RESSALVA

Atendendo solicitação do(a) autor(a), o texto completo desta tese será disponibilizado somente a partir de 06/01/2022.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CÂMPUS DE JABOTICABAL

CARACTERIZAÇÃO CITOGENÉTICA E MOLECULAR EM ACESSOS DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)

Glêyce de Oliveira Ferreira

Bióloga

Jaboticabal – SP

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO" FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS

CÂMPUS DE JABOTICABAL

CARACTERIZAÇÃO CITOGENÉTICA E MOLECULAR EM ACESSOS DE CANA-DE-AÇÚCAR (*Saccharum* spp.)

Glêyce de Oliveira Ferreira

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Rossini Pinto

Coorientadora: Dra. Maria Natália Guindalini Melloni

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas).

Jaboticabal – SP

2021

F383c

Ferreira, Glêyce de Oliveira
Caracterização citogenética e molecular em acessos de cana-de-açúcar (Saccharum spp.) / Glêyce de Oliveira Ferreira. -- Jaboticabal, 2021
101 p. : il., tabs.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal
Orientadora: Luciana Rossini Pinto
Coorientadora: Maria Natália Guindalini Melloni

1. Saccharum. 2. Diversidade genética. 3. Estrutura genética. 4. Cromossomos. 5. Citótipos. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA TESE: CARACTERIZAÇÃO CITOGENÉTICA E MOLECULAR EM ACESSOS DE CANA-DE-AÇÚCAR (Saccharum spp.)

AUTORA: GLÊYCE DE OLIVEIRA FERREIRA
ORIENTADORA: LUCIANA ROSSINI PINTO
COORIENTADORA: MARIA NATÁLIA GUINDALINI MELLONI

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA (GENÉTICA E MELHORAMENTO DE PLANTAS), pela Comissão Examinadora:

Pesquisadora Dra. LUCIANA ROSSINI PINTO (Participaçao Virtual)
IAC - Centro de Cana / Ribeirão Preto/SP

Prof. Dr. GUSTAVO VITTI MÔRO (Participaçao Virtual)
Departamento de Ciências da Produção Agrícola (Produção Vegetal) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. DILERMANDO PERECIN (Participaçao Virtual)
Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (DECEx) / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Pesquisadora Dra. LARISSA MARA DE ANDRADE (Participaçao Virtual)
IAC - Centro de Cana / Ribeirão Preto/SP

Profa. Dra. ANA LILIA ALZATE-MARIN (Participaçao Virtual)
Departamento de Genética / USP / Ribeirão Preto/SP

Jaboticabal, 06 de julho de 2021

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

GLÊYCE DE OLIVEIRA FERREIRA – nascida em 29 de julho de 1981 na cidade de Trindade, Pernambuco. Em 2009, ingressou na Universidade Estadual de Pernambuco – UPE, Câmpus Petrolina, no Curso de Licenciatura em Ciências Biológicas, graduando-se em julho de 2012. Em setembro de 2010, iniciou estágio na Embrapa Produtos e Mercados – Petrolina/PE, na área de multiplicação de sementes de maracujá. Em outubro de 2012, entrou na equipe do Laboratório de Genética da Embrapa Semiárido como bolsista AT pelo CNPq sob a supervisão do Pesquisador Dr. Antônio Carlos Fernandes Santos. Em março de 2014 ingressou no programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, da Universidade Estadual de Feira de Santana – UEFS, tendo como orientador Dr. Antônio Carlos Fernandes Santos, sendo bolsista CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) durante o curso. Em agosto de 2017 ingressou no curso de Doutorado em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Jaboticabal, tendo como orientadora Dra. Luciana Rossini Pinto, pesquisadora do IAC/APTA – Centro de Cana**,** sendo bolsista CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) durante os 3 primeiros anos do curso. Realizou Estágio Docência nas disciplinas Genética Geral do departamento de Biologia no primeiro semestre de 2019 e Doenças das Grandes Culturas do departamento Ciências da Produção Agrícola no segundo semestre de 2020, ambas disciplinas do Curso de Agronomia.

“A vontade de vencer é o primeiro passo para a vitória.”

À Bianca Carvalho, meu motivo para
continuar acreditando que posso ser capaz
cada vez mais.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo meu existir... pelas experiências vivenciadas em prol do crescimento espiritual. Obrigada Senhor por me guiar neste mundo, por estar presente nos momentos mais difíceis da caminhada, aqueles momentos os quais penso em desistir e o SENHOR com teu imenso amor estendestes tua mão e me faz levar através de uma palavra amiga, de um ato desconhecido, de um momento involuntário... tudo que eu preciso é enxergar teus sinais e seguir na Fé porque sei que estará sempre a me proteger até de mim mesma.

À minha família, minha mãe Maria Raimunda, mulher forte, vibrante, alegre que mesmo diante das adversidades da vida não retrocede, encara e luta, minha força vem de ti. Minha filha Bianca Carvalho, jovem de personalidade forte, carismática e amada por todos, minhas conquistas são para ti. Meu sobrinho Danilo Érikle, jovem determinado, sonhador, realizador, companheiro, o filho que Deus me presenteou. Meus irmãos, em especial José Evamberto que nestes últimos anos tem sido meu apoio nesta caminhada à conclusão do doutorado, sempre presente nos momentos mais difíceis. Meu pai, In memoriam, apesar de não ter sido um pai presente EU TE AMAVA muito, só o fato de ter contribuído para minha existência já é muito gratificante... a distância não permitiu o último abraço. À prima Ariadene Ferreira pela colaboração nas correções ortográficas.

Ao meu orientador de mestrado Dr. Carlos Antônio Fernandes Santos, meu alicerce na pesquisa agropecuária, aquele que me incentivou a continuar no caminho do conhecimento e da pesquisa.

À minha orientadora de doutorada, Luciana Rossini Pinto, mulher de todas as qualidades, aquela que te acolhe e te incentiva no progredir, amiga de todos e super carismática.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, pela infraestrutura e curso oferecido.

Ao corpo docente do curso de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pelo prazer em transmitir seus conhecimentos e nos motivar a seguir nossos

sonhos e objetivos de vida como profissionais capacitados pelo conhecimento adquirido.

Aos funcionários do curso de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pela cordialidade, presteza e satisfação em servir.

Aos colegas do curso de pós-graduação em Genética e Melhoramento de Plantas, pelo companheirismo e parcerias nas atividades acadêmicas. Em especial ao Renato Marchini que muito contribuiu para a execução deste estudo e à Edicleide Macedo que sempre me ajudou em situações particulares e acadêmicas. Esses são amigos preciosos, frutos desta jornada, quero cultivá-los e mantê-los sempre presentes na minha vida.

Ao IAC/APTA – Centro de Cana Ribeirão Preto/SP, por toda infraestrutura e insumos disponibilizados para a realização deste estudo.

Aos funcionários, bolsistas e colegas pós-graduandos do Laboratório de Biotecnologia do IAC/APTA – Centro de Cana Ribeirão Preto/SP. Em especial à Thaís Monteiro, pela orientação na execução das análises moleculares; à Larissa Andrade, pela orientação na execução das análises citológicas, ao João Manechini, pela orientação na execução da genotipagem no Li-Cor; à Maria Natália Melloni pelas orientação na execução e conclusão das análises; à Lúcia Alves, pela amizade adquirida.

Ao Prof. Dr. Mateus Mondin e a técnica de laboratório Silvia Cristina Menuzzo-Molina do Laboratório de Citogenética Molecular de Plantas do Departamento de Genética da ESALQ, pela valiosa orientação sobre o preparo das lâminas citológicas,

À Universidade Virtual do Estado de São Paulo – UNIVESP, pela concessão da bolsa no Programa Formação Didático Pedagógico para Cursos de Modalidade a Distância – Facilitador.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

SUMÁRIO

RESUMO..... iv
ABSTRACT..... v
CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES GERAIS..... 1
INTRODUÇÃO..... 1
REVISÃO DE LITERATURA..... 3
Cana-de-açúcar..... 3
Origem e desenvolvimento dos primeiros híbridos..... 6
Importância econômica..... 8
Poliploidia em cana-de-açúcar..... 11
Citogenética..... 14
Melhoramento genético em cana-de-açúcar..... 17
Marcadores moleculares..... 19
REFERÊNCIAS..... 20
CAPÍTULO II – DIVERSIDADE GENÉTICA E ESTRUTURA GENÉTICA DE ACESSOS DE CANA-DE-AÇÚCAR DO GÊNERO *Saccharum* USANDO MARCADORES MICROSSATÉLITES (SSR)..... 37
RESUMO..... 37
INTRODUÇÃO..... 38
MATERIAL E MÉTODOS..... 40
Material vegetal..... 40
Extração e quantificação do DNA..... 42
Reação de amplificação dos loci de microssatélites..... 42
Genotipagem..... 44
Análise de dados..... 45
RESULTADOS..... 46
Amplificação de alelos..... 46
Variabilidade genética e alelos exclusivos..... 48
Análise genética de agrupamentos..... 50
Estrutura genética entre os acessos..... 53
Análise de Variância Molecular (AMOVA)..... 55

DISCUSSÃO..... 56
REFERÊNCIAS..... 60
CAPÍTULO III – DETERMINAÇÃO DO NÚMERO CROMOSSÔMICO DE ACESSOS DE *S. spontaneum*..... 67
RESUMO..... 67
INTRODUÇÃO..... 68
MATERIAL E MÉTODOS..... 70
Material Vegetal..... 70
Preparação de lâminas citológicas de cromossomos mitóticos pelo método de coloração de Feulgen..... 71
Observação de lâminas citológicas e contagem de cromossomos..... 72
RESULTADOS..... 73
DISCUSSÃO..... 78
REFERÊNCIAS..... 79
CONSIDERAÇÕES FINAIS..... 85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estágio inicial de brotação e perfilhamento da cana-de-açúcar..... 5
Figura 2. Tolete da cana-de-açúcar..... 5
Figura 3. Produção de cana-de-açúcar dos quatro principais países produtores do mundo entre os anos de 2015 e 2019..... 9
Figura 4. Produtividade média (t/ha) dos quatro principais países produtores do mundo entre os anos de 2015 e 2019..... 9
Figura 5. Gráficos da variabilidade genética entre os acessos de *Saccharum* spp. com base nos dados SSR gerados dos 6 grupos predefinidos. 49
Figura 6. Dendrograma obtido pelo método UPGMA, a partir da similaridade de DICE, para os 64 acessos de cana-de-açúcar (rcof. = 0,82)..... 52
Figura 7. a) Análise do melhor valor de K para os 64 acessos, mostrando que o único valor significativo para a inferência dos agrupamentos está em K=2 (ΔK = 259,76); b) proporções de identidade entre os grupos para cada acesso..... 54
Figura 8. Metáfases mitóticas de acessos de *S. spontaneum* com diferenças no espalhamento, condensação cromossômica e qualidade das preparações... 73
Figura 9. Células somáticas obtidas de enraizamento de toletes mantidos em casa de vegetação, pré-tratadas com 8-hidroxiquinolina 0,04% durante 24 horas a 4ºC..... 75
Figura 10. Variação do número cromossômico encontrado nos acessos Q47125, Q46127, SES004A e SES220 obtidos do BAG de cana-de-açúcar do IAC/APTA – Centro de Cana Ribeirão Preto/SP..... 76
Figura 11. Metáfases mitóticas de acessos de *S. spontaneum* pré-tratadas com 8-hidroxiquinolina 0,04% durante 24 horas a 4ºC..... 76
Figura 12. Boxplot da dispersão do número cromossômico encontrado nos acessos Q47125, Q46127, SES004A e SES220 obtidos do BAG de cana-de-açúcar do IAC/APTA – Centro de Cana Ribeirão Preto/SP..... 77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Comparativo de área, produção e produtividade da cana-de-açúcar cultivada nas regiões brasileiras no ano de 2020..... 10
Tabela 2. Acessos do BAG do IAC/APTA – Centro de Cana, avaliados com 12 pares de primers de SSR..... 41
Tabela 3. Relação dos pares de primers SSR com respectivas temperaturas de anelamento (T. A.), motivos de repetição, sequências *forward* e *reverse* (5' a 3'), amplitude dos produtos amplificados (A) em pares de bases (pb)..... 44
Tabela 4. Relação dos 12 pares de primers SSR com número total de alelos (n), estimativas de PIC e diversidade genética (D) analisados em 64 acessos de cana-de-açúcar..... 47
Tabela 5. Conteúdo de informação do polimórfica (PIC) e diversidade genética (D) de 12 pares de iniciadores SSR analisados em 64 acessos de cana-de-açúcar, grupos predefinidos: *S. barberi, S. robustum, S. sinense, S. officinarum,* Híbr/off e Híbridos *Saccharum* spp..... 47
Tabela 6. Número de indivíduos amostrados em cada população (n), Número de alelos observados (Na), Número de alelos efetivos (Ne), Diversidade gênica de Nei (h), Índice de diversidade de Shannon (I), Índice de polimorfismo (PI) – Número de loci polimórficos (NPL) e Porcentagem de loci polimórficos (PLP) de 6 grupos predefinidos de cana-de-açúcar..... 48
Tabela 7. Análise de Variância Molecular (AMOVA) dos grupos predefinidos (*S. barberi, S. robustum, S. sinense, S. officinarum*, Híbr/off e Híbridos *Saccharum* spp.) e dos grupos inferido pela análise de estrutura..... 55
Tabela 8. Diferentes concentrações de pré-tratamentos e tempo utilizados para o preparo das lâminas citológicas..... 71
Tabela 9. Valores da contagem do número cromossômico dos acessos de *S. spontaneum* obtidos do BAG de cana-de-açúcar do IAC/APTA – Centro de Cana Ribeirão Preto/SP..... 77

LISTA DE ABREVIAÇÕES

1G – Primeira geração

2G – Segunda geração

3G – Terceira geração

4G – Quarta geração

AMOVA – Análise da variância molecular

APTA – Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios

B.O.D. – Câmara de germinação

BAG – Banco Ativo de germoplasma

CO_2 – Dióxido de carbônico

CONAB – Companhia Nacional de Abastecimento

CTAB – Brometo de cetiltrimetilamônio

CTC – Centro de Tecnologia Canavieira

CV – *CanaVialis*

cv – Coeficiente de variação

EDTA – Ácido etilenodiamino tetra-acético

FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura

h – Diversidade genética de Nei

HCl – Ácido clorídrico

I – Índice de Shannon

IAC – Instituto Agronômico

IRDye – Tinta fluorescente

ISSCT – International Society of Sugar Cane Technologists

KCl – Cloreto de potássio

MCMC – Markov Chain Monte Carlo

Na – Alelos observados

NaCl – Cloreto de sódio

Ne – Número de alelos efetivos

NPGS – National Plant Germplasm System

NPL – Número de loci polimórficos

PCR – Polymerase Chain Reaction

PI – Índice de polimorfismo

PIC – Conteúdo de Informação de Polimorfismo

PLP – Porcentagem de loci polimórficos

ppm – Partes por milhão

Proálcool – Programa Nacional do Álcool

QTL – Quantitative trait locus

RIDESA - Rede Interuniversitária para o Desenvolvimento do Setor SUCROALCOOLEIRO

RPM – Revolutions per minute

SBI – Sugarcane Breeding Institute

SC – *SugarCane*

SSR – Simple sequence repeats

TBE – Mistura de base T, ácido Bórico e EDTA

TE – Mistura de Tris-HCl e EDTA

UPGMA – Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Averages

USDA – United States Department of Agriculture

WCSRG – World Collections of Sugarcane and Related Grasses

ΦST – Índice de fixação

CARACTERIZAÇÃO CITOGENÉTICA E MOLECULAR EM ACESSOS DE CANA-DE-AÇÚCAR (S*accharum spp*.)

RESUMO – A cana-de-açúcar é uma cultura amplamente cultivada em regiões tropicais e subtropicais, de grande importância econômica, principalmente, na produção de açúcar e etanol. O bagaço resultante da moagem da cana é uma importante fonte de energia renovável utilizada na produção de energia elétrica pelas indústrias canavieiras brasileiras com excedente comercializado para complementar a geração hídrica no país. A cana energia é uma cultivar rica em biomassa, obtida de cruzamentos com *S. spontaneum,* uma espécie selvagem com alta diversidade genética e adaptável com número variável de citótipos na faixa de 2n = 40 – 128. O Programa de Melhoramento Genético de Cana-de-Açúcar do Instituto Agronômico (IAC/APTA) possui Banco Ativo Germoplasma (BAG) de cana-de-açúcar composto por diversos acessos do Complexo *Saccharum*. O estudo visou à caracterização via marcadores moleculares do tipo microssatélites (SSR) de acessos do germoplasma básico de cana-de-açúcar e avaliação do número cromossômico de acessos de *S. spontaneum.* Doze pares de primers de SSR foram utilizados para estabelecer o perfil molecular e avaliar a estrutura populacional e a diversidade genética entre 64 acessos de cana-de-açúcar. Os dados obtidos foram avaliados por meio de metodologias baseadas em distâncias genéticas e modelos probabilísticos, índices de diversidade genética obtidos pelo programa POPGENE versão 1.32, além das estimativas de similaridade genética entre os acessos, a análise de estrutura populacional obtidas pelos programas Structure v.2.3.4 e Structure Harvester. Raízes com aproximadamente 1cm de comprimento foram coletadas para confecção de lâminas citológicas aplicando o método de coloração de Feulgen para contagem de cromossomos em metáfases e investigar a presença de citótipos de quatro acessos de *S. spontaneum*. Os dados obtidos da contagem dos cromossomos foram avaliados por meio dos parâmetros: média, moda, desvio padrão, coeficiente de variação e gráfico Boxplot usado para avaliar a dispersão da contagem do número de cromossomos dos acessos de *S. spontaneum*. Todos os marcadores foram considerados informativos de acordo com seu valor de PIC, a análise estrutural da população e de similaridade revelou a formação de dois grupos e a contagem de cromossomos revelou a presença de três citótipos. Os resultados obtidos contribuirão para o manejo, conservação e utilização do germoplasma em programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar para o desenvolvimento de cultivares melhoradas que atendam à necessidade do produtor e do consumidor, a exemplo da cana energia.

Palavras-chave: *Saccharum*, cromossomos, citótipos, SSR.

CYTOGENETIC AND MOLECULAR CHARACTERIZATION OF SUGARCANE ACCESSIONS (*Saccharum* spp.)

ABSTRACT – Sugarcane crop is widely grown in tropical and subtropical regions, and has a great economic importance, mainly in sugar and ethanol production. The bagasse resulting from the sugarcane crushing is an important source of renewable energy used in the production of electric energy by the Brazilian sugarcane industries with surplus commercialized to complement the hydro generation in the country. Energy cane is a cultivar rich in biomass, obtained from crosses with *S. spontaneum*, a highly diverse and adaptable wild species with a variable number of cytotypes ranging from 2n = 40 – 128. The Sugarcane Genetic Breeding Program of the Agronomic Institute (IAC/APTA) has an Active Germplasm Bank (BAG) of sugarcane composed of several accessions of the *Saccharum* Complex. The study aimed the characterization of basic sugarcane germplasm accessions via microsatellite molecular markers (SSR) and the evaluation of the chromosome number of *S. spontaneum* accessions. Twelve SSR primer pairs were used to establish the molecular profile, genetic diversity and population structure among 64 sugarcane accessions. The data were evaluated using methodologies based on genetic distances and probabilistic models, genetic diversity indexes obtained by using the POPGENE version 1.32 software in addition to the genetic similarity estimates between accessions, analysis of population structure obtained by the Structure v.2.3.4 and Structure Harvester software. Roots of approximately 1cm length were collected for cytological slides confection using the Feulgen staining method for chromosome counting in metaphase and cytotype definition of four *S. spontaneum* accessions. The data from the chromosome count was evaluated using the parameters: mean, mode, standard deviation, coefficient of variation and Boxplot graphics applied to evaluate the dispersion of the chromosome number couting of *S. spontaneum* accessions. All markers were considered informative according to their PIC value, the population structure analysis and similarity revealed the formation of two groups and the chromosome count the presence of three cytotypes. The results will contribute to the management, conservation and use of germplasm in sugarcane genetic breeding programs for the development of improved cultivars that meet the needs of producers and consumers, such as energy cane.

Keywords: *Saccharum*, chromosomes, cytotypes, SSR.

CARACTERIZAÇÃO CITOGENÉTICA E MOLECULAR EM ACESSOS DE CANA-DE-AÇÚCAR (S*accharum spp*.)

CAPÍTULO I - CONSIDERAÇÕES GERAIS

INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar pertence ao gênero *Saccharum* da família *Poaceae*. O gênero *Saccharum* é composto de seis espécies: *S. officinarum, S. spontaneum, S. robustum, S. sinense, S. barberi* e *S. edule*. As cultivares atuais originaram-se de hibridações interespecíficas, principalmente, entre as espécies de *S. officinarum*, espécie rica em sacarose e denominada de “cana nobre” e *S. spontaneum*, espécie selvagem com baixo teor de sacarose, rica em fibra e resistente a estresses bióticos e abióticos da época, (DANIELS; ROACH, 1987; D'HONT et al., 1996). Os primeiros híbridos interespecíficos foram retrocruzados com acessos de *S. officinarum* (parental recorrente) para recuperação dos teores de sacarose num processo denominado de nobilização (STEVENSON, 1965; ROACH,1971). O fato de os híbridos interespecíficos terem herdado a totalidade do genoma de *S. officinarum* proporcionou as cultivares atuais de cana-de-açúcar número cromossômico variando de 2n = 100 a 130 (PREMACHANDRAN et al., 2011), resultando também em uma base genética estreita de cultivares de cana-de-açúcar (LIMA et al., 2002).

A cana-de-açúcar é uma cultura de grande importância econômica, cultivada amplamente em regiões tropicais e subtropicais, principalmente para produção de açúcar e recentemente para produção de biocombustíveis. Como uma planta C4, a cana-de-açúcar possui alta taxa fotossintética, capaz de converter boa parte da energia solar em energia química (ARAGÓN et al., 2009; MARAFON, 2012). A biomassa, resíduo da produção de açúcar e etanol, é uma importante fonte de energia renovável utilizada para produção de energia elétrica pelas indústrias canavieiras brasileiras, parte da energia gerada é comercializada para complementar a geração hídrica no país (RAMOS; NACHILUK, 2017). Outros subprodutos são produzidos a partir da cana-de-açúcar, estes incluem açúcar refinado, açúcar bruto, melaço, álcool, rum, fermento, bagaço, xaropes, cera bruta e glicose (ALLEN et al., 1997).

Os programas de melhoramento genético de cana-de-açúcar têm investido no desenvolvimento de cultivares ricas em biomassa, as cultivares de cana energia. Tais cultivares têm sido desenvolvidas por cruzamentos entre cultivares comerciais e acessos de germoplasma básico de cana-de-açúcar, mais especificamente *S. spontaneum*. Esta espécie selvagem é altamente polimórfica e adaptável, com mais de 30 citótipos na faixa de 2n = 40 – 128 (PRANEETHA; NAIR, 2005; MUKHERJEE, 1950). Apesar da base genética relativamente estreita de *Saccharum* spp., a diversidade genética existente entre os diferentes acessos dentro do Complexo *Saccharum* permite a exploração de sua base genética afim de identificar genes de interesse no melhoramento genético de cana-de-açúcar.

Os marcadores moleculares são de grande importância no melhoramento genético de plantas, pois eles auxiliam os melhoristas na seleção de genótipos superiores aumentando a eficácia e rapidez no processo de melhoramento (BRAMMER, 2000). A citogenética também tem um papel importante em programas de melhoramento, uma vez que permitem análises como o padrão de transmissão dos cromossomos na introgressão do genoma selvagem em *Saccharum* e à identificação de materiais euplóides citologicamente estáveis e preferíveis para uma utilização efetiva (SUGAYA et al., 2012). Portanto, a caracterização citogenética e molecular realizada em bancos de germoplasma são de grande importância para a obtenção de novas cultivares, os dados obtidos dessas análises permitem uma melhor gestão do BAG (Banco Ativo de Germoplasma), possibilitando o melhorista escolher genótipos com características de interesse para a obtenção da cultivar desejada.

O programa de melhoramento genético de cana-de-açúcar do Instituto Agronômico (IAC/APTA), iniciou em 2010 a importação de germoplasma básico de cana-de-açúcar, provenientes, em sua maioria, da Coleção Mundial de Germoplasma de Cana-de-Açúcar e Gramíneas, situado em Miami, Flórida, Estados Unidos. Marcadores moleculares do tipo microssatélites (SSR) estão sendo utilizados para estabelecer o perfil molecular (*fingerprint*) destes acessos, como também quantificar os níveis da variabilidade genética do BAG, identificar acessos duplicados e estabelecer coleções nucleares, permitindo uma gestão eficiente do banco (MANECHINI et al., 2018; MARCHINI, 2019). Além do estudo com marcadores moleculares, análises citogenéticas como contagem do número de cromossomos dos

acessos estão sendo realizadas, as quais permitirão determinar os citótipos dos acessos de *Saccharum spontaneum* (MELLONI et al., 2016).

Nesse contexto, o presente estudo visa à continuidade da caracterização citogenética e molecular de acessos do BAG de cana-de-açúcar do IAC/APTA – Centro de Cana, por meio da contagem cromossômica e genotipagem, estabelecendo citótipos e perfil molecular (*fingerprint*) para auxiliar programas de melhoramento de cana-de-açúcar em futuros cruzamentos que visem a introgressão genética para obtenção de cultivares superiores, principalmente aquelas ricas em biomassa.

REFERÊNCIAS

ABBAS, S. R.; GARDAZI, S. D. A.; IQBAL, M. Z.; KHAN, M. Y.; BATOOL, A.; ABBAS, M. R.; SHAZAD, S.; KHAN, A. M.; SHAH, S. H. Characterization of twenty-six genotypes of sugarcane using SSR markers. **International Journal of Scientific & Engineering Research**, V. 4 (7), p. 1002-1007, 2013.

ABDULLAH, B.; MUHAMMAD, S. A. F. S.; SHOKRAVI, Z.; ISMAIL, S.; KASSIM, K. A.; MAHMOOD, A. N.; AZIZ, M. M. A. Fourth generation biofuel: A review on risks and mitigation strategies. Renewable and Sustainable **Energy Reviews**. v. 107, p. 37-50, 2019.

AHMED, M. S.; GARDEZI, S. D. A. Molecular characterization of locally adopted sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) varieties using microsatellite markers. **The Journal of Animal & Plant Sciences**, v. 27(1), p. 164-174, 2017.

ALAM, H.; RAZAQ, M. S. Induced polyploidy as a tool for increasing tea (*Camellia sinensis* L.) production. **Northeast Agric. Univ.** v. 22, p. 43-47, 2015.

ALI, A.; JIN-DA, W.; YONG-BAO, P. ZU-HU, D.; ZHI-WEI, C.; RU-KAI, C.; SAN-JI, G. Molecular Identification and Genetic Diversity Analysis of Chinese Sugarcane (Saccharum spp. Hybrids) Varieties using SSR Markers. **Tropical Plant Biol**. v. 10, p. 194–203, 2017.

ALLEN, C. J.; MACKAY, M. J.; AYLWARD, J. H.; CAMPBELL, J. A. New Technologies for Sugar Milling and Byproduct Modification. In: KEATING, B. A.; WILSON, J. R. (ed.). **Intensive Sugarcane Production: Meeting the Challenges Beyond 2000.** CAB International Wallingford, UK. p. 267-285, 1997.

AMARAL, A. L.; SANTOS, J. M.; BARBOSA, G. V. S. Denominação de cultivares de cana-de-açúcar como suporte à documentação e utilização do germoplasma conservado. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros. **Documentos 196**, p. 1-31, 2015.

AQUINO, A. F.; BIDÔ, E. S.; GALVÃO, M. L. M.; OLIVEIRA, V. N. O Etanol da cana-de-açúcar: possibilidades energéticas da Região de Ceará-Mirim-RN. **Holos**. Ano 30, v. 1, p. 105-125, 2014.

ARAGÓN, C.; CARVALHO, L. C.; GONZÁLEZ, J.; ESCALONA, M.; AMÂNCIO, S.

Sugarcane (Saccharum sp. Hybrid) propagated in headspace renovating systems shows autotrophic characteristics and develops improved anti-oxidative response. **Trop. Plant Biol.** v. 2, p. 38–50, 2009.

ARALDI, R.; SILVA, F. M. L.; ONO, E. O.; RODRIGUES, J. D. Florescimento de cana-de-açúcar. **Ciência Rural**. v. 40, n. 3, p. 694-702, 2010.

ARRUDA, P. Perspective of the sugarcane industry in Brazil. **Trop Plant Biol.** v. 4, p. 3-8, 2011.

ARTSCHWAGER. E. BRANDES, E. W. Sugarcane (S*accharum officionarum* L.): origin, classification, characteristics, and descriptions of representative clones. Washington: **USDA.** p, 307, 1958.

BALSALOBRE, T. W. A.; PEREIRA, G. DA S.; MARGARIDO, G. R. A.; GAZAFFI, R.; BARRETO, F. Z.; ANONI, C. O.; CARDOSO-SILVA, C. B.; COSTA, E. A.; MANCINI, M. C.; HOFFMANN, H. P.; SOUZA, A. P. DE.; GARCIA, A. A. F.; CARNEIRO, M. S. GBS-based single dosage markers for linkage and QTL mapping allow gene mining for yield-related traits in sugarcane. **BMC Genomics**. v. 18, p. 72, 2017.

BARNETT, J. A.; ROBINOW, C. F. A history of research on yeasts 4: cytology part I, 1890-1950. **Yeast**, v. 19, n. 2, p. 151-182, 2002.

BOWDEN, W. M. A list of chromosome numbers in higher plants. II. *Menispermaceae* to *Verbenaceae*. **Amer. J. Bot.**, v. 32, p. 191-201, 1945.

BRADSHAW, J. E. (ed.). Genome evolution and polyploidy. In: BRADSHAW**, J. E. (ed.) Plant Breeding: Past, Present and Future.** Cham: Springer International Publishing, p. 233–269, 2016.

BRAMMER, S. P. Marcadores moleculares: princípios básicos e uso em programas de melhoramento genético vegetal. **Embrapa Trigo**, p. 12, 2000.

BREMER, G. Een cytologisch onderzoek aan eenige soorten en soortsbastaarden van bet geslacht Saccharum. Thesis, **Agric. Univ**. Wageningen, 1921.

BREMER, G. Problems in breeding and cytology of sugar cane. **Euphytica**, v. 10, p. 59-78, 1961.

BRETAGNOLLE, F. Pollen production and spontaneous polyploidization in diploid populations of Anthoxanthum alpinum. **Biological Journal of the Linnean Society**, London, v. 72, p. 241-247, 2001.

BRETAGNOLLE, F.; THOMPSON, J. D. Gametes with the somatic chromosome number: mechanisms of their formation and role in the evolution of autopolypoid plants. **New Phytol.** v. 129, p. 1-22, 1995.

BROWNFIELD L.; KÖHLER C. Unreduced gamete formation in plants: mechanisms and prospects. **J. Exp. Bot.** v. 62, p. 1659-1668, 2011.

BRUMBLEY, S. M.; SNYMAN, S. J.; GNANASAMBANDAM, A.; JOYCE, P.; HERMANN, S. R.; DA SILVA, J. A. G.; MCQUALTER, R. B.; WANG, M. L.; EGAN, B. T.; PATTERSON, A. H.; ALBERT, H. H.; MOORE, P. H. Sugarcane. In: KOLE, C.; HALL, T. C. (eds.) A Compendium of Transgenic Crop Plants: Sugar, Tuber and Fiber Crops 7. **Blackwell Publishing**. Oxford. p. 1-58, 2008.

BUSCHIAZZO, E.; GEMMELL, N. J. The rise fall and renaissance of microsatellites in eukaryotic genomes. **Bioessays**, v. 28, p. 1040-1050, 2006.

BUTTERFIELD, M. K.; D'HONT, A.; BERDING, N. The sugarcane genome: A synthesis of current understanding, and lessons for breeding and biotechnology. **Proc. S. Afr. Sug. Technol.** Ass, v. 75, p. 1-5, 2001.

CARDOSO, R. D. L.; GRANDO, M. F.; MS-BASSO, S.; SEGEREN, M. I.; AUGUSTIN, L.; SUZIN, M. Caracterização citogenética, viabilidade de pólen e hibridação artificial em gérbera. **Horticultura Brasileira**, v. 27, p. 40-44, 2009.

CARVALHO, E. P. Prólogo: Entre o petróleo e o hidrogênio, o etanol detona uma revolução no começo do século XXI. In: MACEDO, I. C. A Energia da Cana-de-Açúcar – Doze estudos sobre a agroindústria da cana-de-açúcar no Brasil e a sua sustentabilidade. São Paulo: **Berlendis & Vertecchia**: UNICA – União da Agroindústria Canavieira do Estado de São Paulo, 2005.

CASAGRANDE, A. A.; VASCONCELOS, A. C. M. Fisiologia da parte aérea. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agronômico, p. 101-155, 2010.

CASTRO, P. R. C. **Fisiologia vegetal aplicada à cana-de-açúcar.** Maceió, p. 7, 2001.

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. J. Y. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília: Embrapa, p. 307, 2004.

CHAVES JÚNIOR, G. T. **Influência do clima na produtividade da cana-de-açúcar**. Araçatuba, SP: Fatec, 2011.

CHEAVEGATTI-GIANOTTO, A.; ABREU, H. M. C. ARRUDA, P.; BESPALHOK FILHO, J. C.; BURNQUIST, W. L.; CRESTE S. CIERO L.; FERRO, J. A.; FIGUEIRA, A. V. O.; FILQUEIRAS, T. S.; GROSSIDE-SÁ, M. F.; GUZZO, E. C.; HOFFMANN, H. P.; LANDELL, M. G. A. MATSUOKA, N. M.; REINACH, F. C.; ROMANO, E.; SILVA, W. J.; SILVA FILHO, M. C.; ULIAN, E. C. Sugarcane (Saccharum x Officinarum): a reference study for the regulation of genetically modified cultivaras in Brazil. **Tropica Plant Biology**. v. 4, p. 62-89, 2011.

CHEN, J. Z. Molecular mechanisms of polyploidy and hybrid vigor. **Trends in Plant**

Science. v. 15, p. 57-71, 2010.

CLAUSEN, J.; KECK, D. D.; HIESEY, W. M. Experimental studies on the nature of species. II. Plant evolution through amphiploidy and autoploidy, with examples from the Madiinae. Washington: Carnegie Institution of Washington, **Publication 564,** 1945.

COLETTI, J. T; LORENZETTI, J. M.; FREITAS, P. G. R.; CORBINI, J. L.; WALDER, L. A. M.; CAMPONEZ NETO, A. A inibição do florescimento pelo uso de ethephon e sua influência na biomassa. **Anais**. Congresso Nacional da Sociedade dos Técnicos Açucareiros e Alcooleiros do Brasil – STAB. v. 3, p. 348-351, 1984.

COMAI, L. The advantages and disadvantages of being polyploid. **Nature.** v. 6, p. 836-846, 2005.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 7 - Safra 2019/20, n. 3 - Primeiro levantamento. Brasília, DF: **CONAB**. p. 1-66, 2018. ISSN: 2318-7921.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar, v. 7 - Safra 2019/20, n. 3 - Terceiro levantamento. Brasília, DF: **CONAB**. p. 1-62, 2020. ISSN: 2318-7921.

COMPTON, M.; GRAY, D.; ELMSTROM, G. Identification of tetraploid regenerants from cotyledons of diploid watermelon cultured in vitro. **Euphytica**. v. 87, p. 165-172, 1996.

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

CRESTE, S.; ROSA JUNIOR, V. E.; PINTO, L. R. ALBINO, J. C.; FIGUEIRA, A. V. O. A biotecnologia como ferramenta para o melhoramento genético. In: DINARDO-

MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agronômico, p. 157-176, 2010.

DANIELS J.; SMITH P.; PANTON N.; WILLIAMS C. A. The origin of the genus *Saccharum*. Sugarcane Breed. **Newsl**, v. 36, p. 24-39, 1975.

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

DE STORME N.; GEELEN, D. Sexual polyploidization in plants – cytological mechanisms and molecular regulation. **New Phytol.** v. 198, p. 670-684, 2013.

DE STORME, N; COPENHAVER, G. P.; GEELEN, D. Production of diploid male gametes in *Arabidopsis* by cold-induced destabilization of postmeiotic radial microtubule arrays. **Plant Physiol.** v. 160, p.1808-1826, 2012.

DEWEY, D.R. Some applications and misapplications of induced polyploidy to plant breeding. In: LEWIS, W. H. Polyploidy: biological relevance. New York: **Plenum.** p. 445-469, 1980.

D'HONT, A.; GRIVET, L.; FELDMANN, P.; RAO, P. S.; BERDING, N.; GLASZMANN, J. C. Characterisation of the double genome structure of modern sugarcane cultivars (Saccharum spp.). by molecular cytogenetics. **Molecular and General Genetics**, v. 250, p. 405-413, 1996.

DIAS, M. O. S.; MACIEL FILHO, R.; MANTELATTO, P. E.; CAVALETT, O. C.; ROSSELL, E. V.; BONOMI, A.; LEAL, M. R. L. V. Sugarcane processing for ethanol and sugar in Brazil. **Environmental Development.** v. 15, p. 35-51, 2015.

FAO. FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em:< http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>. Acesso em: 27 jan. 2021.

FERREIRA, M. E.; MORETZSOHN, M. C.; BUSO, G. S. C. Fundamentos de caracterização molecular de germoplasma vegetal. In: NASS, L.L. **Recursos genéticos vegetais.** Brasília, Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia, p.377-420, 2007.

FIGUEIREDO, P. Breve história da cana-de-açúcar e do papel do Instituto Agronômico de Campinas no seu estabelecimento no Brasil. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agronômico, p. 31-44, 2010.

GUERRA, M. Citogenética em angiosperma coletadas em Pernambuco I. **Revista Brasileira de Genética.** v. 9, n. 1, p. 21-40, 1988.

GUERRA, M. A situação da citotaxonomia de angiosperma nos trópicos e em particular no Brasil. **Acta Botânica Brasileira.** v. 4, n. 2, p. 75-85, 1990.

GUERRA, M.; SOUZA, M. J. **Como observar cromossomos: um guia prático de técnicas em citogenética vegetal, animal e humana.** Editora Fumpec. p. 131, 2002.

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

HARLAN, J. R. DE WET, J. M. J. On o Wings and a prayer; the origin of polyploids. **Bot. Rev.** v. 41, p.361-390, 1975.

HEINZ, D.; TEW, T. Hibridization procedures. In: **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam, ND: Elsevier, p. 313-342, 1987.

HESLOP-HARRISON, J. S.; SCHWARZACHER, T. Organization of the plant genome in chromosomes. **Plant J**. v. 66, p. 18-33, 2011.

HOGARTH, D. M. New varieties uplift sugar production. **Producers Review.** v. 66, p. 21-22, 1976.

HOGARTH, D. M. The effect of occidental selfing on the analysis of a diallel cross with sugarcane. **Euphytica.** v. 29, p. 737-746, 1980.

IRVINE, J. E. Madison, *Saccharum* species as horticultural classes. **Theoretical Applied Genetics.** v. 98, p. 186-194, 1999.

KIHARA, H.; ONO, T. Chromosomenzahlen und systematische Gruppierung der Rumex-Arten. **Z. Z. Mikr. Anat.** v. 4, p. 475-481, 1926.

LANDELL, M. G. A.; BRESSIANI, A. Melhoramento genético, caracterização e manejo varietal. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agronômico, p. 101-155, 2010.

LANDELL, M. G. A.; CAMPANA, M. P.; FIGUEIREDO, P.; XAVIER, M. A.; ANJOS, I. A.; DINARDO-MIRANDA, L. L.; SCARPARI, M. S.; GARCIA, J. C.; BIDÓIA, M. A. P.; SILVA, D. N.; MENDONÇA, J. R.; KANTHACK, R. A. D.; CAMPOS, M. F.; BRANCALIÃO, S. R.; PETRI, R. H.; MIGUEL, P. E. M. Sistema de multiplicação de cana-de-açúcar com uso de mudas pré-brotadas (MPB), oriundas de gemas individualizadas. Instituto Agronômico, **Documentos IAC.** n. 109, p. 16, 2012.

LAVANIA, U. C. Polyploidy, body size, and opportunities for genetic enhancement and fixation of heterozygosity in plants. **Nucleus.** v. 56, p. 1-6, 2013.

LEITCH, A. R.; LEITCH, I. J. Genomic plasticity and the diversity of polyploid plants. **Science.** v. 320, p. 481-483, 2008.

LEVIN, D. A. The Role of Chromosomal Change in Plant Evolution. **Systematic Botany. v.** 29 (2), p. 460-461, 2004.

LIMA M, GARCIA A, OLIVEIRA K, MATSUOKA S, ARIZONO H. SOUZA, C. L. Jr. SOUZA, A. P. Analysis of genetic similarity detected by AFLP and coefficient of parentage among genotypes of sugar cane (Saccharum spp.). Theor Appl Genet, v. 104, p. 30-38, 2002.

MADLUNG, A. Polyploidy and its effect on evolutionary success: old questions revisited with new tools. **Heredity.** v. 110, p. 99-104, 2013.

MALAJOVICH, M. A. M. **Biotecnologia**. Rio de Janeiro: bteduc. 2ed, p. 9, 2016.

MANECHINI, J. R. V.; COSTA, J. B.; PEREIRA, B. T.; CARLINI-GARCIA, L. A.; XAVIER, M. A.; LANDELL, M. G. A.; PINTO, L. R. Unraveling the genetic structure of Brazilian commercial sugarcane cultivars through microsatellite markers. **Plos One**, v. 13, n. 4, p. 1-21, 2018.

MANGELSDORF, A. J. Sugarcane breeding: in retrospect and in prospect. Proc. Cong., **Int. Soc. Sug. Techs.** n. 9, p. 560-575, 1956.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Registro Nacional de Cultivares, 2013. Disponível em: < http://extranet.agricultura.gov.br/php/snpc/cultivarweb/detalhe_cultivar.php?codsr=30886>. Acesso em: 15 fev. 2021.

MARAFON, A. C. Análise quantitativa de crescimento em cana-de-açúcar: uma introdução ao procedimento prático. Embrapa Tabuleiros Costeiros. **Documentos 168**, p. 10, 2012.

MARCHINI, R. M. S. Caracterização de acessos do “complexo *saccharum*” e desenvolvimento de uma coleção nuclear com base em marcadores moleculares e atributos de qualidade. **Dissertação** (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – UNESP, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2019.

MASON, A. S.; NELSON, M. N.; YAN, G.; COWLING, W. A. Production of viable male

unreduced gametes in *Brassica* interspecific hybrids is genotype specific and stimulated by cold temperatures. *BMC* **Plant Biol.** v. 11, p. 103, 2011.

MATSUOKA, S.; FERRO, J.; ARRUDA, P. The Brazilian experience of sugarcane ethanol industry. **In Vitro Cell. Dev. Biol. – Plant.** v. 45, p. 372–381, 2009.

MATSUOKA, S.; KENNEDY, A. J.; SANTOS, E. G. D.; TOMAZELA, A. L.; RUBIO, L. C. Energy Cane: Its Concept, Development, Characteristics, and Prospects. **Advances in Botany.** v.2014, p.1-13, 2014.

MATSUOKA, S.; GARCIA, A. A. F.; ARIZONO, H. Melhoramento da cana-de-açúcar. In: BOREM, A. **Melhoramento de espécies cultivadas**. Viçosa: Editora UFV, p. 225-274, 2005.

MELLONI, M. N. G.; MELLONI, M. L. G.; NEUBER, A. C.; PERECIN, D.; LANDELL, M. G. A.; PINTO, L. R. Eficiência de diferentes antimitóticos em preparações citológicas de cana-de-açúcar. **Sugar Tech**, v. 18, p. 222-228, 2016.

MING, R.; MOORE, P. H.; D`HONT, A.; GLASZMANN, J. C.; TEW, T. L.; MIRKOV, T. E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHELL, R. J.; BRUMBLEY, S. M.; LAKSHMANAN, P.; COMSTOCK, J. C.; PATERSON, A. H. Sugarcane Improvement through Breeding and Biotechnology. In: JANICK, J. **Plant breeding reviews.** New York, John Wiley & Sons, cap.2, p.15-118, 2006a.

MING, R.; MOORE, P. H.; WU, K. K.; D'HONT, A.; TOMAS, T. 2006. Sugarcane Improvement through Breeding and Biotechnology. **Plant Breedíng Revíews**, New York, USA, v. 27, 2006b.

MING, R.; MOORE, P. H.; WU, K. K.; D'HONT, A.; GLASZMANN, J. C.; TEW, T. L.; MIRKOV, T. E.; DA SILVA, J.; JIFON, J.; RAI, M.; SCHNELL, R. J.; BRUMBLEY, S. M.; LAKSHMANAN, P. COMSTOCK, J. C. PATERSON, A. H. **Plant Breeding Reviews**. Wiley Blackwell: Hoboken, NJ, USA, v. 27, p. 15-118, 2010.

MISHRA, B. K.; PATHAK, S.; SHARMA, A.; TRIVEDI, P.K.; SHUKLA, S. Modulated gene expression in newly synthesized auto-tetraploid of *Papaver somniferum* L. **S. Afr. J. Bot.** v. 76, p. 447-452, 2010.

MOORE, P. H. Integration of sucrose accumulation processes across hierarchical scales: towards developing an understanding of the gene-to-crop continuum. **Field Crops Research**. v.92, p. 119-135, 2005.

MORAIS, L. K.; AGUIAR, M. S.; SILVA, P. A.; CÂMARA, T. M. M.; CURSI, D. E.; FERNANDES JUNIOR, A. R.; CHAPOLA, R. G.; CARNEIRO, M. S.; BESPALHOK FILHO, J. C. Breeding of Sugarcane, In: CRUZ, V. M. V.; DIERIG, D. A. (Ed.). Industrial Crops: breeding for bioenergy and bioproducts. New York, USA: **Springer.** p. 444, 2015a.

MORAIS, L. K.; CURSI, D. E.; SANTOS, J. M.; SAMPAIO, M.; CÂMARA, T. M. M.; SILVA, P. A.; BARBOSA, G. V.; HOFFMANN, H. P.; CHAPOLA, R. G.; FERNANDES JÚNIOR, A. R.; GAZAFFI, R. Melhoramento genético de cana-de-açúcar. Embrapa Tabuleiros Costeiros. **Documentos 200**, p. 38, 2015b. ISSN 1678-1953.

MUKHERJEE, S. K. Origin and distribution of *Sachharum*. **Bot. Gaz.** V. 119, p. 55-61, 1957.

NASS, L. L. Utilização de recursos genéticos vegetais no melhoramento. In: NASS, L. L.; VALOIS, A. C. C.; MELO, I. S.; VALADARES-INGLIS, M. C. (Ed.). **Recursos Genéticos e Melhoramento de Plantas.** Rondonópolis: Fundação MT, p. 29-56, 2001.

NASTARI, P. M. A importância do setor sucroenergético no Brasil. **Agroanalysis.** p. 16-17, 2012.

NAYAK, S. N.; SONG, J.; VILLA, A.; PATHAK, B.; AYALA-SILVA, T.; YANG, X.;

TODD, J.; GLYNN, N. C.; KUHN, D.; GLAZ, B.; GILBERT, R. A.; COMSTOCK, J. C.; WANG, J. Promoting Utilization of Saccharum spp. Genetic Resources through Genetic Diversity Analysis and Core Collection Construction. **PLOS ONE**, V. 9 (10), e110856, 2014.

NUSS, K. J. The contribution of NCo376 to sugar production in South Africa from 1955 to 2000 and its value as a parent in the breeding programme. **Proceeding of the South African Sugar Technologists Association.** v. 75, p. 154-159, 2001.

ORR, B.; GODEK, K. M.; COMPTON, D. Aneuploidia. **Curr. Biol.** v. 25 (13), p. 538-542, 2015.

PASTINA, M. M.; MALOSETTI, M.; GAZAFFI, R.; MOLLINARI, M.; MARGARIDO, G. R. A.; OLIVEIRA, K. M.; PINTO, L. R.; SOUZA, A. P.; VAN EEUWIJK, F. A.; GARCIA, A. A. F. A mixed model QTL analysis for sugarcane multiple-harvest-location trial data. **Theor Appl Genet**, v. 124 (5), p. 835–849, 2012.

PRANEETHA, M.; NAIR, N. V. Cytological Studies on *Saccharum spontaneum* L. accessions from Kerala, India. **Cytologia**, v. 70 (4), p. 407-413, 2005.

PRANEETHA, M.; NAIR, N. V. Cytological studies on *saccharum spontaneum L*. from Andhra Pradesh, Índia. **Journal of Sugarcane Research**, v. 4 (1), p. 40-47, 2014.

POZZOBON, M. T.; PEÑALOZA, A. P. S.; SANTOS, S. Manual de curadores de germoplasma – vegetal: Caracterização citogenética e reprodutiva. Embrapa Recursos Genéticos e Biotecnologia. **Documentos 313**, p.14, 2010.

PREMACHANDRAN, M. N.; PRATHIMA, P. T.; LEKSHMI, M. Sugarcane and Polyploidy - A Review. **Journal of Sugarcane Research**, v. 1 (2), p. 1-15, 2011.

RAE A. L.; JACKSON, M. A.; NGUYEN, C. H.; BONNETT, G. D. Functional specialization of vacuoles in sugarcane leaf and stem. **Trop. Plant Biol.** v. 2, p. 13-22,

2009.

RAJ, P.; SELVI, A.; PRATHIMA, P. T.; NAIR N. V. Analysis of genetic diversity of Saccharum complex using chloroplast microsatellite markers. **Sugar Tech**, v. 18, p. 141-148, 2016.

RAMOS, R. C.; NACHILUK, K. Geração de Bioenergia de Biomassa da Cana-de-açúcar nas Usinas Signatárias ao Protocolo Agroambiental Paulista, Safra 2015/2016. Instituto de Economia Agrícola. **Análises e Indicadores do Agronegócio**, **v. 12 (4), 2017.**

QI, Y.; PAN, Y.; LAO, F.; FAN, L.; HE, H.; LIU, R.; WANG, Q.; LIU, S.; LIU, F.; LI, Q.; DENG, H. genetic structure and diversity of parental cultivars involved in China mainland sugarcane breeding programs as inferred from DNA microsatellites. **Journal of Integrative Agriculture.** v. 11, n. 11, p. 1794-1803, 2012.

RAMALHO, M.; SANTOS; J. B.; PINTO, C. B.; SOUZA, E. A.; GONÇALVES, F. M. A.; SOUZA, J. C. **Genética na Agropecuária.** Lavras: UFLA, p. 565, 2012.

RAMANNA, M. S. The use of 2n gametes in breeding polysomic polyploid species: some achievements and perspectives. In: MARIANI, A.; TAVOLETTI, S. Gametes with somatic chromosome number in the evolution and breeding of polyploid polysomic species: achievements and perspectives. **Perugia: Forage Plant Breeding Institute.** p. 91-99, 1992.

RAMSEY, J.; SCHEMSKE, D. W. Pathways, mechanisms, and rates of polyploid formation in the flowering plants. **Annu. Ver. Ecol. Syst**. v. 29, p. 467-501, 1998.

ROACH, B. T. Nobilisation of sugar cane. **Proceedings of the International Society of Sugar Cane Technologists**, v. 14, p. 206-216, 1971.

SALMA, U.; KUNDU, S.; MANDAL, N. Artificial polyploidy in medicinal plants:

advancement in the last two decades and impending prospects. **J. Crop. Sci. Biotech.** v. 20, p. 9-19, 2017.

SALATA, J. C.; FERREIRA L. J.; CASAGRANDE, A. A. Interferência do florescimento nas qualidades agroindustriais de algumas variedades comerciais de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**. v. 93, p. 45-55, 1982.

SANTOS, E. G. D. O Melhoramento Genético da Cana-de-açúcar da RIDESA. **Resumo** (Mestrado em Genética e Melhoramento de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Piracicaba, 2007.

SCARPARI. M. S.; BEAUCLAIR, E. G. F. Anatomia e botânica. In: In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C. M.; LANDELL, M. G. A. (Ed.). **Cana-de-açúcar.** Campinas: Instituto Agronômico, p. 47-56, 2010.

SCHIFINO-WITTMANN, M. T.; DALL'AGNOL, M. Gametas não-reduzidos no melhoramento de plantas. **Ciência Rural**. v. 31, p. 169-175. 2001.

SAHA, S.; SHARMA, A.; PURKAYASTHA, S.; PANDEY, K.; DHINGRA, S. Bio-plastics and biofuel: is it the way in future development for end users? **Plast. Ener.** p. 365-376, 2019.

SOBHAKUMARI, V. P. New determinations of somatic chromosome number in cultivated and wild species of Saccharum. **Caryologia**, v. 66 (3), p. 268–274, 2013.

SOUZA, G. M.; ERGES, H.; BOCS, S.; CASU, R.; D'HONT, A.; FERREIRA, J. E. et al. The Sugarcane Genome Challenge: Strategies for Sequencing a Highly Complex Genome. **Tropical. Plant Biology.** v. 4, p. 145-156, 2011.

SREENIVASAN, T. V.; AHLOOWALIA, B. S.; HEINZ, D. J. Cytogenetics. In: HEINZ, D. J. (ed) **Sugarcane improvement through breeding**. Amsterdam: Elsevier, p. 211–253, 1987.

STEBBINS, G. L. Chromosomal evolution in higher plants. **Reading: Addison-Wesley.** p. 216, 1971.

STEBBINS, G. L. Polyploidy I: Occurrence and Nature of Polyploid Types In: STEBBINS, G. L. (ed). **Variation and evolution in plants.** New York: Columbia University Press, p. 298-341, 1950.

STEBBINS, G. L. Polyploidy, hybridization, and the invasion of new habitats. **Annals of the Missouri Botanical Garden.** v. 72, p. 824-832, 1985.

STEVENSON, G. C. **Genetics and Breeding of Sugarcane**. London: Longman, 1965.

STRAPASSON, A. B.; JOB, L. C. M. A. Etanol, meio ambiente e tecnologia: reflexões sobre a experiencia brasileira. **Revista de Politica Agrícola.** v. 15, n.3, p. 51-63, 2006.

SUGANYA, A.; NITHIYANANTHAM, R.; PREMACHANDRAN, M. N.; BALASUNDARAM, N.; GOVINDARAJ, P.; SELVI AND, N. A.; NAIR, V. Cytological studies in hybrids between a sugarcane cultivar and three cytotypes of wild S*accharum spontaneum* L. **Journal of Sugarcane Research**, v. 2 (2), p. 34-40, 2012.

SYBENGA, J. Cytogenetics in plant breeding. **New York.** p. 469, 1998.

TATE, J. A.; SOLTIS, D. E.; SOLTIS, P. E. Polyploidy in plants. In: Gregory, T. R. **The Evolution of the Genome.** Ed: Amsterdam: Elsevier, p. 372-426, 2005.

TEW, T. L.; COBILL, R. M. Genetic Improvement of Sugarcane (Saccharum spp.) as an Energy Crop. In: VERMERRIS, W. **Genetic Improvement of Bioenergy Crops.** Springer, New York, cap. 9, p. 273-294, 2008.

VAN DE PEER, Y.; MIZRACHI, E.; MARCHAL, K. The evolutionary significance of

polyploidy. **Nat. Rev. Genet.** v. 18, p. 411–424, 2017.

VAN DILLEWIJN, C. **Botany of sugarcane**. Waltham, Mass. p. 371, 1952.

VERMA, R. S. BABU, A. **human chromosomes: principles and techniques**. New York: McGraw-Hill, Inc, 2ed. p. 419, 1995.

YOUNIS, A.; HWANG, Y. J.; LIM, K. B. Exploitation of induced 2n-gametes for plant breeding. **Plant Cell Rep.** v. 33, p. 215–223, 2014.

YU, F.; WANG, P.; LI, X.; HUANG, H.; WANG, Q.; LUO, L.; JING, Y. LIU, X.; DENG, Z.; WU, J.; YANG, Y.; CHEN, R. ZHANG, M.; XU, L. Characterization of chromosome composition of sugarcane in nobilization by using genomic in situ hybridization. **Mol Cytogenet**, v. 11, n. 35, p. 1-8, 2018.

ZHANG J.; NAGAI C.; YU Q.; PAN Y.; AYALA-SILVA T.; SCHNELL R. J.; COMSTOCK, J. C.; ARUMUGANATHAN, A. K.; MING, R. Genome size variation in three Saccharum species. **Euphytica.** v. 185, p. 511-519, 2012.

ZHAO, X.; SI, Y.; HANSON, R. E.; CRANE, C. F.; PRICE, H. J.; STELLY, D. M.; WENDEL, J. F.; PATERSON, A. H. Dispersed Repetitive DNA Has Spread to New Genomes Since Polyploid Formation in Cotton. **Genome Research.** v. 8, p. 479-492, 1998.