from the analytical literature. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 43, p. 194–202, 2015.
- NAYAKA, M. A. H. et al. Cytoprotective and antioxidant activity studies of jaggery sugar. **Food Chemistry**, v. 115, n. 1, p. 113–118, 2009.
- OKABE, T. et al. Antiatherosclerotic Function of Kokuto , Okinawan Noncentrifugal Cane Sugar. **Journal of Agricultura and Food Chemistry**, v. 57, p. 69–75, 2009.
- PARAZZI, C. et al. Análises microbiológicas do açúcar mascavo. **Bioscience Journal**, v. 25, n. June, p. 32–40, 2009.
- PEARSON, K. Notes on the History of Correlation. **Biometrika**, v. 13, n. 1, p. 25–45, 1920.
- SANTOS, J. M. DOS; QUINÁIA, S. P.; FELSNER, M. L. Fast and direct analysis of Cr , Cd and Pb in brown sugar by GF AAS. **Food Chemistry**, v. 260, p. 19–26, 2018.
- SILVA, A DE, M. et al. Potencial produtivo da cana-de-açúcar sob irrigação por gotejamento em função de variedades e ciclos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 3, p. 241–249, 2014.
- WRIGHT, S. Correlation and causation. **Journal of Agricultural Research**, n. 7, p. 557–685, 1921.
- WRIGHT, S. The theory of path coefficients a reply to nilles’s criticism. **Genetics**, v. 8, n. 3, p. 239–255, 1923.

7 ANEXO – Croqui da área experimental.

Bloco1	IACSP96-3060	IACSP93-3046	IACSP04-656	IACSP65-5000	IACSP97-4039
	RB96-6928	IACSP04-704	SP81-3250	IACSP95-5094	RB86-7515
Bloco 2	RB86-7515	IACSP95-5000	IACSP96-3060	RB96-6928	IACSP93-3046
	SP81-3250	IACSP95-5094	IACSP04-704	IACSP97-4039	IACSP04-656
Bloco3	RB96-6928	RB86-7515	IACSP93-3046	SP81-3250	IACSP95-5094
	IACSP97-4039	IACSP04-656	IACSP95-5000	IACSP96-3060	IACSP04-704
Bloco4	IACSP04-704	IACSP96-3060	IACSP04-656	RB86-7515	IACSP95-5000
	IACSP93-3046	RB96-6928	IACSP95-5094	IACSP97-4039	SP81-3250