

UNIVERSIDADE DA REGIÃO DE JOINVILLE – UNIVILLE
MESTRADO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS

FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DE MOSTO COMPOSTO POR DIFERENTES
COMBINAÇÕES DE BIOMASSAS RESIDUAIS DA BANANICULTURA

BIANCA MARIA SANDRIN

Joinville – SC

2018

BIANCA MARIA SANDRIN

FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA DE MOSTO COMPOSTO POR DIFERENTES
COMBINAÇÕES DE BIOMASSAS RESIDUAIS DA BANANICULTURA

Dissertação de mestrado apresentada
como requisito parcial para obtenção do
título de Mestre em Engenharia de
Processos na Universidade da Região de
Joinville – Univille.

Orientador: Profº Dr. Ozair Souza.

Joinville – SC

2018

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

S219f	Sandrin, Bianca Maria Fermentação alcoólica de mosto composto por diferentes combinações de biomassas residuais da bananicultura/ Bianca Maria Sandrin ; orientador Dr. Ozair Souza. – Joinville: UNIVILLE, 2018. 107 p.: il. ; 30 cm Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos – Universidade da Região de Joinville) 1. Banana - Cultivo. 2. Biomassa. 3. Energia da biomassa. I. Souza, Ozair (orient.). II. Título. CDD 662.88
-------	--

Termo de Aprovação

“Fermentação Alcoólica de Mosto Composto por Diferentes Combinações de Biomassas Residuais da Bananicultura”

por

Bianca Maria Sandrin

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.

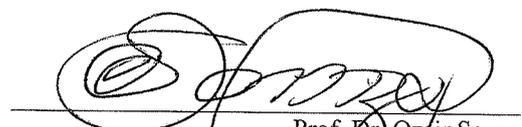


Prof. Dr. Ozair Souza
Orientador (UNIVILLE)

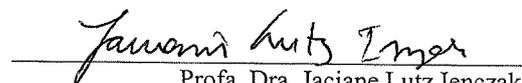


Prof. Dr. Ozair Souza
Coordenador do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Ozair Souza
Orientador (UNIVILLE)



Prof. Dra. Jaciane Lutz Ienczak
(UFSC)



Prof. Dra. Elisabeth Wisbeck
(UNIVILLE)

Joinville, 27 de março de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, que está sempre presente em minha vida me guiando, me dando forças e me amparando nos momentos difíceis.

À minha mãe Vera Lucia Sandrin, por toda a confiança e dedicação que tem por mim em toda a minha vida, apoiando-me nos momentos difíceis com força, exemplo, confiança e amor, incentivando-me a persistir em meus sonhos e ajudando-me a alcançá-los, mesmo quando isso significava abrir mão de seus próprios sonhos.

Ao meu marido Gustavo Jamir da Silva, pelo amor, pelo apoio e incentivo para a realização dos meus objetivos.

Ao o professor, Doutor Ozair Souza, primeiramente por ter aceitado me orientar, por toda a ajuda dada neste trabalho, pelas suas horas incansáveis de correção, pelo seu perfeccionismo, o meu muito obrigado.

À Professora Doutora Elizabeth pela ajuda nas análises estatísticas.

À técnica de laboratório da Univille, Aline Scheller Coan pela amizade e apoio durante a etapa experimental deste trabalho.

À técnica de laboratório da Univille Cláudia Hack Gumz Correia, pela realização das análises: CG-MS, HPLC e FTIR. E por toda paciência ao explicar a interpretação das técnicas de caracterização.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Ensino Superior - CAPES pela bolsa de estudo.

RESUMO

A banana é a segunda fruta mais produzida no Brasil, perdendo apenas para a laranja. Na safra de 2014 foram colhidas 7,1 Mt da fruta no país, sendo que o estado catarinense aparece como o 4º maior produtor brasileiro, contribuindo com 10% da produção nacional. Os municípios do Litoral Norte Catarinense são responsáveis por 85% da produção estadual de bananas, concentrando-se os cultivares Nanica e Nanicão. Considerando a quantidade de resíduos proveniente da cultura da banana e da sua industrialização são obtidos mais de 27 mil toneladas de biomassa rejeitada anualmente. A partir de outros trabalhos que já foram realizados com a finalidade de avaliar o potencial energético de toda essa biomassa, porém, utilizando cada resíduo gerado de forma isolada, o objetivo deste trabalho foi realizar a fermentação alcoólica de forma conjunta dos três resíduos, sendo eles, o bagaço do pseudocaule, cascas e polpa, de maneira a avaliar a influência de altas concentrações de açúcares redutores sobre a produção de etanol. Além disso, foi avaliado o uso da seiva descartada de pseudocaule para fermentação e, a partir da sua caracterização física e química, foram propostas novas alternativas de valorização. Para obtenção do mosto de fermentação, os caldos resultantes de cada um dos resíduos empregados foram misturados e submetidos à evaporação aberta (pressão ambiente) para aumento de açúcares redutores (AR) até $\cong 150$ g/L e (AR) $\cong 120$ g/L. Foram avaliados dois tipos de mostos: mosto 1 utilizando como substrato o caldo de polpa triturado em meio aquoso, caldo de cascas e caldo de pseudocaule (F1) e mosto 2, contendo como substrato o caldo de polpa triturado em seiva de pseudocaule, caldo de cascas e caldo de pseudocaule (F2A) (F2B) (F3A) e (F3B). As fermentações foram conduzidas a 30°C e pH inicial de 4,5 em frascos de Erlenmeyer com volume de trabalho 100ml e 20% (v/v) de inóculo, até o término de consumo de AR ($dar/dt=0$). Ao caracterizar a seiva de pseudocaule de bananeiras, os principais compostos identificados foram, o acetato de propila, em que é utilizado como aromatizante e flavorizante na indústria e o acetato de isobutila que é empregado na indústria química como solvente para lacas com base em nitrocelulose, ésteres de celulose e lacas acrílicas. Ao fermentar a seiva (S) de forma isolada, encontrou-se valores médios de $YP/AR = 0,34 \pm 0,04$ g/g e $QP = 1,33 \pm 0,23$ g/L.h. Já no aproveitamento da seiva como fonte adicional de carbono no mosto de fermentação, comprovou-se a sua potencialidade, pois não houve influência na produtividade e no rendimento da fermentação, bem como, pode contribuir com a minimização do seu impacto ambiental. Na fermentação de diferentes composições de mosto (com e sem a seiva do pseudocaule) por *Sacharomyces cerevisiae* UNIVILLE 9080 (linhagem não floculante) e por *S. cerevisiae* ATCC 26603 (linhagem floculante), empregando concentrações iniciais de açúcares redutores (AR_0) da ordem de 150 e 120 g/L, observou-se que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores de rendimentos em etanol obtidos nos diferentes ensaios realizados ($YP/AR \approx 0,33$ g/g). E ao fermentar mosto com $AR_0 \approx 150$ g/L, a cepa ATCC 26603 apresentou produtividade média em etanol da ordem de 3,70 g/L.h; valor este 32% maior do que a produtividade obtida com a cepa UNIVILLE 9080 na fermentação de mesmo tipo de mosto. Isto permite indicar a linhagem floculante como a mais adequada para esse processo fermentativo.

ABSTRACT

A banana is a second most produced fruit in Brazil, losing only to the orange. In the 2014 harvest, 7.1 Mt of the fruit were harvested in the country, and the state of Santa Catarina appears as the 4th largest Brazilian producer, contributing 10% of the national production. The municipalities of Litoral Norte Catarinense are responsible for 85% of the state production of bananas, concentrating the cultivars Nanica and Nanicão. Considering a quantity of proved residues of the banana culture and its industrialization, more than 27 thousand tons of biomass are rejected annually. From other works that have already been carried out with the purpose of evaluating the energy potential of all this biomass, however, use each residue generated in isolation, the objective of this work is to perform an alcoholic fermentation together of the three residues, the pseudocaule bagasse, bark and pulp, in order to evaluate the influence of high concentrations of sugar in the reducers on the production of ethanol. In addition, it was evaluated the use of discarded sap of pseudocaule for fermentation and, from its physical and chemical characterization, new alternatives of valorization were proposed. To obtain fermentation must, the resulting broths of each of the residues used were mixed and subjected to open evaporation (ambient pressure) for the increase of reducing sugars (AR) up to 150 g/L and (AR) 120 g/L. There are two types of masses: pulp 1 as collaborative pulp in aqueous media, bark broth and pseudocaule broth (F1) and wort 2, containing as substrate or pulp stock crushed in pseudocaule sap, bark broth and broth pseudocaule (F2A) (F2B) (F3A) and (F3B). The fermentations were conducted at 30°C and initial pH of 4.5 in Erlenmeyer flasks with 100 ml working volume and 20% (v/v) inoculum, until the end of RA consumption ($dar/dt = 0$). In characterizing the banana pseudocaule sap, the main compounds identified were propyl acetate, where it is used as flavoring and flavoring agent in the industry and isobutyl acetate that is used in the chemical industry as a solvent for lacquers based on nitrocellulose, cellulose esters and acrylic lacquers. When fermenting the sap (S) in isolation, mean values of $YP/AR = 0.34 \pm 0.04$ g/g and $QP = 1.33 \pm 0.23$ g/L.h were found. Already in the use of the sap as an additional source of carbon in the fermentation wort, it was proved its potentiality, since there was no influence on the productivity and the yield of the fermentation, as well as, it can contribute to the minimization of its environmental impact. In fermentation of different must compositions (with and without pseudocaule sap) by *Sacharomyces cerevisiae* UNIVILLE 9080 (non-flocculant line) and by *S. cerevisiae* ATCC 26603 (flocculant strain), using initial concentrations of reducing sugars (AR0) of the order of 150 and 120 g/L, it was observed that there was no significant difference ($p < 0.05$) between the yield values in ethanol obtained in the different tests performed ($YP/AR \approx 0.33$ g/g). When fermenting must with $AR0 \leq 150$ g/L, the ATCC 26603 strain presented average ethanol productivity of the order of 3.70 g/L.h; This value is 32% higher than the productivity obtained with the strain UNIVILLE 9080 in the fermentation of the same type of must. This allows to indicate the flocculant line as the most suitable for this fermentative process.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Oferta Interna de Energia no Brasil - 2015 (%)	19
Figura 2 – Comparação do uso de energias renováveis da matriz energética brasileira com a Mundial.	20
Figura 3 – Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa.....	22
Figura 4 – Processo de obtenção do etanol de 1ª geração a partir da cana-de-açúcar.	26
Figura 5 – Processo simplificado de obtenção do etanol 2G a partir de biomassa de trigo.	29
Figura 6 – Estrutura do polímero de celulose, celulose cristalina (cor vermelha) e celulose amorfa (cor preta). Princípio e os locais de ação da celulase sobre a glicose liberadora de polímero de celulose são representados.	30
Figura 7 – Estrutura molecular da hemicelulose do tipo glucuronoarabinoxilanas.	31
Figura 8 – Monossacarídeos constituintes das hemiceluloses. D -glucose (1), d-galactose (2), l-arabinose (3), d-xilose (4), d-manose (5), 4- o-metil-d-glucurônico (6) e l-ramnose (7).	31
Figura 9 – Representação esquemática da lignina de eucalipto.	32
Figura 10 – Pré-tratamento esquemático de material lignocelulósico.	37
Figura 11 – Principais frutas produzidas no mundo	41
Figura 12 – Cacho de bananas, cultivar “Nanicão”	42
Figura 13 – Pseudocaule de bananeira.....	43
Figura 14 – Pseudocaule separado em suas camadas de bainha foliar.	50
Figura 15 – Bagaço de pseudocaule de bananeira após prensagem para extração da seiva.	50
Figura 16 – Fluxograma operacional simplificado da obtenção dos diferentes caldos de biomassa residual da bananicultura.	55
Figura 17 – Fluxograma operacional simplificado da etapa de preparo de diferentes mostos compostos por diferentes tipos de caldos de biomassa residual da bananicultura e de sua fermentação por duas diferentes linhagens de <i>S.cerevisiae</i> : micro-organismo A (m.o.A) – Univille 9080; micro-organismo B (m.o.B) – ATCC 26603.	56

Figura 18 – Bagaço de Pseudocaule após secagem (a) e farelo da biomassa após moagem (b).....	59
Figura 19 – Concentração do mosto em banho térmico.....	61
Figura 20 – Modelo de curvas cinéticas representando o consumo de AR (●) e formação de P (▲) e apresentação dos pontos utilizados para as leituras do tempo final de fermentação (t_f) e concentrações iniciais e finais de açúcares (AR_0 e AR_f) e etanol (P_0 e P_f).	65
Figura 21 – Valores médios de açúcares redutores (AR) e acúmulo de etanol (P) no meio de fermentação e respectivas cinéticas de consumo do substrato e formação do produto na fermentação de seiva concentrada de pseudocaule por <i>S. cerevisiae</i> UNIVILLE 9080: Ensaio FS.....	75
Figura 22 – Valores de pH e cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por <i>S. cerevisiae</i> UNIVILLE 9080. Ensaio F1: mosto composto por caldo de polpa de banana madura triturada em meio aquoso, cascas de banana e pseudocaule de bananeira, $AR_0 \approx 150$ g/L.....	77
Figura 23 – Valores de pH e cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por <i>S. cerevisiae</i> UNIVILLE 9080. Ensaio F2A: mosto composto por caldo de polpa de banana madura triturada em seiva de pseudocaule de bananeira (sem água), cascas de banana e pseudocaule, $AR_0 \approx 150$ g/L.....	78
Figura 24 – Cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por <i>S. cerevisiae</i> ATCC 26603. Ensaio F2B: mosto composto por caldo de polpa de banana madura triturada em seiva de pseudocaule de bananeira (sem água), cascas de banana e pseudocaule, $AR_0 \approx 150$ g/L.....	79
Figura 25 – Cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por <i>S. cerevisiae</i> UNIVILLE 9080. Ensaio F3A: mosto composto por caldo de pseudocaule, seiva, polpa e cascas, $AR_0 \approx 120$ g/L.....	80
Figura 26 – Cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por <i>S. cerevisiae</i> ATCC 26603. Ensaio F3B: mosto composto por caldo de pseudocaule, seiva, polpa e cascas, $AR_0 \approx 120$ g/L.....	80
Figura 27 – Fatores de conversão do substrato em produto ($Y_{P/AR}$) e produtividade volumétrica em etanol (Q_P), obtidos nos ensaios de fermentação *F1, F2A, F2B, F3A, F3B e FS. Letras diferentes indicam, pelo teste de Tukey com índice de significância de 0,05, que os resultados são significativamente diferentes e letras iguais indicam que não há diferença significativa entre os resultados.....	82

LISTA DE TABELA E QUADROS

Tabela 1 – Matérias-primas açucaradas e amiláceas com potencial para produção de etanol.	27
Tabela 2 – Composição química de biomassas lignocelulósicas em porcentagem de base seca.	33
Tabela 3 – Composição do mosto de fermentação na proporção 1:2:7.	60
Tabela 4 – Rendimento e eficiência do processo de prensagem do pseudocaule de bananeira adulto (em massa úmida) com diferentes lotes de biomassa coletados (datas de coleta aleatórias).	67
Tabela 5 – Teores de umidade, sólidos totais e cinzas referentes amostras de seivas extraídas de pseudocaule antes da frutificação (Pse jovem) e após a colheita da banana (Pse adulto).	70
Tabela 6 – Compostos identificados por CG-MS nas seivas recém extraídas de pseudocaule "jovem" e "adulto".	71
Tabela 7 – Compostos identificados por Espectroscopia de infravermelho.	73
Tabela 8 – Açúcares em seiva extraída de pseudocaule coletado após colheita de bananas (Pse adulto) e antes da frutificação (Pse jovem), sem concentração (1) e após concentração (2): análise por cromatografia líquida de alta eficiência.	74
Tabela 9 – Tempo de fermentação (tf) e valores médios com respectivo desvio padrão da concentração inicial (AR ₀) e final (AR _f) de açúcares redutores, concentração inicial (P ₀) e final (P _f) de etanol, rendimento (Y _{P/AR}) e produtividade volumétrica (Q _P) dos ensaios de fermentação FS A e FSB (mesmo tipos de caldos, apenas em duplicata).	76
Tabela 10 – Tempo de fermentação (tf) e valores médios com respectivo desvio padrão da concentração inicial (AR ₀) e final (AR _f) de açúcares redutores, concentração inicial (P ₀) e final (P _f) de etanol, rendimento (Y _{P/AR}) e produtividade volumétrica (Q _P) dos ensaios F1, F2A, F2B, F3A e F3B. Letras diferentes indicam, pelo teste de Tukey com índice de significância de 0,05, que os resultados são significativamente diferentes e letras iguais indicam que não há diferença significativa entre os resultados.	81
Tabela 11 – Valores médios de Q _P obtidos por diferentes autores ao fermentar, em processo descontínuo com <i>S. cerevisiae</i> , diferentes tipos de biomassas com variadas concentrações iniciais de açúcar no caldo de fermentação (AR ₀).	85

Quadro 1 –Tipos de pré-tratamento para diferentes biomassas lignocelulósicas.	34
Quadro 2 – Aproveitamento para as fibras do pseudocaulo de bananeira.....	44

LISTA DE ABREVEATURAS E SIMBOLOS

AR – Açúcar redutor

AR₀ – Concentração de açúcar redutor no início da fermentação

AR_f – Concentração de açúcar redutor no fim da fermentação

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CEPA – Centro de Socioeconômica e Planejamento Agrícola

CG-MS – Cromatografia Gasosa com espectro de massa

DNS – Ácido 3 5-dinitrosalicílico

EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina

FTIR- Espectroscopia Infravermelho com transformada de Fourier

GY – Meio de cultivo sintético contendo glicose e extrato de levedura

HPLC – Cromatografia Líquida de Alta Eficiência

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

m/m_s – Massa por massa seca

m/v – Massa por volume

m_p – massa úmida das bainhas foliares do pseudocaule antes da prensagem (kg).

m_s – Massa seca

m_u – Massa úmida

P – concentração de etanol

P₀ – Concentração de etanol no início da fermentação onde P é mínimo

P_f – Concentração de etanol no fim da fermentação onde P é máximo

PIB – Produto Interno Bruto

Pse – Pseudocaule

Q_p – Produtividade em etanol

rpm – Rotações por minuto

R_{máx} – Rendimento máximo que seria obtido se toda a seiva existente no pseudocaule fosse extraída

R_{teórico} = 0,953 L/kg, estimado em função do teor médio de umidade da biomassa, previamente determinado.

S – Concentração de substrato

t_f – Tempo fina

V/V – Volume por volume

V_s – volume de seiva (líquido) extraída (L).

X_0 – Concentração de inicial de micro-organismos

$Y_{AR/ms}$ – Rendimento percentual de açúcares redutores em relação a concentração de biomassa.

$Y_{P/AR}$ – Fator de conversão do substrato em etanol

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 OBJETIVOS	17
1.1 Objetivo geral.....	17
1.2 Objetivos específicos	17
2 REVISÃO DA LITERATURA	19
2.1 Matriz energética brasileira	19
2.2 Energia de biomassa	21
2.3 Biocombustíveis.....	22
2.3.1 Etanol de primeira geração.....	25
2.3.2 Etanol de segunda geração	28
2.3.2.1 Biomassas lignocelulósicas	29
2.3.2.2 Pré-tratamento.....	33
2.3.2.3 Sacarificação	37
2.3.2.4 Fermentação	38
2.3.2.5 Leveduras empregadas na fermentação alcoólica	40
2.3.3 Biomassa da bananicultura	41
2.4 Etanol combustível de biomassa residual da bananicultura	45
3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 Biomassas	49
3.2 Extração e caracterização da seiva de pseudocaule	49
3.2.1 Determinação do rendimento e eficiência do processo de extração	51
3.2.2 Caracterização	52
3.2.2.1 Caracterização física	52
3.2.2.2 Caracterização química.....	54
3.3 Ensaios de Fermentação	54
3.3.1 Obtenção dos caldos para composição do mosto de fermentação	57
3.3.1.1 Caldo da seiva de pseudocaule.....	57
3.3.1.2 Caldo de polpa de banana.....	57

3.3.2	Caldo de cascas de banana	58
3.3.3	Caldo de pseudocaule de bananeira	58
3.3.4	Preparo do mosto de fermentação	60
3.3.5	Preparo do inóculo e manutenção	61
3.3.6	Condução do ensaio	62
3.4	Metodologia analítica	63
3.4.1	Determinação da concentração de açúcares redutores	63
3.4.2	Determinação da concentração de etanol	64
3.5	Construção dos gráficos de cinética do consumo de substrato e formação do produto	64
3.6	Cálculo do rendimento e produtividade dos ensaios de fermentação	65
3.7	Análises estatísticas	66
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1	Análise da seiva do pseudocaule	67
4.1.1	Disponibilidade anual de seiva para aproveitamento	67
4.1.2	Caracterização física da seiva de pseudocaule	70
4.1.3	Caracterização química da seiva de pseudocaule	71
4.1.3.1	Análise por CG-MS	71
4.1.3.2	Análise de FTIR da seiva de pseudocaule	73
4.1.3.3	Caracterização por cromatografia líquida (HPLC)	74
4.2	Ensaio de Fermentação	75
4.2.1	Fermentação da seiva do pseudocaule	75
4.2.2	Fermentação do mosto composto pelos diferentes tipos de biomassas residuais da bananicultura	77
	CONCLUSÃO	87
	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	89
	REFERÊNCIAS	90
	Apêndices	103
	Apêndice 1	104
	Apêndice 2	106
	Apêndice 3	107

INTRODUÇÃO

Em 2009 o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada do Governo Federal (IPEA, 2012) realizou um levantamento sobre a produção anual das principais culturas brasileiras e a quantidade de resíduos vegetais (biomassas) gerados na agroindústria. De um total de 854,7 milhões de toneladas colhidas foi gerado cerca de 290,6 Mt (34%) de biomassas, dentre as quais se destacam o bagaço da cana-de-açúcar, os resíduos da cultura de soja, a palha, o sabugo do milho, e os resíduos da cultura, da laranja, trigo, arroz, feijão, café, coco, uva e da banana. Segundo Cortez *et al.*, (2008), nesses resíduos está uma das principais fontes para gerar energia de biomassa.

A banana é a segunda fruta mais produzida no Brasil, perdendo apenas para a laranja. De acordo com o Centro de Sócioeconomia e Planejamento Agrícola do Governo de Santa Catarina – CEPA, na safra de 2014 foram colhidas 7,1 Mt de fruta no país. O estado catarinense aparece como o 4º maior produtor brasileiro, contribuindo com 10% da produção nacional (CEPA, 2015).

Ainda de acordo com o CEPA, os municípios do Litoral Norte Catarinense são responsáveis por 85% da produção estadual de bananas, concentrando-se os cultivares Nanica e Nanicão. Sete desses municípios situam-se na microrregião de Joinville: Corupá, com 24% da produção estadual, Massaranduba, 8,2%, Jaraguá do Sul, 6,9%, Schroeder, 4,6%, Garuva, 3,8%, Guaramirim, 3,7% e Joinville 3%. Os outros dois municípios, Luiz Alves, com 18,4% da produção catarinense de bananas e São João do Itaperiú, com 5,4%, localizam-se em microrregiões vizinhas.

Considerando a quantidade de resíduos proveniente da cultura da banana e da sua industrialização (4 t de resíduos/t de bananas colhidas), é possível estimar a geração de 2,8 Mt (em massa úmida) de biomassa residual; sendo, 4% de engaços, 12% de folhas, 11% de cascas de banana e 75% de pseudocaule de bananeira (SOUZA *et al.*, 2010). Considerando, ainda, as frutas integrais colhidas e não comercializadas (46 kg de bananas rejeitadas/100 kg de bananas colhida) (EMBRAPA, 2006 *apud* FEDERIZZI, 2008), tem-se mais 27 mil toneladas de biomassa rejeitada.

Desde 2008, o grupo de pesquisa “Valorização de Resíduos e Biomassa” da Univille vem avaliando o potencial energético de toda essa biomassa nos processos de pirólise (FERNANDES, 2013), combustão (MAIA, 2013; PRÁ, 2016) e fermentação

(SOUZA, 2010; SOUZA, 2012; GONÇALVES, 2013; HOPFNER, 2015; SOUZA, 2017; MONTAGNOLI, 2017).

Souza (2015) simulou a produção de etanol a partir desses resíduos utilizando, inicialmente, como única biomassa do mosto de fermentação o pseudocaule de bananeira, ou as cascas, ou a polpa de bananas maduras e, em seguida, o uso do mosto composto por diferentes quantidades desses materiais. A partir de balanço energético, a autora indicou como ideal o uso de mosto composto contendo todos esses três resíduos. Nessa simulação, não foi considerado o aproveitamento da seiva do pseudocaule, a qual tem sido extraída e descartada antes das etapas de tratamento químico do bagaço de pseudocaule de bananeira (biomassa lignocelulósica) para obtenção dos açúcares fermentescíveis, conforme indicado por Gonçalves Filho *et al.* (2013).

Entende-se como biomassa lignocelulósica o material composto por celulose, hemicelulose e lignina, variando a proporção dessa composição de vegetal para vegetal. Para se obter o etanol desse substrato são necessários, basicamente, dois processos distintos: a hidrólise dos polissacarídeos, principalmente da celulose, para obtenção de açúcares fermentescíveis e a conversão destes açúcares, via fermentação alcoólica, em etanol (CTBE, 2013).

O principal objetivo deste trabalho foi realizar a fermentação alcoólica de forma conjunta dos três resíduos indicados por Souza (2015) de maneira a avaliar a influência de altas concentrações de açúcares redutores sobre a produção de etanol.

Além disto, foi avaliado o uso da seiva descartada de pseudocaule como componente adicional ao mosto de fermentação e, a partir da sua caracterização física e química, proposto novas alternativas de valorização.

Cabe destacar que os estudos do aproveitamento desses resíduos, realizados pelo grupo de pesquisa da Univille, foram iniciados a partir do interesse manifestado pelas associações dos municípios catarinenses localizados nas microrregiões do Vale do Itapocu (ANVALI) e do nordeste catarinense (AMUNESC). O objetivo maior das associações é, ainda, a valorização de toda essa biomassa visando agregar valor à cultura da banana.

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo geral

Avaliar diferentes composições do mosto composto por biomassas residuais da bananicultura e analisar a influência de altas concentrações de açúcares redutores na fermentação alcoólica por *Saccharomyces cerevisiae* ATCC 26603 e *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080.

1.2 Objetivos específicos

- Extrair a seiva do pseudocaule conforme indicado por Souza *et al.* (2017), determinar o rendimento do processo de extração e realizar a caracterização física e química do extrato procurando identificar eventuais compostos químicos de interesse comercial.
- Utilizar a seiva extraída como fonte de carbono e avaliar a possibilidade do seu aproveitamento como substrato da fermentação alcoólica
- Realizar a fermentação de diferentes composições de mosto (com e sem a seiva do pseudocaule) por *Sacharomyces cerevisiae* UNIVILLE 9080 (linhagem não floculante), empregando concentrações de açúcares redutores (AR) da ordem de 120 e 150 g/L, determinar os respectivos valores de rendimento ($Y_{P/AR}$) e produtividade volumétrica (Q_P) em etanol e indicar a composição do mosto mais adequada para a processo produtivo.
- Selecionar a composição do mosto fermentado por *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080 que proporcionou maiores valores de Q_P e $Y_{P/AR}$, realizar a sua fermentação por *S. cerevisiae* ATCC 26603 (linhagem floculante, considerada pelo fornecedor como de baixa inibição frente a altas concentrações de substrato e de produto) e determinar os relativos parâmetros cinéticos de Q_P e $Y_{P/AR}$.

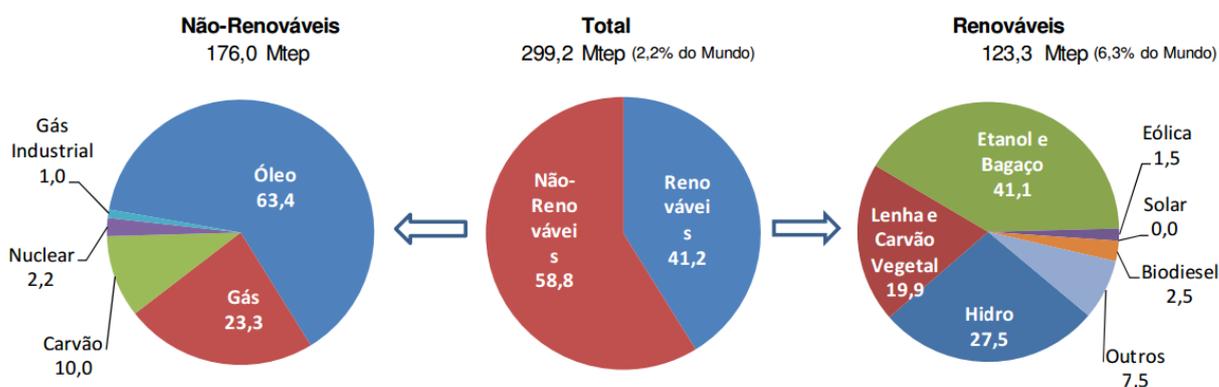
- Indicar, dentro das condições experimentais avaliadas, a linhagem microbiana mais adequada para a produção de etanol e estabelecer se há ou não vantagens do uso de mosto composto (com ou sem seiva) frente a fermentação individual de cada um dos resíduos empregados.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Matriz energética brasileira

A matriz energética brasileira está dividida em energias não renováveis (fontes fósseis) e energias renováveis (energia de fontes alternativas). De acordo com Resenha Energética Brasileira (REB, 2016), em 2015 as fontes renováveis representaram 41,2% do total de energia ofertada no Brasil, ou seja, 299,2 milhões de toneladas de equivalentes de petróleo (Mtep), conforme pode ser observado na Figura 1. Da energia renovável, 41,1% (50,7 Mtep) corresponderam ao etanol e bagaço da cana de açúcar. Entende-se como tep a quantidade de energia presente em diferentes fontes em comparação ao poder calorífico do petróleo. Uma unidade de tep corresponde à energia que se pode obter a partir de uma tonelada de petróleo padrão (ANNEL, 2008).

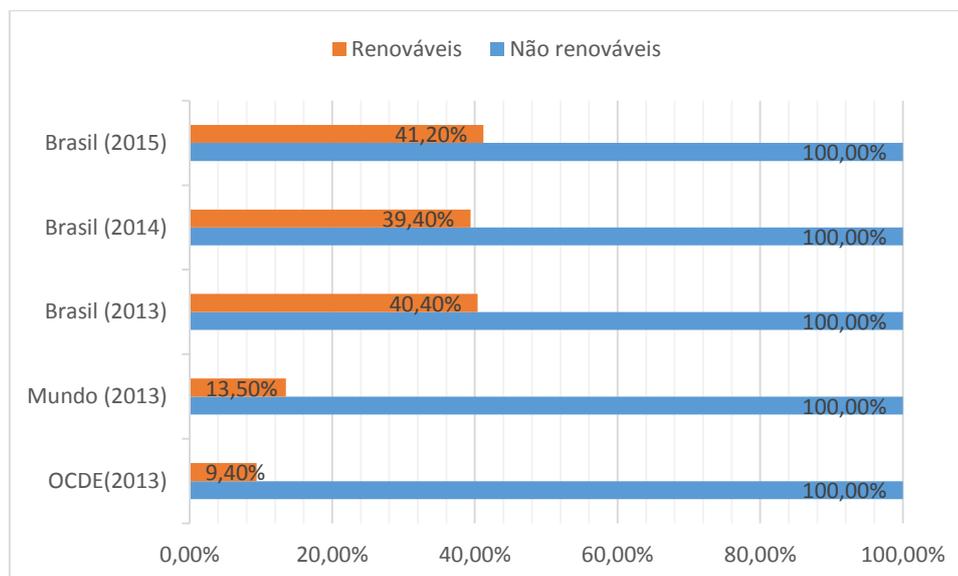
Figura 1 – Oferta Interna de Energia no Brasil - 2015 (%)



Fonte: (REB, 2016)

Segundo a Empresa de pesquisa energética (2016), em 2015, a participação de fontes renováveis na matriz energética brasileira manteve-se entre as mais elevadas do mundo como mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Comparação do uso de energias renováveis da matriz energética brasileira com a Mundial.



Fonte: Adaptado de Balanço energético Nacional (EPE, 2016).

Esse maior consumo percentual de energia renovável no Brasil em relação ao mundo e à OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico - entidade composta por países desenvolvidos com elevado PIB per capita e Índice de Desenvolvimento Humano), vem sendo observado a décadas. Porém, segundo a Associação brasileira das empresas de serviços de conservação de energia (ABESCO)(2015), a partir de 2005, devido ao grande investimento que o país fez em termelétricas, houve um maior crescimento no consumo desse tipo de energia. A partir de 2009, esses investimentos foram diversificados para outras fontes de energia alternativa, tais como, eólica e biomassa.

Conforme Tolmaskim (2012), em 2012 a matriz energética brasileira já era vista como um exemplo para o mundo por possuir forte participação das fontes renováveis de energia como hidráulica, eólica, etanol, biomassa, dentre outros.

2.2 Energia de biomassa

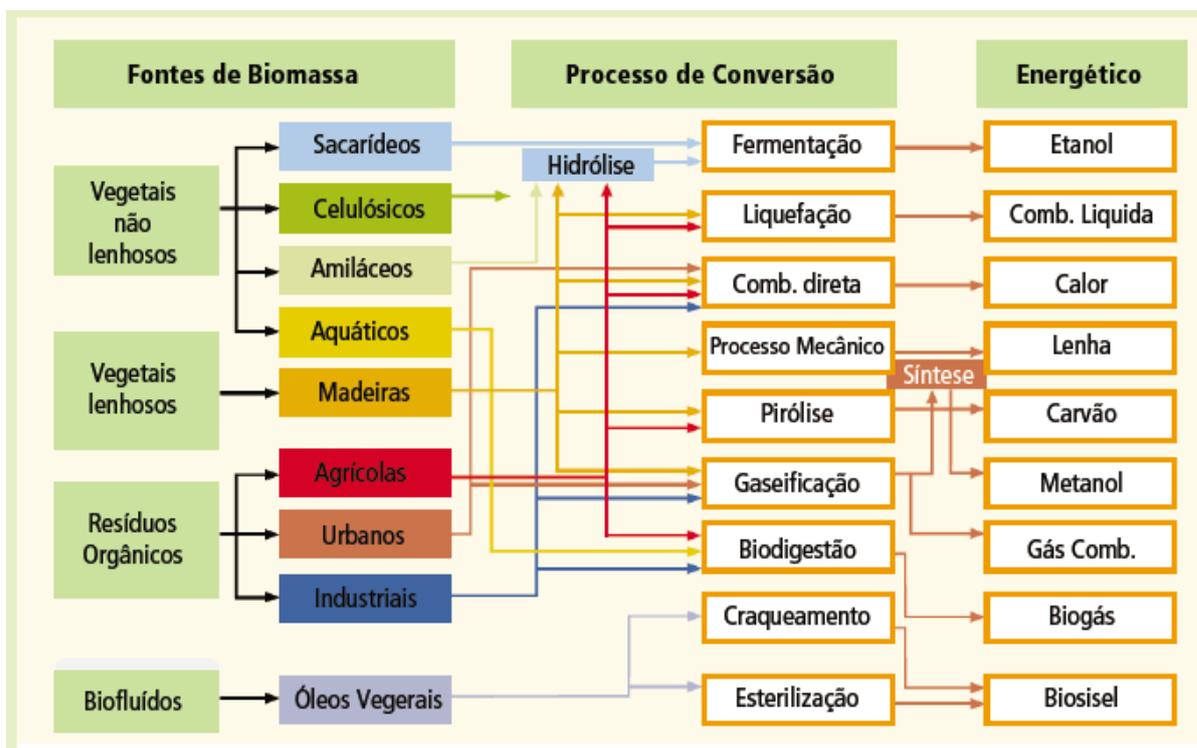
Dentre as fontes de energias renováveis utilizadas na matriz energética brasileira durante o ano de 2016, em torno de 8,9% foi de biomassa (ANEEL,2017).

Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar (LARSON *et al.*, 2001). Segundo Cortez (2008), a origem da biomassa está nos resíduos sólidos urbanos, industriais, florestais e, principalmente, vegetais.

O tipo e quantidade de energia obtida de biomassa dependem tanto da matéria prima utilizada (cujo potencial energético varia de acordo com o tipo de biomassa) quanto da tecnologia de processamento para a sua obtenção (ANEEL, 2008).

O aproveitamento energético da biomassa pode ser feito por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra etc.), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação). Na Figura 3 estão apresentados os principais processos de conversão da biomassa em energia.

Figura 3 – Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa



Fonte: MME, 2007

Segundo Goldemberg (2009) o interesse na energia de biomassa tem dado ênfase em aplicações que produzem combustíveis líquidos para o setor de transportes. Dentre as tecnologias para a conversão da biomassa em biocombustíveis o processo de fermentação vem se destacando pela produção de etanol.

2.3 Biocombustíveis

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustível, (ANP,2017) biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia.

Segundo Gradet (2009), os biocombustíveis, considerados como uma fonte alternativa e renovável de energia e podem contribuir positivamente para o enfrentamento de desafios globais em várias dimensões, como o desenvolvimento

sustentável, a segurança energética, as alterações do clima e o desenvolvimento de zonas rurais.

Existem diversos tipos de biocombustíveis, tais como, bioetanol (etanol combustível), biodiesel, biogás, biomassa para combustão, biometanol, bioéter dimetílico, bio-ETBE (bioéter etil-ter-butílico), bio-MTBE (bioéter metil-tercbutílico), biocombustíveis sintéticos, bio-hidrogênio e gás de síntese. Porém os principais biocombustíveis produzidos no Brasil são o etanol, o biodiesel e o biogás (DUVAL & SANTOS, 2012).

O bioetanol e o biodiesel lideram a lista dos biocombustíveis mais utilizados nos meios de transporte em todo o mundo. Na Europa esta prática é seguida situando-se o consumo de biodiesel em 78,2% e o de bioetanol em 20,9%, segundo dados de 2011 obtidos no Portal Energia (2017).

No Brasil, para a comercialização do etanol como combustível é necessário que o produto atenda às exigências da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustível (ANP, 2016), Regulamento Técnico ANP nº 3/2015. De acordo com essa regulamentação, o teor alcoólico no etanol combustível precisa estar entre 95,1 e 96 ° INPM (unidade de medida equivalente à porcentagem em massa de álcool na mistura). Em relação à massa alcoólica, o produto precisa ter entre 92,5 e 93,8% da massa total do etanol hidratado.

O etanol combustível é utilizado em motores de combustão interna com ignição por centelha (Ciclo Otto) em substituição especialmente à gasolina e em contraponto a outros combustíveis fósseis.

O Brasil é pioneiro na utilização em larga escala de etanol combustível desde o início de 1975 quando o governo lançou o Programa do Álcool, denominado de PROALCOOL. Atualmente, é um dos países que mais utilizam o produto e ainda o segundo maior produtor mundial (ANP, 2016).

Em dezembro de 2017, um novo programa de incentivo à produção de biocombustível foi lançado pelo governo brasileiro. Trata-se RenovaBio, uma política de Estado que objetiva traçar uma estratégia conjunta para reconhecer o papel estratégico de todos os tipos de biocombustíveis na matriz energética brasileira, tanto para a segurança energética quanto para redução de emissões de gases causadores do efeito estufa (MME, 2018). É importante ressaltar que se trata de um programa capaz de promover o aumento do uso de combustíveis renováveis em larga escala,

incentivando seus produtores através de um sistema de crédito por mitigação de poluentes.

O programa será responsável por beneficiar os produtores que retiram o carbono da atmosfera através de práticas de produção de biocombustíveis. Todo esse mercado funcionará através do *CBios* (Créditos de Descarbonização) um instrumento financeiro, registrado sob a forma escritural, para fins de comprovação da meta individual do distribuidor de combustíveis. A definição da quantidade de *CBios* a serem emitidos considerará o volume de biocombustível, produzido ou importado e comercializado pelo emissor primário, observada a respectiva Nota de Eficiência Energético-Ambiental constante do Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis do emissor primário. Informações sobre o emissor primário serão trazidas adiante neste documento (RenovaBio – Nota Explicativa)

Basicamente, os produtores de biocombustíveis terão de cumprir três critérios de elegibilidade para ingressar no programa e ter direito aos *CBios*:

- Toda a produção certificada deve ser oriunda de área sem desmatamento após a data de promulgação da lei do RenovaBio (26 de dezembro de 2017)

- Toda a área deve estar em conformidade com o Código Florestal, por meio da regularização do Cadastro Ambiental Rural (CAR)

- As áreas de produção de cana e palma devem estar em conformidade com os zoneamentos agroecológicos da cana-de-açúcar e da palma-de-óleo, definidos pelos Decretos Federais 6.961 e 7.172, respectivamente. Essa é a configuração que atualmente está em análise pela ANP e que, em breve, será colocada em consulta pública.

O Brasil encontra-se em uma posição favorável no que se refere à produção de etanol combustível, por apresentar vantagens na tecnologia de produção, ter possibilidade de liderança na agricultura de energia e mercado de biocombustíveis sem ampliar área desmatada ou reduzir a área destinada à produção de alimentos e por possuir grande diversidade de matérias-primas em diferentes tipos de biomassas (BEN, 2010).

Na matriz energética brasileira, o etanol representou 5,3%. Em 2015, a produção de etanol ficou em 30,2 milhões de m³, mostrando aumento de 6% sobre a produção de 2014 (REB, 2016).

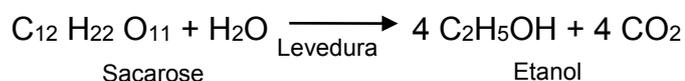
2.3.1 Etanol de primeira geração

Dentre os biocombustíveis, o etanol de caldo de cana-de-açúcar (etanol de primeira geração ou etanol 1G) tem sido favorecido pela abundância de matéria-prima e alto desenvolvimento tecnológico dos processos convencionais (NASTARI 2009).

O etanol é um composto orgânico oxigenado de fórmula química C_2H_5OH , pertencente à função orgânica dos álcoois, sendo utilizado no Brasil como combustível automotivo nas versões:

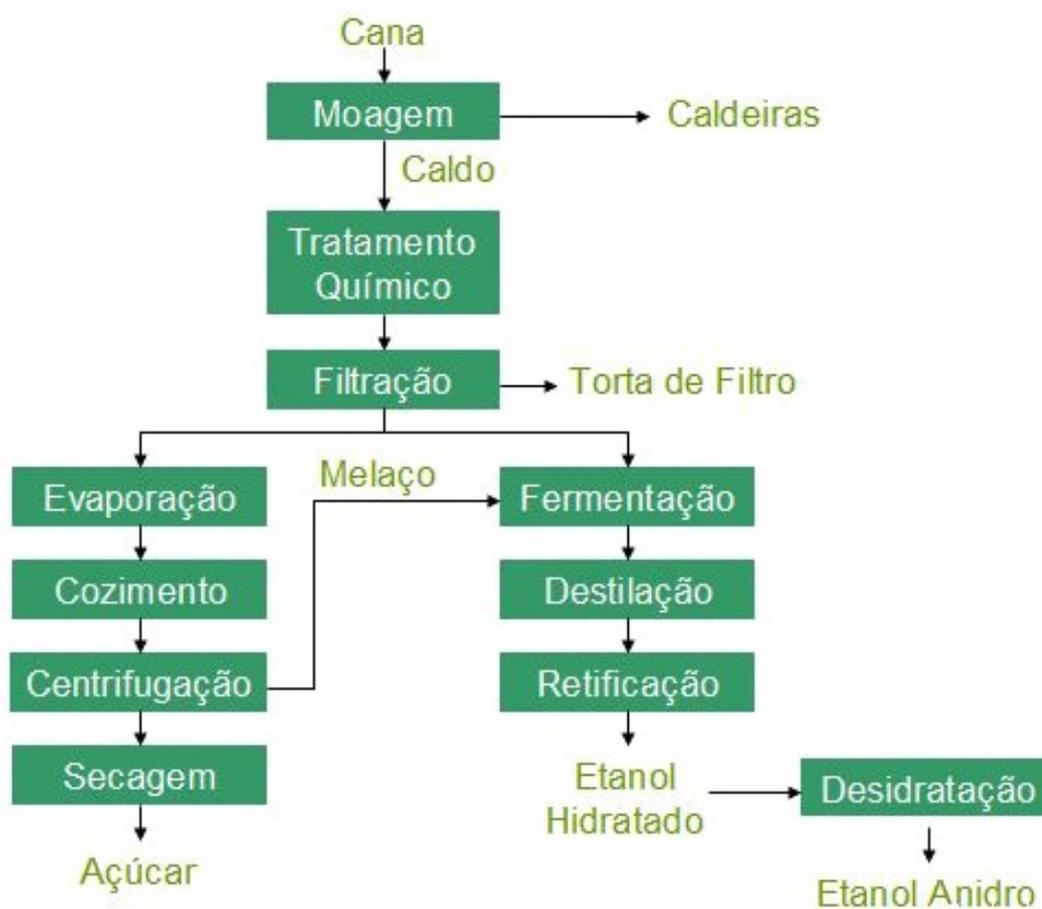
- a) Etanol hidratado: em carros a álcool ou “Flex Fuel”, possui 7% m/m(massa/massa), de água.
- b) Etanol anidro: Adicionado à gasolina na proporção de até 20% m/m possui, no máximo, 0,7% m/m de água.

Segundo Bernardo Neto (2009), a tecnologia de primeira geração para a obtenção de etanol acontece através da fermentação da sacarose obtida do caldo de cana, conforme a seguinte reação química:



Na Figura 4 pode-se observar a sequência de processos para a obtenção do etanol proveniente da cana.

Figura 4 – Processo de obtenção do etanol de 1ª geração a partir da cana-de-açúcar.



Fonte: SEABRA (2008).

Ainda segundo Bernardo Neto (2009), esse processo possui um rendimento de aproximadamente 30% de toda a energia contida na cana-de-açúcar, devido ao aproveitamento apenas da sacarose contida na mesma.

Devido à sua produtividade agrícola em diferentes regiões do país em função da quantidade de carboidratos fermentáveis disponível, outras culturas, além da cana-de-açúcar, são indicadas como potenciais substratos para produção de etanol no Brasil (Tabela 1).

Tabela 1 – Matérias-primas açucaradas e amiláceas com potencial para produção de etanol.

Matéria Prima	Carboidratos totais (%)	Produtividade agrícola (t/ha)	Produtividade carboidrato (t/ha)	Potencialidade em etanol (m ³ /ha)
Araruta	28,9	12	3,5	2,5
Batata	12	20	2,4	1,6
Batata-doce	26,1	17	4,4	3,2
Beterraba	15	15	2,2	1,6
Cana-de-açúcar	12-17	77	9,2-13	6,0-9,0 ⁽¹⁾
Inhame	26,8	25	6,7	4,8
Mandioca	34	13,5	6,8	4,9
Milho	66	3,5	2,3	1,6
Sorgo	67	2,3	1,6	1,1
Trigo	65	2,3	1,5	1,1

Fonte: MACHADO e ABREL, 2006

Deve-se ter em mente que a potencialidade em etanol conforme a Tabela 1 não deve ser o único parâmetro adotado para a escolha de uma matéria-prima ideal para a produção de etanol. Atenção especial deve ser dada ao custo final do produto, o qual dependerá do processo produtivo, cultivo, transporte e armazenamento da matéria-prima, além de aspectos ambientais e sociais (MACHADO e ABREL, 2006).

Um aspecto ambiental e econômico importante na produção de etanol de acordo com Pacheco (2011), é a competição pelo uso da terra para a geração de energia e produção de alimentos, especialmente em locais que não dispõem de clima favorável ou extensão territorial para o cultivo da matéria prima.

Conforme Figuerut *et al.*, (2008, *apud* HOPFNER, 2015), no mundo todo, usam-se muitas matérias-primas amiláceas como milho, trigo, cevada, mandioca, arroz, etc. Embora o amido seja um polissacarídeo de glicose, tem, no processo industrial, a desvantagem de necessitar de uma hidrólise previa para obtenção do açúcar, pois a

imensa maioria dos organismos industrialmente usados na fermentação alcoólica não conseguem converter significativamente o amido em álcool. Ao etanol proveniente desse processo tem sido utilizado, também, o nome de etanol de primeira geração, mesmo necessitando, normalmente, de pré-tratamento para obtenção dos açúcares fermentescíveis.

2.3.2 Etanol de segunda geração

O objetivo da tecnologia de 2ª geração (2G) é realizar a produção de etanol a partir da biomassa, material vegetal que é formado pela celulose, pela hemicelulose e pela lignina. Esta matéria prima pode ser originada dos resíduos agroflorestais ou por cultivos energéticos, os quais são especialmente cultivados para este fim, como o caso da cana-de-açúcar, do sorgo sacaríneo, do milho entre outros (LEITE & LEAL, 2007). Usa-se como sinônimo desse produto, o nome de bioetanol, porém o etanol 1G também não deixa de ser.

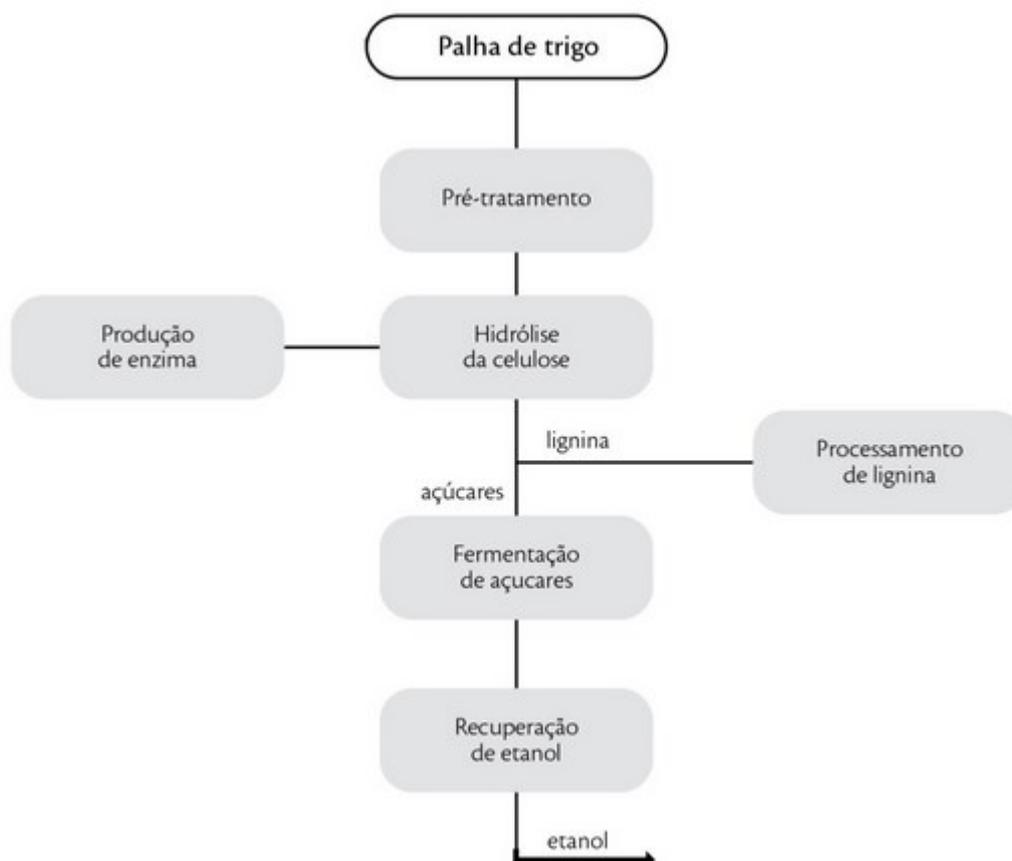
A conversão de material lignocelulósico em açúcares fermentescíveis para produção de etanol 2G vem sendo considerada como uma alternativa promissora para aumentar a produção de etanol necessária para atender a demanda mundial (SILVA, 2010).

Segundo Macedo *et al.*, (2008) o seu sucesso poderia transformar o etanol em um biocombustível passível de ser produzido em quase todas as regiões do mundo, aproveitando a alta disponibilidade de resíduos orgânicos de diversas fontes. Conforme o autor, todos os resíduos de biomassa, produzidos nas atividades agrícolas e industriais, e mesmo o lixo urbano, apresentam elevados teores de materiais lignocelulósicos.

Para se obter o etanol de biomassa lignocelulósica são necessários, basicamente, dois processos distintos: a hidrólise dos polissacarídeos, principalmente da celulose e hemicelulose presente na biomassa, para obtenção de açúcares fermentescíveis e a conversão destes açúcares, via fermentação alcoólica, em etanol (CTBE, 2013).

As etapas operacionais comumente empregadas para a conversão de biomassa lignocelulósica em etanol podem ser observadas na Figura 5.

Figura 5 – Processo simplificado de obtenção do etanol 2G a partir de biomassa de trigo.



Fonte: NovaCana (2018).

2.3.2.1 Biomassas lignocelulósicas

O termo lignocelulósica refere-se à estrutura da parte dos vegetais que constitui a parede celular formada por fibras elementares de celulose envolvidas em uma matriz amorfa composta de polioses (hemicelulose) e lignina. Essa matriz no qual a fibra celulósica está envolvida (lignina) constitui uma barreira para o ataque de microorganismos e enzimas, tornando um material pouco reativo e bastante rígido (GROSSI, 2015).

De forma simplificada, conforme Saha (2003), o material lignocelulósico é constituído por três componentes principais: celulose (35-50%), hemicelulose (20-35%) e lignina (10- 25%).

A celulose (Figura 6) é o principal polissacarídeo da parede celular das plantas. É um polímero insolúvel em água composto de unidades repetidas de β -D-

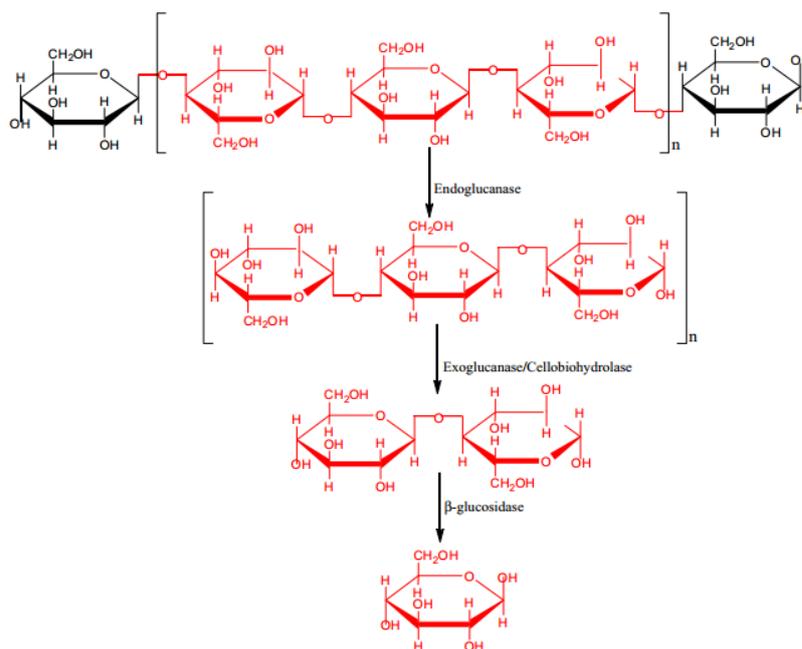
glucopiranosose interligada por ligações glicosídicas β -1,4 (HEREDIA E GUILLÉN (1995 *apud* JUTURO E WU, 2014).

Esta unidade repetitiva, conhecida como celobiose, contém seis grupos hidroxila que estabelecem interações do tipo ligações hidrogênio intra e intermolecular. Devido a essas ligações hidrogênio há uma forte tendência da celulose formar regiões cristalinas que a tornam completamente insolúvel em água e na maioria dos solventes orgânicos. O grau de cristalinidade da celulose varia de acordo com sua origem e processamento (SILVA *et al.*, 2009).

A proporção da região cristalina da celulose é normalmente expressa em porcentagem (Índice de Cristalinidade) (PITARELO, 2012).

Na celulose também são encontradas algumas regiões amorfas onde são mais facilmente degradadas por enzimas (TAIZ e ZEIGER, 2006).

Figura 6 – Estrutura do polímero de celulose, celulose cristalina (cor vermelha) e celulose amorfa (cor preta). Princípio e os locais de ação da celulase sobre a glicose liberadora de polímero de celulose são representados.

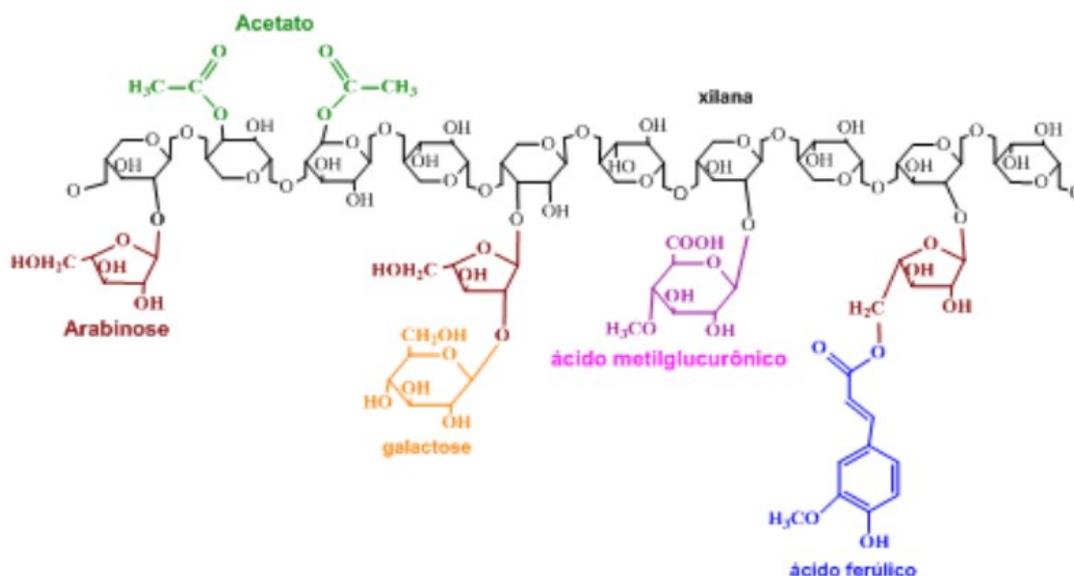


Fonte: Juturu e Wu (2014)

A hemicelulose é constituída por pequenas cadeias altamente ramificadas de vários açúcares, principalmente xilose (uma pentose ou açúcar C₅), arabinose (C₅), galactose (C₆), glicose (C₆) e manose (C₆), conforme mostrado nas Figura 7 e 8. Ela também contém pequenas quantidades de compostos diferentes dos açúcares, como

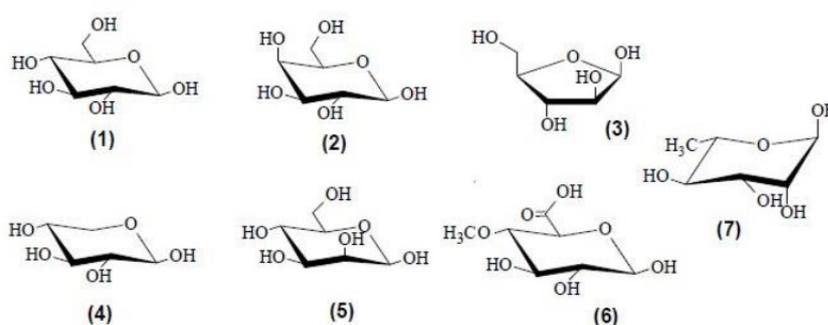
os do grupo acetil, o que a torna relativamente fácil de hidrolisar devido a sua natureza amorfa e ramificada (LYND *et al.*, 1999).

Figura 7 – Estrutura molecular da hemicelulose do tipo glucuronoarabinoxilanas.



Fonte: Aro *et al.*, 2005.

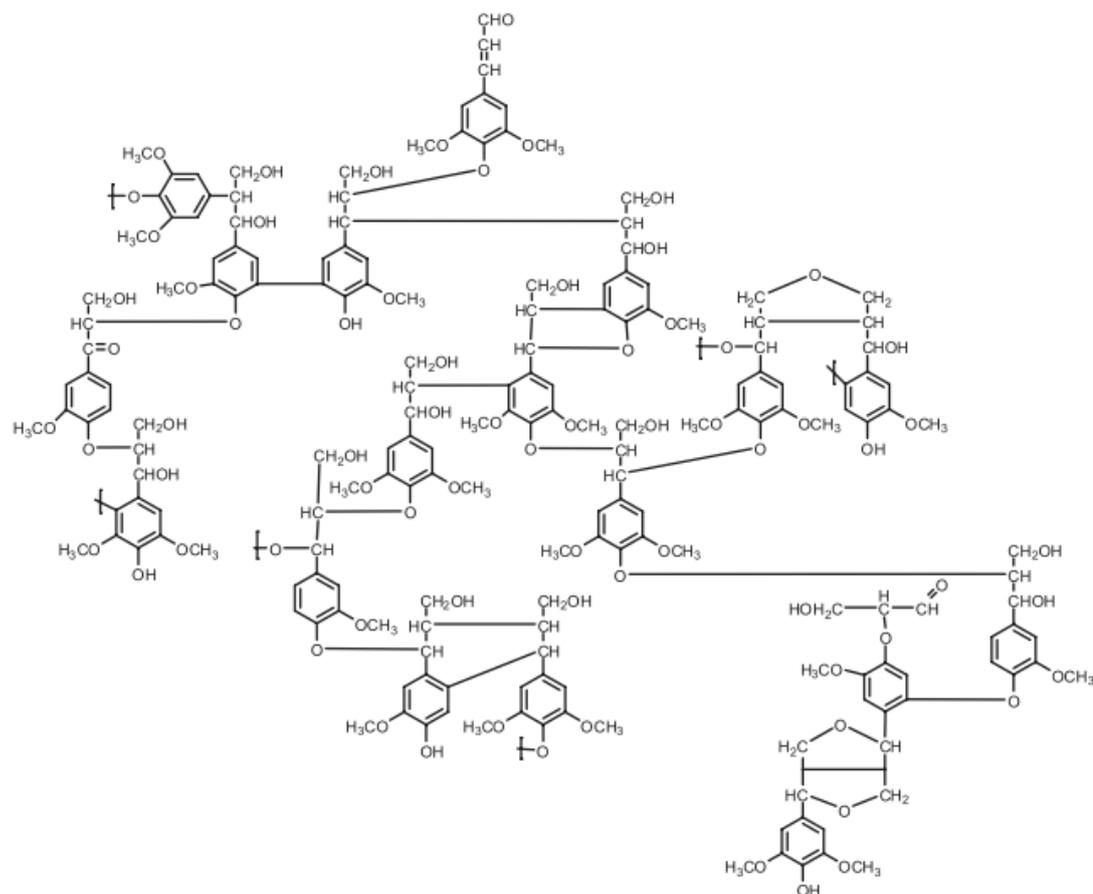
Figura 8 – Monossacarídeos constituintes das hemiceluloses. D -glucose (1), d-galactose (2), l-arabinose (3), d-xilose (4), d-manose (5), 4- o-metil-d-glucurônico (6) e l-ramnose (7).



Fonte: SJÖSTRÖM & WESTERNARK (1999 *apud* PITARELO, 2013).

O terceiro constituinte, lignina (Figura 9) é um material hidrofóbico com estrutura tridimensional, altamente ramificada, podendo ser classificada como um polifenol, o qual é constituído por um arranjo irregular de várias unidades de fenilpropano que podem conter grupos hidroxila e metoxila como substituintes no grupo fenil (SILVA *et al.*, 2009).

Figura 9 – Representação esquemática da lignina de eucalipto.



Fonte: Santos *et al.*, 2011

Dependendo do tipo de vegetal, a biomassa lignocelulósica pode apresentar diferentes proporções de celulose, hemicelulose e lignina, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Composição química de biomassas lignocelulósicas em porcentagem de base seca.

Biomassa	% Celulose	%Hemicelulose	% Lignina
Palha de cana	40-44	30-32	22-25
Bagaço de cana	32-48	19-24	23-32
Madeira dura	43-47	25-35	16-24
Madeira mole	40-44	25-29	25-31
Talo de milho	35	25	35
Espiga de milho	45	35	15
Algodão	95	2	0,3
Palha de trigo	30	50	15
Sisal	73,1	14,2	11
Palha de arroz	43,3	26,4	16,3
Ferragem de milho	38-40	28	007-21
Fibra de coco	36-43	0,15-0,25	41-45
Fibra de bananeira	60-65	6-8	5-10
Palha de cevada	31-45	27-38	14-19
Pseudocaule de bananeira	38-39	28-29	8-9
Cascas de bananeira	13,2	14,8	14

Fonte: Adaptado de Santos *et al.*, 2012.

2.3.2.2 Pré-tratamento

O pré-tratamento da biomassa, pode ser do tipo físico, químico ou combinado. No Quadro 1 podem ser observados alguns tipos de pré-tratamentos propostos por vários autores que utilizaram diferentes tipos de biomassas.

Quadro 1 –Tipos de pré-tratamento para diferentes biomassas lignocelulósicas.

Biomassa	Processo	Fonte
Físico		
Palha de arroz	Moagem (seca ou úmida)	HIDENO <i>et al.</i> , 2009
Farelo de Mandioca	Explosão de Vapor	SAITO & CABELLO, 2006
Químico		
Palha e casca de arroz	Hidrólise ácida	FURLAN, 2009
Resíduos de algodão	Hidrólise alcalina	GUEDES, 2012
Palha de milho	Organosolvente	ZHU <i>et al.</i> , 2009
Farelo de milho	Biológicos	KELLER <i>et al.</i> , 2003
Combinados		
Madeira (<i>Picea abies Karst</i>)	Explosão de vapor catalisada	GUO, <i>et al.</i> 2015
Bagaço de Cana de açúcar	Afex (Expansão da fibra por amônia)	KRISHNAN <i>et al.</i> , 2010

A redução do tamanho das partículas da biomassa seca através da trituração ou moagem possibilita um maior aumento na performance da hidrólise, tanto ácida quanto enzimática. Com a cominuição, ocorre um aumento da área superficial da biomassa e, com isto, favorece o contato enzima-substrato no meio reacional. Em alguns casos, a cominuição da biomassa contribui diretamente para a redução do grau de polimerização e cristalinidade da celulose (SOUSA *et al.*, 2009, FAN *et al.*, 1981), conforme demonstrou Souza *et al.*, (2017) com a moagem de pseudocaule de bananeira.

A cominuição da biomassa favorece a homogeneização do meio reacional conforme demonstrado por Cinelli (2012) e Souza *et al.*, (2017).

Devido a moagem ser considerada como o primeiro passo do pré-tratamento (SUN e CHENG 2002), MOOD *et al.*, (2013) destacam a importância desse processo como facilitador de outros pré-tratamentos que podem ser utilizados antes da hidrólise enzimática, como a explosão de vapor, a auto-hidrólise e os pré-tratamentos químicos.

Liebl (2015) demonstrou que com a secagem da biomassa ocorre o destacamento de pequenos fragmentos e microfibrilas da estrutura do material e com isso a formação de poros e aumento da rugosidade em toda a superfície, o que pode

contribuir para as etapas subsequentes de pré-tratamento químico e hidrólise enzimática.

Souza *et al.*, (2017) demonstrou que ao submeter a biomassa previamente seca e moída ao pré-tratamento químico com solução ácida diluída possibilitou uma maior penetração do ácido na estrutura terciária do material (empacotamento cristalino das entidades supramoleculares) e, com isto, um aumento da eficiência da hidrólise ácida no rompimento das ligações intermoleculares entre celulose, hemicelulose e lignina. Desse modo, a celulose e hemicelulose ficaram mais suscetíveis à ação das enzimas utilizadas na etapa posterior (hidrólise enzimática) o que resultou em maior liberação de unidades de açúcares redutores por unidade de massa seca de biomassa.

A explosão de vapor é uma das tecnologias de pré-tratamentos que tem sido aplicada com sucesso a diversos tipos de biomassa celulósica (madeiras macias e duras, além de resíduos agrícolas), atua tanto química como fisicamente na estrutura do material lignocelulósico (SUN e CHENG 2002; OGEDA e PETRI, 2010). A técnica está baseada no contato direto da biomassa com vapor saturado à alta pressão por um determinado tempo de residência no reator, seguido de descompressão rápida à condição atmosférica (explosão).

Segundo Pitarelo (2012), ao longo da fase de compressão as ligações químicas que mantêm os componentes macromoleculares dos vegetais fortemente associados são, em parte, quebradas. Com isto, no momento da descompressão, o material é desfibrado com facilidade e assim reduzido a partículas menores, aumentando a área superficial de contato e diminuindo a resistência da parede celular à sacarificação.

Entende-se como auto-hidrólise, o processo de pré-tratamento térmico no qual se faz uso de soluções hidrotrópicas (soluções aquosas salinas) para o aumento da solubilidade de substâncias fracamente solúveis em água pura, como por exemplo a lignina (ANDELIN *et al.*, 1989 *apud* KORPINEN e FARDIM 2009).

O pré-tratamento químico da biomassa lignocelulósica é tido como um processo essencial para a produção de bioetanol a partir de biomassa lignocelulósica, pois colabora na geração de açúcares (degradação da hemicelulose) e facilita a ação enzimática para a sacarificação da celulose (TOQUERO e BOLADO, 2014, TYE *et al.*, 2016).

O objetivo do pré-tratamento químico é preparar os materiais lignocelulósicos ou amiláceos da melhor forma possível para o processo de hidrólise enzimática.

Devido ao custo da matéria-prima, os pré-tratamentos de biomassas vegetais com ácidos diluídos ou álcalis, têm sido indicados como os mais adequados para uso em larga escala (SIMS *et al.*, 2010, BEHERA *et al.*, 2014).

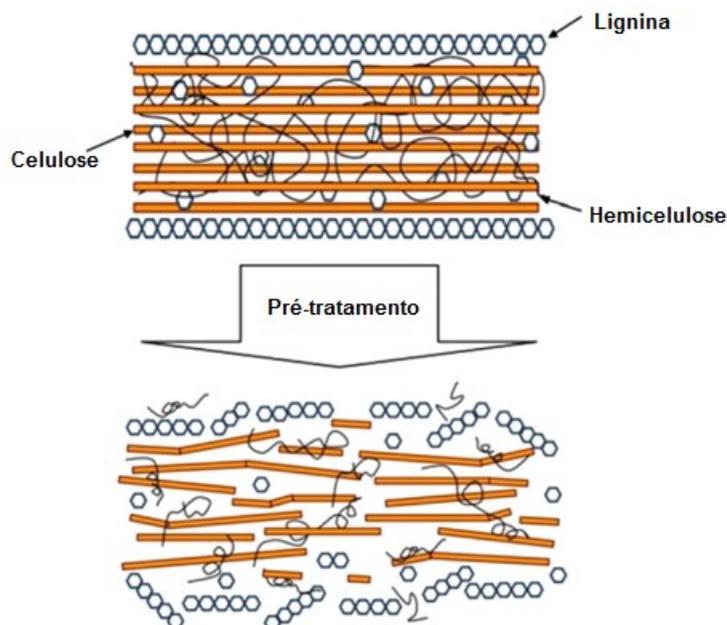
O pré-tratamento ácido é utilizado em duas abordagens: uma com ácido concentrado, onde se emprega baixa temperatura, e outra com ácido diluído, onde utilizam-se altas temperaturas (GÍRIO *et al.*, 2010).

O uso de ácido diluído é mais indicado, devido a utilização do ácido concentrado apresentar maior toxicidade, alta corrosividade dos equipamentos e a consequente degradação da lignina e da hemicelulose produzindo inibidores de fermentação como os compostos fenólicos e ácido acético. Principais inconvenientes que impedem a aplicação generalizada deste método (MOOD *et al.*, 2013; ADITIYA *et al.*, 2016).

Durante a hidrólise ácida a parede celular dos materiais lignocelulósicos (barreira física) é rompida, o teor de lignina e hemicelulose são reduzidos com consequente redução da cristalinidade da celulose e aumento no rendimento de conversão deste carboidrato em glicose (SOUZA *et al.*, 2017). Na Figura 10 é possível observar o efeito da hidrólise ácida sobre a estrutura lignina-celulose-hemicelulose.

Em trabalho recente, Souza *et al.* (2017) estudaram a sacarificação de grânulos de pseudocaule de bananeira previamente submetidos ao tratamento ácido (H_2SO_4 2%) ou alcalino (NaOH 3%) e observaram que as amostras submetidas ao pré-tratamento ácido proporcionaram rendimentos em açúcares redutores da ordem de 40% maiores do que a alcalina, com base na massa seca da biomassa sacarificada. A partir dos resultados obtidos, os autores indicaram o pré-tratamento ácido como o mais recomendado para a obtenção de açúcares fermentescíveis

Figura 10 – Pré-tratamento esquemático de material lignocelulósico.



Fonte: MOOD *et al.* (2013)

2.3.2.3 Sacarificação

A sacarificação ou hidrólise enzimática é a etapa na qual ocorre a maior liberação de açúcares fermentescíveis, tanto pela despolimerização da celulose quanto da hemicelulose nos seus principais monômeros de glicose e xilose, respectivamente (TAHERZADEH, 2004, *apud* SOUZA *et al.*, 2017).

A hidrólise enzimática utiliza como catalisador, enzimas chamadas de celulasas e hemicelulasas e o resultado deste processo são açúcares redutores, incluindo a glicose. Outra característica deste processo são as condições brandas (pH 4,5-5,0) e temperatura 40-50°C), o que reduz problemas de corrosão e apresenta baixa toxicidade dos hidrolisados, diminuindo o custo do empreendimento, bem como o custo de manutenção, quando comparado com a hidrólise química como agente de sacarificação (TAHERZADEH e KARIMI, 2007)

De acordo com Beng *et al.*, (2004), as enzimas são catalisadoras de reações químicas e são extremamente específicas na escolha do substrato. Quase todas as enzimas conhecidas são proteínas. A catálise ocorre em um local particular, chamado de centro ativo, ponto ativo ou ainda sítio ativo. Por forças intermoleculares, as

Celulases podem ser produzidas por fungos e bactérias aeróbicas; entretanto fungos filamentosos são mais utilizados para isto (CHANG, 2007; PANDEY *et al.*, 2000). Celulases são um complexo enzimático formado por três grupos de enzimas que atuam juntas sobre a celulose: as endoglucanases (atuam nas regiões internas da celulose), celobio-hidrolases (agem nas pontas redutoras e não redutoras formadas pelas endoglucanases) e β -glicosidase (age nas unidades de celo-oligossacarídeos e celobiose que são liberadas pelas celobio-hidrolases (ESTERBAUER *et al.*, 1991).

A eficiência da hidrólise enzimática de biomassa lignocelulósica pode ser aumentada pela combinação de enzimas celulolítica e hemicelulases e não apenas de celulases (ZHONG *et al.*, 2009). As hemicelulases são formadas por enzimas específicas, como as xilanases (mais abundante) ou manases, que são responsáveis pela hidrólise da hemicelulose (KIM *et al.*, 2002).

2.3.2.4 Fermentação

A conversão de carboidratos em etanol, pela ação de micro-organismos específicos, principalmente leveduras é chamada de fermentação alcoólica. A fermentação é um processo que libera energia de açúcares ou moléculas orgânicas. A fermentação alcoólica é um processo de baixo rendimento energético porque a maioria da energia contida na molécula de glicose original permanece no etanol, o produto final. O etanol e o dióxido de carbono produzidos por leveduras *Saccharomyces* são resíduos para as células leveduriformes mas são úteis para os humanos (TORTORA *et al.*, 2000)

Essa transformação pode ser expressa do ponto de vista estequiométrico e de maneira global, pela seguinte reação química.



O rendimento teórico ($Y_{P/S}$) para a produção de etanol é de 0,511 gramas de etanol/grama de açúcares redutores (AR) consumidos (DARÉ, 2008). Esse valor é chamado de coeficiente de Gay-Lussac e representa um dado básico para utilizado

para determinar a eficiência percentual da fermentação através da sua relação com o rendimento real (MACHADO, 1999).

Segundo Silva *et al.* (2008), a fermentação alcoólica inicia-se após a adição do fermento no mosto (líquido açucarado). Num primeiro momento, os micro-organismos passam por uma fase de adaptação ao ambiente no qual são submetidos e começam se multiplicar. A segunda fase é caracterizada, pelo grande aumento de micro-organismos e liberação de gás carbônico. Nesta fase é que haverá o aumento da temperatura e do teor alcoólico. Na última fase, o açúcar fermentescível entra em escassez e a velocidade de crescimento das leveduras diminui, com consequente diminuição de gás carbônico e precipitação do fermento. No final da fermentação o produto obtido, conhecido industrialmente como vinho bruto, poderá apresentar teores alcoólicos que podem alcançar valores da ordem de até 8% (v/v) (8-12% em processos industriais consolidados). Durante a fermentação, além do crescimento microbiano, outros produtos podem ser formados, dentre eles o glicerol e ácidos orgânicos, principalmente acético e succínico, além de outros alcoóis.

A principal rota metabólica envolvida na fermentação alcoólica de leveduras é a glicólise (rota Embden-Meyerhof-Parnas ou EMP), através da qual uma molécula de glicose é oxidada e duas moléculas de piruvato são produzidas (MADIGAN *et al.*, 2000).

A oxidação do piruvato é feita no interior da mitocôndria, nas células que dispõem desta organela. Na mitocôndria, o piruvato é, portanto, totalmente oxidado a CO₂, com concomitante produção de grande quantidade de (H⁺ + e), que são recebidos por coenzimas (MARZZOCO E TORRES, 1990).

Os produtos finais da metabolização do açúcar irão depender das condições ambientais em que a levedura se encontra. Assim, enquanto uma porção do açúcar é transformada em células, CO₂ e H₂O em aerobiose, a maior parte é convertida em etanol e CO₂ em anaerobiose, processo denominado fermentação alcoólica (LIMA *et al.*, 2001).

Diversos fatores afetam a fermentação, tendo como consequência principal o rendimento da fermentação e a produtividade do processo. Lima (2001) cita os principais fatores: agentes de fermentação, nutrientes minerais e orgânicos, temperatura, pH, inibidores de fermentação, concentração de açúcares, concentração de inóculo, contaminação bacteriana, antissépticos, antibióticos.

Após a fermentação, o mosto é normalmente centrifugado para remoção dos sólidos suspensos (biomassa microbiana e resíduos remanescentes das etapas anteriores) e conduzido às unidades de destilação para obtenção do etanol combustível ou bioetanol.

2.3.2.5 Leveduras empregadas na fermentação alcoólica

No Brasil o processo para obtenção do álcool etílico é realizado, principalmente, através da fermentação por leveduras, sendo a *Saccharomyces cerevisiae* a espécie de maior uso pelas indústrias sucroalcooleiras.

As leveduras do gênero *Sacchaormyces* são conhecidas como boas “produtoras de etanol” devido a sua capacidade fermentativa e alta tolerância ao etanol (KNAUF e KRAUS, 2006). De acordo com Zabed *et al.* (2017) *S. cerevisiae* tem se mostrado adequada para fermentar mostos ricos em hexoses como glicose, manose e galactose ou em dímeros como sacarose e maltose. Possui boa tolerância relativa a inibidores e à pressão osmótica, alto rendimento em etanol (maior 45%) e alta velocidade específica de produção (maior que 1,3 g de etanol por grama de célula por hora).

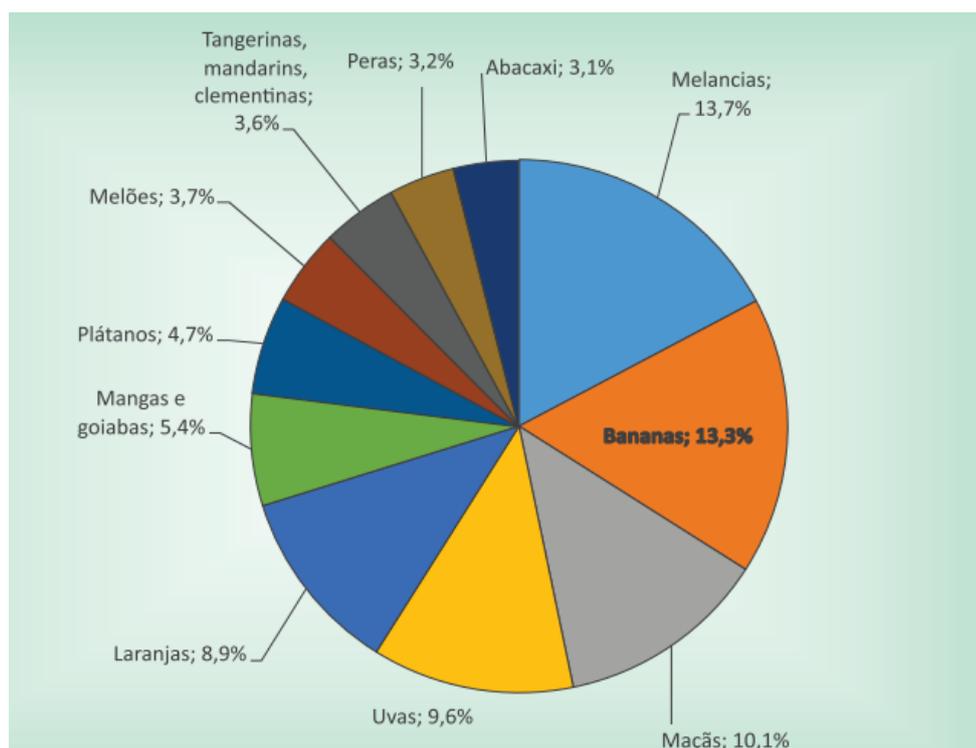
Conforme Chandel *et al.* (2011), *S. cerevisiae* não tem a capacidade natural de fermentar açúcares de cinco carbonos como xilose e arabinose, principais pentoses resultantes da hidrólise da hemicelulose.

As espécies de leveduras naturais identificadas como as mais promissoras para a fermentação de pentoses têm sido *Scheffersomyces stipitis* (*Pichia stipitis*), *Candida shehatae* e *Pachysolen tannophilus* (ABBI *et al.*, 1996 *apud* KUHAD, 2011). Dentre eles, *S. stipitis* tem se destacado por apresentar maior rendimento em etanol a partir da xilose (AGBOGBO e COWARD KELLY, 2008 *apud* LIN *et al.*, 2012).

2.3.3 Biomassa da bananicultura

A banana é a segunda fruta mais consumida no mundo (Figura 11), atrás apenas da melancia, segundo dados da FAO (2013).

Figura 11 – Principais frutas produzidas no mundo



Fonte: FAO (2013).

O consumo de banana no mundo é de 13,3% do total na fruticultura mundial (CEPA 2015-2016).

O Brasil é o quarto maior produtor mundial de banana e a produção está distribuída por todo território nacional participando com significativa importância na economia de diversos estados brasileiros. Os quatro principais estados produtores da fruta são: Bahia, São Paulo, Minas Gerais e Santa Catarina (CEPA 2015-2016).

Em relação a quantidade produzida, o estado de Santa Catarina é classificado como o 4º maior produtor do Brasil com uma produção anual de 721.599 toneladas o que corresponde a 10,67% da produção do país (CEPA 2015-2016). Em Santa Catarina, a bananeira é uma das principais árvores frutíferas cultivadas, ficando atrás

apenas da cultura da maçã. Segundo dados EPAGRI/CEPA (2015), nas safras de 2014/2015 a banana correspondeu a 48,52% da produção agrícola de Santa Catarina.

A espécie de bananeira *Musa cavendish* ilustrada na Figura 12, produtora da banana caturra, nanica ou nanicão é a mais cultivada da região Norte catarinense, microrregião (MRG) de Joinville, e na mesorregião (MSG) do Vale do Itajaí (MRG de Blumenau e MRG de Itajaí) com uma área de produção de 19,5 mil hectares, que produziu mais de 590 mil toneladas no ano de 2012 (EPAGRI/CEPA, 2013). Na safra 2014/15, a banana-nanica representou 42% da produção estadual de frutas.

Figura 12 – Cacho de bananas, cultivar “Nanicão”



Fonte: EPAGRI, (2017).

Ainda de acordo com a Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina - 2015-2016 (CEPA, 2015-2016), a bananicultura catarinense conta com 3.678 produtores presentes em 74 municípios do Estado.

Após a colheita da banana, três principais tipos de resíduos vegetais são gerados no campo: pseudocaule, folhas e engaço. Com a industrialização da fruta, dois novos resíduos são produzidos: rejeitos de frutas de má qualidade para consumo humano e descarte de cascas devido ao beneficiamento da polpa (GONÇALVES FILHO, 2010). Normalmente com exceção às bananas rejeitadas e uma parte das cascas que são destinadas à alimentação de suínos, esses resíduos permanecem no

local onde são gerados ou são no caso de frutas integrais e cascas, enviadas para aterros sanitários.

Segundo Silva *et al.* (2009 *apud* IPEA, 2012), a exploração agroindustrial das atividades vinculadas à produção e industrialização da banana traz como consequência a geração de grandes quantidades de resíduos, um problema para o meio ambiente e para os responsáveis envolvidos neste processo. A prospecção é de que a produção de resíduos situe-se em torno de 50% para a banana (incluindo casca e engaço).

Para cada tonelada de banana industrializada, são gerados, aproximadamente, 4 t de resíduos lignocelulósicos (3 t de pseudocaule, 160 kg de engaço, 480 kg de folhas e 440 kg de cascas) (FEDERIZZI, 2008). Dados da EMBRAPA, 2006 (*apud* FEDERIZZI, 2008) mostram que, de cada 100 kg de frutas colhidas, 46 kg foram rejeitados. É possível estimar, com base na safra de 2014, a geração de 2,8 milhões de biomassa residual por ano (polpa + cascas + pseudocaule) no estado catarinense.

O pseudocaule de bananeira (Figura 13), em função da grande quantidade em que é gerado (3 t de biomassa úmida/ t de banana colhida) (Souza, 2015) é considerado o principal resíduo vegetal gerado no campo pela bananicultura. Após o processo de desbaste e colheita dos cachos de banana, os pseudocaules cortados são frequentemente abandonados na plantação permanecendo no local para degradação natural. Essa degradação normalmente ocorre em função da ação de micro-organismos produtores de gás metano, um gás do efeito estufa.

Figura 13 – Pseudocaule de bananeira.



Fonte: Do autor (2018).

Existem diversos estudos para o uso das fibras do pseudocaule da bananeira, como mostrado no Quadro 2.

Quadro 2 – Aproveitamento para as fibras do pseudocaule de bananeira

Aproveitamento	Autor
Alimentação Humana	COELHO <i>et al.</i> , 2001
Laminados e compensados	CARDOSO, 2007 CORRÊA, 2006
Manta (caixas, estojos e revestimento interno de automóveis)	OLIVEIRA, 2004
Na agricultura (cultivo de samambaias)	PACHECO <i>et al.</i> , 2010.
Compósitos de PVC	SILVA, 2008
Pintura a base de cal	TRISTÃO <i>et al.</i> , 2009
Produção de biogás	SOUZA <i>et al.</i> , 2007

Fonte: Adaptado de FERIOTTI, 2010.

FERIOTTI (2010) avaliou o aproveitamento da seiva presente no pseudocaule de bananeira e propôs a utilização do líquido na formulação de uma bebida isotônica. A autora indicou que existe viabilidade técnica para a extração da seiva do pseudocaule da bananeira e que o material é potencialmente adequado por possuir em sua composição sódio e açúcares, elementos essenciais para um isotônico.

O aproveitamento das cascas de banana para a obtenção de produto de interesse comercial tem sido avaliado por vários pesquisadores, dentre os quais Franco *et al.*, (2015), Carvalho (2015) e Souza *et al.*, (2010).

Franco *et al.*, (2015) analisaram o potencial das cascas de bananas, do tipo prata, caturra e maçã, como bioissorventes de metais pesados. Verificaram que os diferentes tipos de casca de banana apresentaram boas características para serem utilizadas como bioissorventes na remoção dos metais manganês e cromo, presentes em efluentes industriais.

Carvalho (2015) indicou a viabilidade do aproveitamento da casca de banana na elaboração de barras de cereais tanto do ponto de vista sensorial quanto

nutricional. De acordo com o autor, a casca de banana pode promover ao alimento incorporação de compostos bioativos e atividade antioxidante.

Zilze e Freyn (2016) utilizaram cascas de banana na produção de balas com o objetivo de reduzir os impactos ambientais causados pelo resíduo da industrialização da fruta, agregando valor nutritivo e visando um produto sustentável dentro do contexto sócio econômico dos produtores de banana da região Norte de Santa Catarina. Foram produzidas balas com 50, 70, 90 e 100% de casca da fruta e realizados testes gustativos comparando-se as balas produzidas com um tipo de bala comercial com 100% polpa. Estes testes demonstraram que a bala com 90% de casca em sua composição não teve diferença significativa quando comparada com a bala comercial (FEBRACE, 2016).

Souza *et al.*, 2010 indicou com potencial uso das cascas para a produção de Biogás. O processo mostrou ter viabilidade tanto técnica como econômica.

Uma parte da polpa da banana produzida também pode ser considerada resíduo, pois nem toda a produção é aproveitada. Para essa parcela de polpa não utilizada na alimentação também existem várias formas de aproveitamento.

Santos *et al.*, (2015) caracterizaram a farinha feita de banana caturra para a utilização em biscoito dietético, e indicou a potencialidade de utilização como ingrediente. Aproveitando assim, a banana de forma integral evitando o desperdícios e perdas da fruta.

Todos esses três resíduos (pseudocaule, cascase polpa de banana) podem ser fermentados para a produção de bioetanol, conforme demonstrado por Souza *et al.*, (2012) polpa; Hopfner, (2015) e Ferreira, (2013) cascas; e Souza *et al.*, (2017) pseudocaule.

2.4 Etanol combustível de biomassa residual da bananicultura

Schulz (2010) empregou polpa de banana madura (500 g/L) e após trituração em meio aquoso obteve um caldo com açúcares redutores (AR) da ordem de 82,3 g/L. Ao fermentá-lo com *S. cerevisiae* isolada de fermento comercial (conservada no banco de cepas da Univille como *S. cerevisiae* Univille 9080) alcançou rendimento da ordem

de 82,9 g etanol/kg de polpa com produtividade volumétrica em etanol total de $3,75 \pm 0,21$ g/L.h.

Neste mesmo trabalho, Schulz (2010) realizou estudos de pré-tratamento ácido de 250 g/L (em massa úmida) de cascas frescas de banana madura combinado, ou não, com hidrólise enzimática e obteve um caldo sacarificado com AR máximo da ordem de 8 g/L para o caso de hidrólise ácida (H_2SO_4 2%, 120 °C, 15 min) combinada com a enzimática (celulase NS22086, Xilanase NS22083, β -glucosidade NS 22118, complexo enzimático NS22119, Hemicelulase NS22035, glucoamilase NS22035, pH 5,5, tampão acetato de sódio/ácido acético 0,1 M, 45°C, 24 h). Ao comparar esse resultado com o valor máximo de AR (7 g/L) alcançado com o caldo sem pré-tratamento ácido ou sacarificação (hidrólise ácida seguida de hidrólise enzimática), o autor estimou um ganho percentual aproximado de apenas 14,3% em AR ao aplicar a sacarificação. Diante disto, o autor indicou o uso desse resíduo na sua forma fresca, sem hidrólise ácida ou enzimática, apenas com a necessidade prévia de cozimento da biomassa em água (no mínimo, 15 min) para a extração dos açúcares livres. Ao avaliar a influência da concentração de biomassa nesse tipo de tratamento o autor recomendou o uso de 400 g de cascas frescas e 200 mL de água (2 kg de cascas/L), onde alcançou 25,37 g/L de açúcares redutores totais. A fermentação alcoólica desse caldo, com o mesmo micro-organismo proporcionou rendimento de 4,5g etanol/kg de cascas e produtividade de $1,32 \pm 0,03$ g/L. h.

Ao reavaliar as cascas de bananas como substrato da fermentação alcoólica, Hopfner (2015) concentrou o caldo recomendado por Schulz (2010) e fermentou diferentes concentrações de açúcares redutores no mosto de fermentação (20, 50 e 100 g/L) empregando diferentes espécies de micro-organismos (*S. cerevisiae* ATCC 26603, *Pacchysolentannophilus* ATCC 32691 e *Scheffersomyces stipitis* ATCC 58376). A autora constatou que a espécie *S. cerevisiae* proporcionou maior acúmulo de etanol no meio fermentado ($P_f = 41,8$ g/L) ao empregar AR da ordem de 100 g/L com maior valor médio de produtividade volumétrica em etanol ($Q_P = 1,63$ g/L.h). *P. tannophilus* apresentou Q_P de 1,20 g/L.h e *S. stipitis* $Q_P = 0,62$ g/L.h.

Gonçalves Filho (2011) comprovou a potencialidade do uso do pseudocaule da bananeira na produção de etanol de segunda geração (etanol 2G) por *S.cerevisiae* Univille 9080. Ao empregar 500 g/L de pseudocaule fresco (não-seco) como substrato da fermentação o autor obteve um vinho fermentado com concentração de etanol da ordem de 7 g/L. O autor considerou a concentração do produto muito baixa para a sua

subsequente destilação e recomendou novos estudos para o seu incremento. Segundo Junqueira (2010), para uma destilação economicamente viável do caldo fermentado, a concentração mínima de etanol no vinho deve ser de 80 g/L.

Em estudo de simulação Souza (2015) investigou o uso desses resíduos da bananicultura na produção de etanol por meio de simulação utilizando o *software* Aspen Hysys®. A partir dos dados experimentais obtidos por Schulz (2010), Gonçalves Filho (2011) e Hopfner (2012), a autora avaliou a produção de etanol a partir do uso isolado de cada um dos três resíduos empregados e comparou os resultados da simulação com o uso dos resíduos de forma integrada. Para isto, foi considerado mosto composto pelos resíduos nas mesmas proporções de massa úmida que são gerados (12,4% de casca, 2,8% de polpa rejeitada e 84% de pseudocaule). Os resultados da simulação mostraram que, apesar da concentração de etanol formada neste caso ficar semelhante àquela obtida com o uso de 100 % de pseudocaule, a energia gasta com o uso conjunto dos três resíduos foi 14,8 % menor. Portanto, segundo a autora, a utilização do pseudocaule, fruto rejeitado e cascas de bananas como mosto composto para a produção de bioetanol se mostrou uma alternativa bastante atraente do ponto de vista do aproveitamento e valorização desses rejeitos.

Recentemente, Souza *et al.*, (2017) e Montagnoli (2017) investigaram novamente o uso do pseudocaule como única biomassa para a produção de etanol.

Souza *et al.*, (2017) comparam o uso dessa biomassa na sua forma fresca e na forma de farelo (secagem da biomassa seguido de moagem) utilizando diferentes concentrações do resíduo (70 e 100 g/L de biomassa seca) e *S. cerevisiae* Univille 9080 como inóculo da fermentação. O maior rendimento em açúcares redutores (32,8%, com base na massa seca do resíduo) foi obtido com 70 g/L de farelo. A destoxificação desse caldo com carvão ativo 1% (m/v), seguido da sua evaporação para aumento da concentração de AR até 100 g/L, também foi avaliada. A produtividade máxima em etanol neste caso foi da ordem de 1,44 g/L.h. Este valor foi 75% maior do que a produtividade alcançada com o mesmo tipo de mosto porém sem destoxificação e 22% maior do que a produtividade obtida na fermentação do caldo não destoxificado e não concentrado. O rendimento em etanol do processo com destoxificação e concentração prévia do caldo foi de 0,41 g/g ARe a concentração de etanol no vinho fermentado foi de 60,2 g/L, ainda 25% abaixo da concentração ideal indicada por Junqueira (2010).

Montagnoli (2017) fermentou o mesmo tipo de mosto destoxificado empregado por Souza *et al.*, (2017), porém com maior concentração de açúcares (AR = 150 g/L). A autora utilizou diferentes espécies de micro-organismos para a fermentação (*S. cerevisiae* ATCC 26603, *Scheffersomyces stipitis* ATCC 58376, *Pachysolen tannophilus* ATCC 32691 e *Zymomonas mobilis* ATCC 3500), tanto na condição de monocultura em processo batelada simples quanto como cocultura (dois micro-organismos) em processo batelada repetida (uso de um único biorreator) e em processo batelada sequencial (uso de dois biorreatores, um para cada micro-organismo). A produtividade máxima em etanol (0,93 g/L.h) foi obtida com o uso de cocultura composta por *S. cerevisiae* e *P. tannophilus* empregando o processo batelada sequencial. Esse valor foi 45,2% menor do que o alcançado por Souza *et al.*, (2017) que fez uso de apenas um tipo de inóculo (*S. cerevisiae* Univille 9080). Porém, o rendimento em etanol alcançado por Montagnoli (2017) (0,57 g/g) e a concentração final do produto no vinho (78 g/L) foram superiores.

Em todos os trabalhos realizados até o momento pelo grupo de pesquisa da Univille com os resíduos da bananicultura (pseudocaule da bananeira e cascas e polpa da banana), não foi realizado a fermentação de um só mosto composto pelos três resíduos, principal objetivo deste trabalho.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Biomassas

Foram utilizados os seguintes resíduos vegetais da cultura da banana *Musa cavendishii*, popularmente conhecida na região Sul do Brasil como banana nanica, bagaço e seiva do pseudocaule da bananeira, cascas e polpa de banana.

O pseudocaule (bagaço + seiva) foi coletado no campo logo após a colheita da fruta e as cascas e polpa foram provenientes da industrialização e comercialização da banana madura.

Todas as biomassas foram coletadas na região de Joinville e conduzidas aos laboratórios da Univille onde foram processadas.

3.2 Extração e caracterização da seiva de pseudocaule

Conforme estabelecido por Souza (2016), pseudocaule de bananeira foi inicialmente cortado em tamanhos de aproximadamente 60 cm, separados em suas bainhas foliares (Figura 14) e prensado para a extração da seiva e obtenção do bagaço (Figura 15). A prensagem foi realizada em prensa de rolos de marca Hidro Industrial. Duas prensagens foram utilizadas, na primeira com uma distância entre rolos de 6 mm e, na segunda, 3 mm.

Figura 14 – Pseudocaule separado em suas camadas de bainha foliar.



Figura 15 – Bagaço de pseudocaule de bananeira após prensagem para extração da seiva.



A seiva de pseudocaule resultante deste processo considerada, até então, como resíduo da produção de etanol 2G de pseudocaule de bananeira, foi coletada e submetida à análise físico-química para caracterização e avaliação a fim de estabelecer a sua potencialidade para aproveitamento como matéria prima na extração de compostos naturais de interesse comercial ou como fonte adicional de açúcar na composição do mosto de fermentação alcoólica.

O processo de prensagem foi avaliado em termos do rendimento e eficiência de extração da seiva.

3.2.1 Determinação do rendimento e eficiência do processo de extração

Foram estimados os valores de rendimento em base de massa úmida (R) e eficiência (E) do processo de extração da seiva do pseudocaule conforme Equações 1 e 2, respectivamente:

$$R = \frac{V_s}{m_p} \quad (1)$$

$$E = \frac{R}{R_{máx}} 100 \quad (2)$$

Onde,

V_s – volume de seiva (líquido) extraída (L).

m_p – massa úmida das bainhas foliares do pseudocaule antes da prensagem (kg).

$R_{máx}$ – rendimento máximo que seria obtido se toda a seiva existente no pseudocaule fosse extraída ($R_{teórico} = 0,953$ L/kg, estimado em função do teor médio de umidade da biomassa, previamente determinado).

O valor do teor de umidade (%) do pseudocaule recém cortado (U) utilizada na estimativa de $R_{máx}$ foi determinado em triplicata com base na norma ASTM E871 – 82 com alteração na quantidade de amostra empregada, conforme recomendado por Souza (2016).

Cadinhos de porcelana foram previamente lavados e secados a 103 °C durante 16 h, acondicionados em dessecador com sílica-gel até atingirem temperatura ambiente e pesados em balança analítica para determinação da sua massa seca (m_1). Aproximadamente 15 g de amostras da biomassa previamente picada em pequenos cubos em torno de 0,5 cm de aresta (m_2) foram acondicionadas nos cadinhos e secas em estufa de secagem com circulação forçada de ar da marca SHEL LAB modelo 48 1370 – FX, na mesma temperatura até massa constante (primeira pesagem após 16 h e segunda pesagem após 24 h). Em seguida, os cadinhos com as amostras secas foram armazenados em dessecador onde permaneceram até atingir a temperatura ambiente (aproximadamente 3 h) e, então, novamente pesados para obtenção da massa m_3 .

O cálculo de U em base úmida foi realizado de acordo com a Equação 3.

$$U(\%) = \frac{(m_2 - m_3)}{(m_2 - m_1)} \times 100 \quad (3)$$

Onde,

m_1 □ massa do cadinho vazio após secagem (g)

m_2 □ massa m_1 + massa da amostra úmida (g)

m_3 □ massa m_1 + massa da amostra seca (g)

3.2.2 Caracterização

A caracterização da seiva, realizada com o objetivo de avaliar a presença de compostos de interesse comercial, foi realizada a partir de dois diferentes extratos: seiva de pseudocaule coletado após colheita da fruta, identificado como Pse1; e seiva de pseudocaule de bananeira removido da plantação como desbaste, antes da frutificação (Pse2).

3.2.2.1 Caracterização física

Foram determinados por gravimetria, com base na metodologia ASTM E870-82 (2013), a massa específica da seiva e as concentrações e teores de sólidos totais e cinzas presentes em cada um dos extratos obtidos (Pse1 e Pse2). Todas as determinações foram realizadas, no mínimo, em duplicatas.

Cadinhos de porcelana previamente pesados conforme descrito no item 3.2.1 para determinação de m_1 receberam exatamente 50 mL de amostras (V), coletadas por meio de proveta de aproximadamente 100 mL de extrato homogeneizado por agitação manual em frasco de Bécher de 250 mL. Em seguida, os cadinhos com as amostras úmidas foram pesados (determinação da massa m_2) e reconduzidos à estufa a 105 °C até peso constante. Os cadinhos contendo as amostras secas foram

novamente resfriados e pesados para determinação das massas m_3 . As amostras secas foram então queimadas em forno mufla a 600 °C durante 2 h, resfriadas e pesadas para determinação da massa residual (m_4).

Conhecendo-se esses valores calculou-se a massa específica do extrato (Eq. 4), concentração de sólidos totais (ST , Equação 5) e de cinzas (Cz , Equação 6) e os teores de S T em base de massa úmida ($ST\%$, Equação 7) e de Cz em base de massa seca ($Cz\%$, Equação 8).

$$\rho = \frac{(m_2 - m_1)}{V} \quad (4)$$

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V} \quad (5)$$

$$Cz = \frac{(m_4 - m_1)}{V} \quad (6)$$

$$ST\% = \frac{(m_3 - m_1)}{(m_2 - m_1)} 100 \quad (7)$$

$$Cz\% = \frac{(m_4 - m_1)}{(m_3 - m_1)} 100 \quad (8)$$

Onde,

m_1 □ massa do cadinho vazio após secagem (g)

m_2 □ massa m_1 + massa da amostra úmida (50 mL de extrato) (g)

m_3 □ massa m_1 + massa da amostra seca (g)

m_4 □ massa m_1 + massa da amostra queimada em forno mufla (g)

V – volume da amostra (L)

3.2.2.2 Caracterização química

A determinação da composição química da seiva foi realizada através da cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC), cromatografia gasosa (CG-MS) e espectroscopia de infravermelho de transformação de Fourier (FTIR).

Para as análises de HPLC foi utilizado o cromatógrafo da marca Merck - Hitach, modelo D-7000 equipado com coluna íons-300 marca Transgenomic e detector de índice de refração. A temperatura do forno foi de 70 °C e o fluxo de injeção de 0,4 mL/min, utilizando como eluente solução aquosa de H₂SO₄ 8,5 mM.

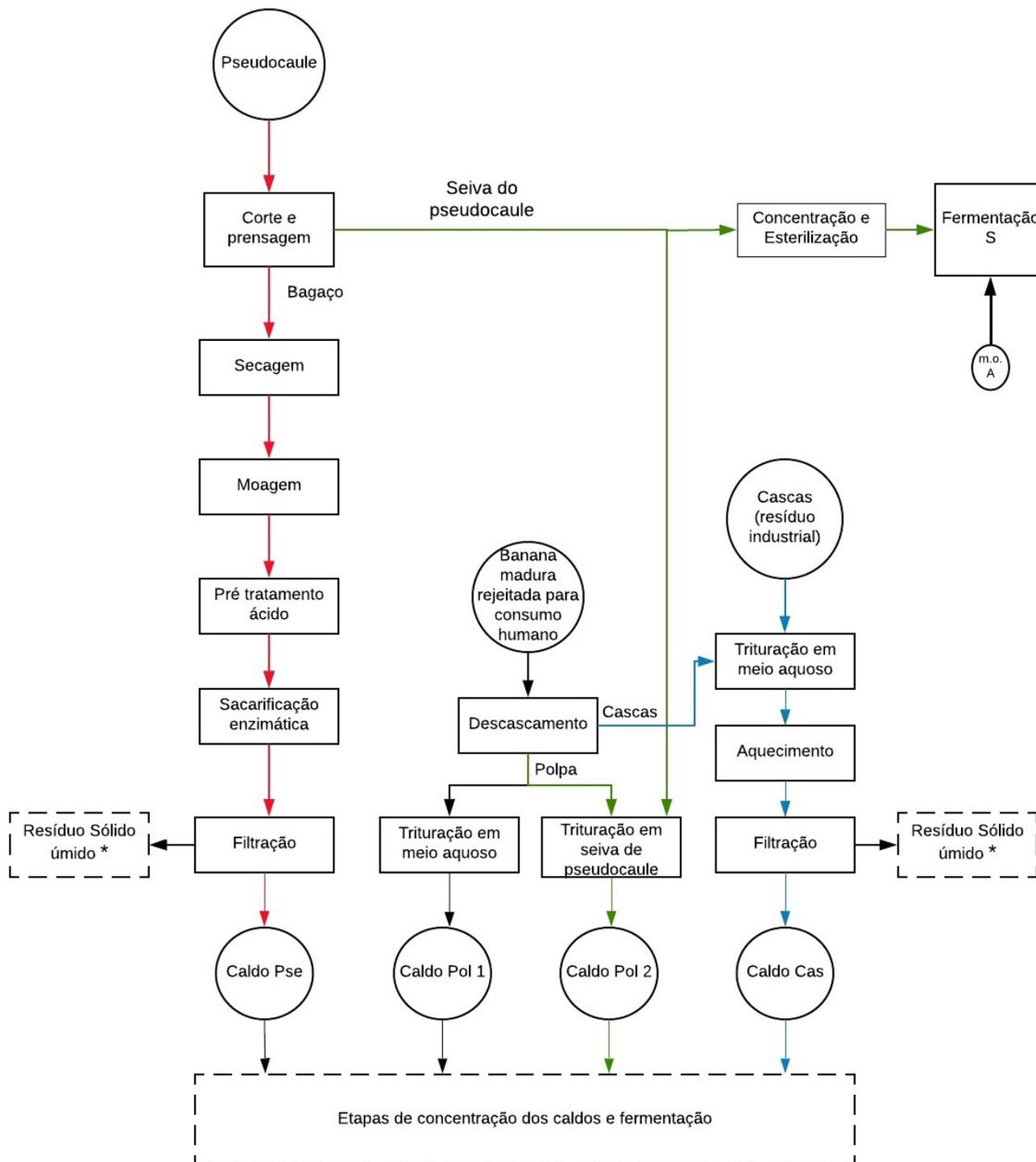
As análises de CG-MS foram realizadas em cromatógrafo da marca Agilent, modelo 7890A com detector de massa 5975C e coluna HP5 (30 m x 0,25 mm x 0,25 um). A temperatura do forno foi de 40 °C durante 1 min seguido de 60°C (1 min) com posterior rampa de aumento de 10 °C/min até 180°C e rampa de 20 °C/ min de 180 °C até 300 °C.

Para FTIR foi utilizado o espectrômetro FT-IR da marca PERKIN-ELMER, modelo Frontier, nas seguintes condições: ATR-diamante, região de 4000 à 600 cm⁻¹, resolução 4cm⁻¹ e 32 varreduras. As amostras caracterizadas foram previamente congeladas e liofilizadas para a obtenção de seus pós, necessários para esse tipo de análise.

3.3 Ensaio de Fermentação

As sequências das operações utilizadas nos 6 ensaios de fermentação realizados com mostos compostos por diferentes combinações de caldos das biomassas avaliadas podem ser vistas nas Figura 16 e 17.

Figura 16 – Fluxograma operacional simplificado da obtenção dos diferentes caldos de biomassa residual da bananicultura.



* Caracterização e análise do potencial de aproveitamento para geração de biogás em desenvolvimento (Tese de doutorado UFSC)

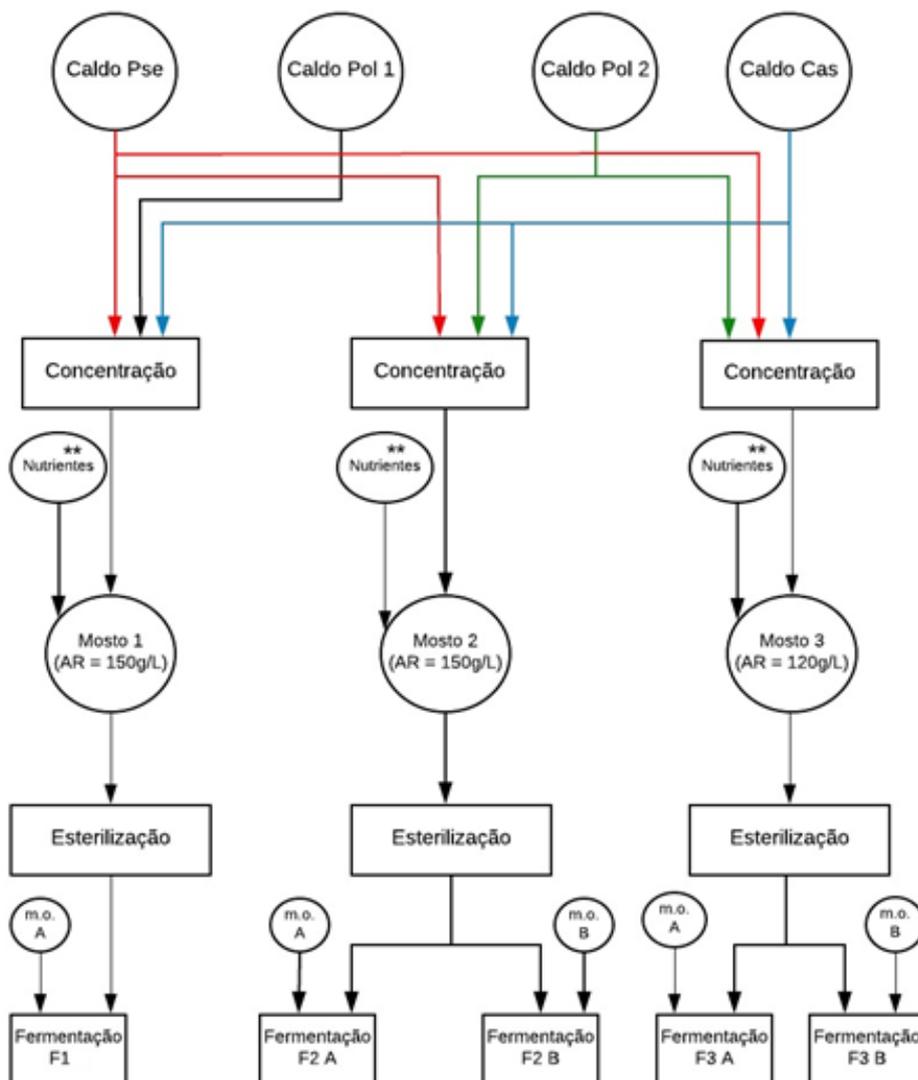
Caldo Pseudocaule (Pse)

Caldo Polpa 1 - empregou-se água para liquefazer a polpa da banana (Pol 1)

Caldo de Polpa 2 - empregou-se a seiva do pseudocaule de bananeira para liquefazer a polpa da banana (Pol 2)

Caldo de cascas (Cas)

Figura 17 – Fluxograma operacional simplificado da etapa de preparo de diferentes mostos compostos por diferentes tipos de caldos de biomassa residual da bananicultura e de sua fermentação por duas diferentes linhagens de *S.cerevisiae*: micro-organismo A (m.o.A) – Univil 9080; micro-organismo B (m.o.B) – ATCC 26603.



Caldo Pseudococaulo (Pse).

Caldo Polpa 1 - empregou-se água para liquefazer a polpa da banana (Pol 1)

Caldo de Polpa 2 - empregou-se a seiva do pseudococaulo de bananeira para liquefazer a polpa da banana (Pol 2)

Caldo de cascas (Cas)

** Todos os mostos foram adicionados dos seguintes nutrientes: 3 g/L extrato de levedura, 0,5 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,5 g/L K_2HPO_4 , 0,1 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 0,1 g/L CaCl_2

3.3.1 Obtenção dos caldos para composição do mosto de fermentação

As biomassas foram coletadas na região de Joinville e conduzidas aos laboratórios da Univille onde foram processadas para obtenção dos respectivos caldos contendo os seus açúcares fermentescíveis.

3.3.1.1 Caldo da seiva de pseudocaule

A seiva extraída por prensagem do pseudocaule foi empregada como componente do mosto de fermentação de duas diferentes maneiras: como única fonte de carbono e como biomassa adicional (solvente) na obtenção de um dos caldos de polpa de banana produzidos.

Para a fermentação do mosto de seiva, o extrato foi previamente aquecido em banho térmico da marca Fisatom modelo 558 e evaporado a 70 °C com agitação constante (agitador portátil contendo pás tipo hélice, 150 rpm) até concentração de açúcares redutores no caldo concentrado de 25 g/L.

3.3.1.2 Caldo de polpa de banana

Dois diferentes tipos de caldos de polpa de banana foram avaliados na composição do mosto de fermentação: caldo Pol1 e caldo Pol2, conforme mostrado na Figura 16.

Conforme Schulz (2010), para a obtenção do caldo Pol1, polpas de bananas maduras, sem cascas, foram cortadas manualmente com auxílio de uma faca em pedaços menores que 3 cm e submetidas à trituração em liquidificador doméstico Britânia de 2L (1-3 min) até obtenção de uma mistura homogênea (inspeção visual). Para cada 500 g de polpa de bananas foi adicionado 1L de água. Esse caldo foi misturado aos demais caldos assim que obtido, sem armazenamento em freezer.

Para o caldo Pol 2, mesmo tipo de procedimento do caldo Pol1 foi utilizado. No entanto, ao invés de empregar água para liquefazer a biomassa, foi empregado mesmo volume de seiva natural previamente extraída do pseudocaule de bananeira após colheita da fruta.

3.3.2 Caldo de cascas de banana

O caldo de cascas de banana (caldo Cas) foi obtido de acordo com metodologia proposta por Hopfner (2015) desenvolvida a partir do trabalho realizado por Schulz (2010).

Cascas frescas de banana madura foram cortadas em pedaços quadrados com cerca de 2 a 3 cm de comprimento e então trituradas em liquidificador doméstico empregando a relação de 200 ml de água potável por 400 g de massa úmida de biomassa (615,39 g/L de massa úmida, equivalente à 70,15 g/L de massa seca) até obter-se uma mistura homogênea. Em seguida, a mistura foi aquecida em autoclave (120 °C/15 min) para solubilização dos açúcares livres e, após filtração em tecido de algodão, foi armazenada em congelador para posterior utilização no preparo do mosto composto.

3.3.3 Caldo de pseudocaule de bananeira

O caldo de pseudocaule de bananeira (caldo Pse) foi obtido de acordo com Souza (2016) e Souza *et al.* (2017) a partir das seguintes operações: prensagem, secagem, moagem, pré-tratamento químico, sacarificação, filtração e centrifugação.

Após extração da sua seiva natural, os bagaços prensados foram inicialmente separados em tiras de aproximadamente 3 cm de largura por 10 cm de comprimento e secados em secador de bandejas marca COEL HW 500 com convecção forçada (velocidade do ar na entrada do secador de 2,6 m/s velocidade na câmara de secagem de a 0,22 m/s), a 60 °C durante 24 h. Após secagem (Figura 18a), a biomassa foi

moída em moinho de facas Solab com rotação de 1750 rpm até tamanho máximo das partículas de 30 mesh (0,595 mm) (Figura 18b) e armazenado para posterior pré-tratamento químico e sacarificação enzimática em frascos Erlenmeyer de 250 mL contendo 90 mL de volume de trabalho.

Figura 18 – Bagaço de Pseudocaule após secagem (a) e farelo da biomassa após moagem (b).



Para o pré-tratamento químico, conduzido em Erlenmeyer de 250 mL com volume de trabalho de 100 mL, foi utilizado a hidrólise ácida com concentração de 70,2 g/L de farelo de pseudocaule contendo $9,7 \pm 0,1\%$ de umidade residual após etapa de secagem. Como solução hidrolítica foi empregada H_2SO_4 2% m/m_s (massa de reagente por massa de farelo). A temperatura reacional foi de 121 °C, durante 15 min, em autoclave. Após pré-tratamento, o pH da mistura foi ajustado para 5,5 com NaOH anidro e conduzida para hidrólise enzimática (sacarificação).

Para a sacarificação da biomassa pré-tratada quimicamente foi utilizada uma solução aquosa composta das enzimas Celulase NS50013 e Hemicelulase NS22002 da Novozymes®, nas respectivas concentrações de 6% m/m_s e 2% m/m_s. As reações foram conduzidas em pH 5,5 (uso de tampão acetato de sódio/ácido acético 0,1 M), temperatura 45 °C e tempo de reação de 24 h.

Como reator para a sacarificação empregou-se frascos de Erlenmeyer 250 mL contendo 90 mL da mistura pré-tratada quimicamente, adicionada de 10 mL de solução enzimática.

Após sacarificação, o caldo hidrolisado foi filtrado com tecido de algodão e centrifugado à 3800 rpm (2260g) por 10 min em uma centrífuga Fanem® Excelsa® 4,

para separação do sólido; o sobrenadante foi retirado e congelado para posterior utilização no preparo do mosto composto e ser utilizado na fermentação.

3.3.4 Preparo do mosto de fermentação

O mosto de fermentação foi composto pelos caldos Pol1 ou Pol2, Cas e Pse (Figura 15). As concentrações de massa úmida e massa seca de cada uma das biomassas utilizadas (polpa, cascas e bagaço de pseudocaule) na composição dos mostos estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3 – Composição do mosto de fermentação na proporção 1:2:7.

Biomassa	Concentração aproximada* (g/L)	
	Em massa úmida	Em massa seca
Polpa de banana	183,62	54,9
Cascas de banana	367,23	41,86
Pseudocaule de bananeira	1285,33	63,39

Valores estimados a partir da massa empregada no preparo de cada um dos caldos de biomassa utilizados e no volume final do mosto antes da evaporação para aumento da concentração de açúcares redutores no meio.

Os caldos obtidos de cada um dos resíduos empregados como fonte de açúcares redutores (AR) foram misturados e, assim como no caso da seiva, submetidos ao aquecimento a 70 °C para aumento de AR (Figura 19). Valores aproximados de AR de 150 g/L caracterizaram os mostos 1 e 2 e de 120 g/L, o mosto 3 (Figura 16).

Figura 19 – Concentração do mosto em banho térmico.



Após concentração, todos os mostos foram adicionados de nutrientes, conforme proposto por Souza *et al.* (2012): 3 g/L extrato de levedura, 0,5 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,5 K_2HPO_4 , 0,1 g/L $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 0,1 g/L CaCl_2 . Após adição dos nutrientes o pH dos mostos foram corrigido para 4,5 através de solução de H_2SO_4 1M.

Antes da fermentação, o mosto foi esterilizado em autoclave a 120 °C e 1 atm, durante 15 min e deixado com assepsia em câmara de fluxo laminar até atingir temperatura ambiente para posterior inoculação.

3.3.5 Preparo do inóculo e manutenção

Foram avaliados como micro-organismos das fermentações F1, F2A e F3A, cultura pura de *Saccharomyces cerevisiae* isolada de fermento comercial Fleischmann®, mantida e identificada como Univille 9080 e para as fermentações F2B e F3B avaliou-se como micro-organismo cultura pura de *S. cerevisiae* ATCC 26603.

A manutenção da cepa foi realizada através do cultivo de superfície em placas de Petri empregando meio sintético GY sólido (20 g/L de glicose, 3,0 g/L de extrato de levedura, 0,5 g/L de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 1,0 g/L de K_2HPO_4 , 0,1 g/L de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ e 0,1 g/L de CaCl_2 , adicionado de 15 g/L de Ágar-Ágar) e incubação a 30 °C durante 24 h, seguido de armazenagem em geladeira a 4 °C. No máximo, a cada quinze dias, as culturas foram reativadas através da re-inoculação da cultura em novas placas de Petri contendo o mesmo tipo de meio de manutenção.

O inóculo foi produzido conforme sugerido por Hopfner (2015). Nas placas de Petri com micro-organismos previamente cultivados foram adicionadas de água estéril (5 mL por placa) e, após raspagem das colônias com auxílio de uma alça de platina, a suspensão microbiana foi coletada por pipetagem e utilizada como pré-inóculo. A produção do pré-inóculo foi realizada em frascos de Erlenmeyer de 250 mL com 100 mL de volume de trabalho contendo meio GY (sem Ágar-Ágar) e 2% em volume (v/v) de pré-inóculo. Os frascos foram incubados em agitador orbital (*shaker*) da LOGEN, a 30 °C com frequência de agitação de 120 min⁻¹ durante 24 h.

3.3.6 Condução do ensaio

Os seis ensaios de fermentação (S, F1, F2, F3, F4 e F5) foram realizados em frascos Erlenmeyer de 250 mL contendo 80 mL de mosto e 20 mL de inóculo.

Os frascos foram incubados em agitador orbital (Shaker Incubating LOGEN), com frequência de agitação de 120 min⁻¹ e temperatura controlada de 30 °C, até término do consumo de AR ($d_{AR}/dt = 0$).

As principais diferenças entre os ensaios foram: composição do mosto, concentração inicial de açúcares redutores (AR_0) e emprego de duas diferentes linhagens de *S. cerevisiae* como inóculo, conforme mostrado nas Figuras 15 e 16.

No ensaio S foi utilizada apenas a seiva como único caldo na composição do mosto, resultando em $AR_0 = 25$ g/L. No ensaio F1, o mosto foi composto pelos caldos Pol1, Cas e Pse com AR concentrado para valor aproximado de $AR_0 = 150$ g/L. O Ensaio F2 foi conduzido com mosto formado pelo caldos Pol 2, Cas e Pse, com mesmo valor de AR_0 do ensaio F1. Para o ensaio F3 foi utilizado o mesmo mosto do ensaio F2, porém com AR concentrado até $AR_0 = 120$ g/L.

3.4 Metodologia analítica

Periodicamente, de cada um dos cinco ensaios de fermentação realizados foram retiradas amostras em duplicata para determinação das concentrações de AR e de etanol (P). Todas as análises foram realizadas em duplicata.

3.4.1 Determinação da concentração de açúcares redutores

Os valores de AR, presentes nos caldos, no mosto e nas amostras das fermentações, foram determinados pelo método colorimétrico de DNS (3,5 dinitrosalicilato) proposto por Miller (1959). A leitura de absorvância (Abs) foi feita em espectrofotômetro LKB BIOCHROM, Novaspec II, empregando comprimento de onda de 540 nm. O valor de AR foi determinado a partir da Equação 9, obtida de curva de calibração previamente estabelecida com concentrações de glicose de 0 a 1,0 g/L (Apêndice 3). O valor máximo de Abs utilizado nesta equação foi de 0,474; portanto, todas as amostras com Abs>0,474 foram diluídas com água destilada.

$$AR = \frac{Abs + 0,0089}{0,4841} fd \quad (9)$$

Onde, *fd* é o valor numérico equivalente ao fator de diluição das amostras com Abs>0,474.

3.4.2 Determinação da concentração de etanol

As determinações de P nas amostras de fermentação foram realizadas por cromatografia gasosa (CG) em cromatógrafo da marca Agilent, modelo 6890, acoplado com mostrador automático da Agilent, modelo 7683 e coluna da Hewlett-Packard 54 HP-1 de comprimento 50 m e diâmetro externo de 0,32 mm. Como fase estacionária foi utilizada dimetilpoli-siloxano 100% com espessura de filme de 1,05 μm . Todas as amostras foram previamente centrifugadas, diluídas em água destilada e filtradas em microfiltros com porosidade de 0,45 μm .

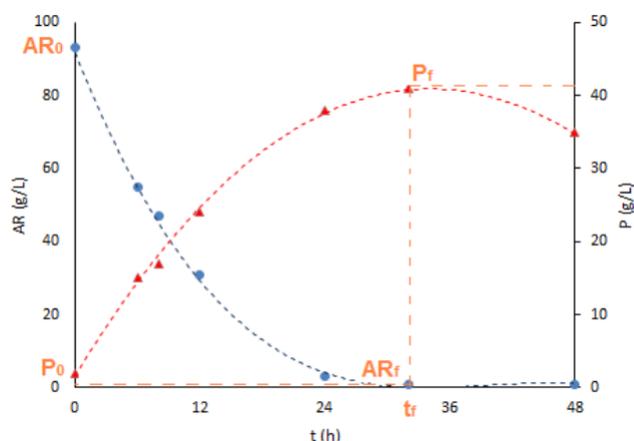
3.5 Construção dos gráficos de cinética do consumo de substrato e formação do produto

Conhecendo-se os valores de AR e P ao longo do tempo de fermentação (t) foram construídos os gráficos com os respectivos perfis cinéticos para cada um dos cinco ensaios de fermentação realizados, conforme sugerido por Hopfner (2015).

As curvas ajustadas (ajuste polinomial de 4ª ou de 5ª ordem) (Figura 20) foram traçadas pelo programa Excel empregando valores médios de cada uma das variáveis calculados a partir das medidas.

Através da leitura de cada uma dessas curvas foram retirados os respectivos valores de AR e P no início (AR_0 e P_0) e no final (AR_f e P_f) da fermentação. Entende-se como final de fermentação (t_f) o tempo em horas necessário para o processo atingir o início da fase final de acúmulo de P ($dP/dt \approx 0$) no caldo fermentado, normalmente coincidente com o início da fase final do consumo de AR ($dAR/dt \approx 0$).

Figura 20 – Modelo de curvas cinéticas representando o consumo de AR (●) e formação de P (▲) e apresentação dos pontos utilizados para as leituras do tempo final de fermentação (t_f) e concentrações iniciais e finais de açúcares (AR_0 e AR_f) e etanol (P_0 e P_f).



Fonte: Hopfner (2015).

3.6 Cálculo do rendimento e produtividade dos ensaios de fermentação

Os parâmetros cinéticos fator de conversão de açúcares redutores em etanol (rendimento) ($Y_{P/AR}$) e produtividade volumétrica em etanol (Q_P) foram calculados de acordo com as Equações 10 e 11, respectivamente.

$$Y_{P/AR} = \frac{P_f - P_0}{AR_0 - AR_f} \quad (10)$$

$$Q_P = \frac{P_f - P_0}{t_f} \quad (11)$$

Onde,

P_0 – concentração de etanol em t_0 (início da fermentação) (g/L).

P_f – concentração de etanol em t_f (final da fermentação) (g/L).

AR_0 – concentração de açúcares redutores em t_0 (g/L).

AR_f – concentração de açúcares redutores em t_f (g/L).

t_f – tempo final de fermentação (h).

3.7 Análises estatísticas

As análises foram submetidas ao teste Q de Dixon para analisar os valores de desvio médio sendo aceito ou não. Foram analisados pelo método ANOVA com teste de Tukey para $P < 0,05$ empregando o programa computacional Origin 7.5.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise da seiva do pseudocaule

A quantidade anual de seiva disponível por unidade de massa úmida de pseudocaule bem como a sua caracterização física e química foram estimadas para auxiliar na avaliação da eficácia do uso do resíduo líquido como substrato da fermentação alcoólica ou como matéria-prima na extração de produtos de interesse comercial.

4.1.1 Disponibilidade anual de seiva para aproveitamento

O volume médio do volume de seiva extraído por prensagem do pseudocaule fresco, conforme realizado por Souza (2016), e respectivos valores de rendimento e eficiência do processo são mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 – Rendimento e eficiência do processo de prensagem do pseudocaule de bananeira adulto (em massa úmida) com diferentes lotes de biomassa coletados (datas de coleta aleatórias).

Lote	Massa úmida de pseudocaule (kg)	Volume de seiva extraída (L)	Rendimento (L/kg)	Eficiência* (%)
1	6,582	1,57	0,238	25,0
2	9,838	2,92	0,297	31,1
Média ± desvio médio	8,2 ± 2,3	2,25 ± 0,95	0,27 ± 0,04	28,1 ± 4,3

*Teor de umidade do pseudocaule em base úmida = 95,3 % (0,953 kg H₂O/kg massa úmida de biomassa)

Ao comparar-se o rendimento e eficiência da extração da seiva mostrados na Tabela 5, independentemente do lote de biomassa, com a prensagem de outros vegetais por diferentes técnicas, pode-se verificar que os valores alcançados foram bem menores do que os obtidos por outros autores (citados posteriormente no texto) utilizando diferentes tipos de vegetais e diferentes técnicas de extração.

Dentre os principais processos estudados para extração de sucos de vegetais, destacam-se os trabalhos que avaliaram a influência de diferentes técnicas de pré tratamento do vegetal sobre o rendimento em produto. Dentre eles, conforme Correa (2016) encontram-se o congelamento e descongelamento (CHUNG et al., 2013; NADULSKI et al., 2015), sonificação (JABBAR et al., 2014), aquecimento (PRAPORSCIC et al., 2006; CENDRES et al., 2012) e tratamento enzimático (WILL e DIETRICH, 2013).

Will e Dietrich (2013) estudaram diferentes técnicas de extração do suco de ruibarbo (*Rheum rhabarbarum*), um vegetal comestível muito utilizado na Grã-Bretanha como aditivo de panificação, iogurtes e também como planta medicinal, e alcançaram rendimento de até 93,3% ao pré tratar o vegetal com pectinases e celulases.

Oliveira *et al.*, (2006), a partir da extração de suco de maçã por liquefação enzimática compararam as características desse método com os do tradicional processo de prensagem. Para o processo de liquefação o rendimento alcançado foi de 83,5% apresentando uma diferença de 19% em relação ao processamento de suco por prensagem (método utilizado nesse trabalho).

Pimenta *et al.*, (2012) ao analisarem o rendimento de extração do suco integral de amoras maduras, verdes e mistura de ambas utilizando prensa hidráulica e despulpadora vertical, encontraram um maior rendimento ao utilizarem a prensa hidráulica, quando comparado ao processo da despulpadora. Enquanto a prensa hidráulica apresentou rendimento de 80,5% e a despulpadora apresentou 71,43%.

A partir do fruto de araçá vermelho Santos *et al.*, (2007) fizeram um comparativo entre dois tipos de sucos obtidos por meio de processamento mecânico. O suco S-1 foi obtido por uma centrífuga com filtro de aço RI6720-16/B e o suco S-2 foi obtido da mesma forma, mas foi adicionado de uma enzima pectinolítica (Ultra SP-L Batch) na concentração de 0,2 mL hL. O suco S-2 apresentou rendimento de 73%. O tratamento enzimático elevou o rendimento do suco e reduziu a viscosidade.

Comparando com a literatura, o processo de extração utilizado nesse trabalho apresentou baixo rendimento, até mesmo comparando com outros trabalhos que utilizaram também o processo de prensagem (PIMENTA et al., 2012), por isso entende-se que para a extração de seiva de pseudocaule esse método não é o mais indicado, podendo existir outros tipos de extração com melhor desempenho. A partir do método de extração utilizado no presente trabalho a quantidade que poderia ser

obtida de líquido anualmente levando em consideração a quantidade de pseudocaule disponível em Santa Catarina seria pouco expressiva, mas com o aperfeiçoamento da técnica de extração, o rendimento apresentado poderá ser maior.

Tomando como base a colheita anual de bananas no estado de Santa Catarina de 721,6 mil toneladas (CEPA, 2016) e a proporção mássica pseudocaule: bananas de 3:1 (Souza *et al.*, 2010) é possível estimar-se a disponibilidade anual de aproximadamente 2,16 milhões de toneladas de pseudocaule. Considerando a umidade (em base de massa úmida) estimada para o resíduo de 0,953 L/kg (Tabela 6), a quantidade máxima teórica de seiva a ser extraída seria de 2,06 bilhões dm^3/ano . No entanto, com base no baixo rendimento alcançado com o método de extração utilizado neste trabalho, essa quantidade seria reduzida para 583,2 milhões de m^3/ano .

Com mesmo tipo de análise feita para a mesorregião do Norte Catarinense e a mesorregião do Vale do Itajaí, onde se localizam os cinco municípios com maior produção estadual da banana nanica (Luiz Alves, 24,0%, Corupá, 22,9%, Massaranduba, 8,9%, Jaraguá do Sul, 7,5% e São João do Itaperiú, 6,5%) (EPAGRI/CEPA, 2015), tem-se uma estimativa aproximada de 407,1 milhões dm^3/ano de seiva extraída. Cabe ressaltar que tanto neste caso como no caso anterior (todo o Estado) foi considerado que todo o pseudocaule disponível, após a colheita das bananas, seria aproveitado para a extração da seiva o que é difícil; visto a logística necessária para coleta no campo e transporte do resíduo.

A área territorial que engloba os cinco maiores produtores catarinenses é de, aproximadamente, 1717,62 km^2 (IBGE, 2018) e, considerando Joinville como ponto central de processamento do material, as distâncias mínimas rodoviárias a serem percorridas para chegar a esses municípios seriam de 101,9 km, 67,5 km, 58,1 km, 48,2 km e 50,6 km, respectivamente (<http://www.entrecidadesdistancia.com.br>). Denota-se, aqui, a necessidade de uma análise cuidadosa dessa logística para indicação dos municípios mais favoráveis para a coleta da biomassa bem como do local mais apropriado para eventual instalação de processamento.

Dependendo da destinação que se tenha em mente para este material (valorização da biomassa ou descarte como resíduo líquido), a quantidade existente de seiva é de grande importância para uma futura tomada de decisão em relação à produção em larga escala de etanol de bagaço de pseudocaule de bananeira,

principalmente, em termos de análise econômica de todo o processo (gastos com equipamentos e custos operacionais).

4.1.2 Caracterização física da seiva de pseudocaule

A densidade da seiva extraída após a colheita da banana e corte do pseudocaule foi de 1011 kg/m³, estimada por gravimetria na temperatura ambiente, em triplicata, a partir da relação entre a massa do material e do volume de amostra pesada.

Os teores de umidade, sólidos totais e cinzas da seiva são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Teores de umidade, sólidos totais e cinzas referentes amostras de seivas extraídas de pseudocaule antes da frutificação (Pse jovem) e após a colheita da banana (Pse adulto).

Seiva	Umidade (kg/kg)	Sólidos Totais (g/L)	Cinzas (g/L)	Sólidos Voláteis (g/L)
Pse jovem	0,96±0,02	4,02±0,03	1,41±0,02	2,6±0,3
Pse adulto	0,95±0,05	23,76±0,6	11,52±0,4	12,24±0,5

As quantidades de sólidos totais, cinzas e sólidos voláteis encontrados na seiva extraída de pseudocaule após a colheita das bananas (Pse adulto) foram notadamente maiores do que a seiva proveniente do pseudocaule de bananeira, antes da frutificação (Pse jovem). Isto ocorreu devido à maior quantidade de “resíduos sólidos presentes na seiva de Pse adulto. Durante o processo de extração da seiva era possível perceber a grande quantidade de sólidos presentes no líquido de Pse “adulto”. Segundo Olivo *et al.*, (2007) na maioria das vezes o estágio fisiológico, a época de colheita, o cultivar e o tratos culturais, o tamanho e o peso das lâminas foliares são variáveis, o que justifica a diferença de uma seiva para outra. O teor de matéria seca e a composição da planta são influenciados por fatores fisiológicos.

Existe uma falta dessas informações, o que dificulta a reprodução das recomendações ou experiências científicas, sobre a composição da bananeira.

4.1.3 Caracterização química da seiva de pseudocaule

A seiva de pseudocaule foi submetida à caracterização química com o objetivo de detectar-se eventuais compostos químicos presentes que sejam de interesse comercial.

4.1.3.1 Análise por CG-MS

Na Tabela 6 é possível observar os principais compostos detectados pela análise cromatográfica em CG-MS, conforme pode ser visto nos cromatogramas no Apêndice 1.

Tabela 6 – Compostos identificados por CG-MS nas seivas recém extraídas de pseudocaule "jovem" e "adulto".

T	Pseudocaule Jovem	Probabilidade (%)	Pseudocaule Adulto	Probabilidade (%)
2.700	Formiato de isobutilo $C_5H_{10}O_2$	86,3	Acetato de isopropilo ($C_5H_{10}O_2$)	83,4
2.932		87,8	3-Amino-1,2-propanodiol $C_3H_9NO_2$	12,9
3.054	Tricloroetileno C_2HCl_3	98,2	Tricloroetileno C_2HCl_3	98,4
3.156	Propionato de etila $C_5H_{10}O_2$	97		
3.181	Acetato de propila $C_5H_{10}O_2$	95,9	Acetato de propila $C_5H_{10}O_2$	96,2
3.489	Metil isobutil cetona $C_6H_{12}O$	73,3	Metil isobutil cetona $C_6H_{12}O$	72
3.707	Acetato de sec-butilo $C_6H_{12}O_2$	51,2	Acetato de sec-butilo $C_6H_{12}O_2$	60,4
3.886	Acetato de isobutila $C_6H_{12}O_2$	90,4	Acetato de isobutila $C_6H_{12}O_2$	90,5
4.389			Etanoato de butila $C_6H_{12}O_2$	91,3

Conforme pode ser observado na Tabela 6, a seiva do pseudocaule “jovem” e do “adulto” apresentaram os mesmos tipos de compostos químicos até o tempo máximo de retenção utilizado (750 min).

De acordo com a biblioteca Nist 2010 do cromatógrafo utilizado, é possível observar na Tabela 6, que os dois compostos presentes em maior concentração nas seivas de pseudocaule são: acetato de propila ($C_5H_{10}O_2$) e o acetato de isobutila

(C₆H₁₂O₂), ambos os compostos ocorrem com uma probabilidade acima de 90% para a seiva de pseudocaule “jovem” e para a seiva de pseudocaule “adulto”.

O Composto acetato de propila é caracterizado por possuir odor e sabor de pera, por isso é comumente utilizado como aromatizante e flavorizante em balas e gomas de mascar. É utilizado também em perfumaria, solvente de nitrocelulose e derivados, resinas naturais e sintéticas, lacas, plásticos, sínteses orgânicas e como reagentes de laboratório (ABIQUIM – FICHA TÉCNICA).

O segundo composto de maior concentração na seiva de pseudocaule de bananeira é o acetato de isobutila ocorreu no pico 7, segundo pico de maior área, esse composto é um solvente volátil médio para lacas com base em nitrocelulose, ésteres de celulose e lacas acrílicas.

Como muitos ésteres, é um líquido incolor com um odor de fruta em baixas concentrações e ocorre naturalmente em framboesas, peras e outras plantas. Em concentrações mais elevadas, o odor pode ser desagradável e pode causar sintomas de depressão do sistema nervoso central, como náuseas, tonturas e dor de cabeça. Volátil e mais leve do que água, com a qual não é miscível. Solúvel em solventes orgânicos como álcoois, cetonas, ésteres e hidrocarbonetos (CONQUIMICA-FICHA TÉCNICA).

Olivo *et al.* (2007) fizeram um levantamento sobre a composição química da bananeira e constataram que no pseudocaule contém vários compostos e propriedades naturais que podem promover a saúde da pele. O conhecimento popular indica o uso das lâminas foliares intermediárias, isto é, situados na parte superior do pseudocaule para tal aplicação.

E segundo Lans *et al.* (2000) esta condição é reforçada pelas características da seiva que apresenta pH ácido, possui aminoácidos e ferro, com grande ação na formação de colágeno; possui cerca de 7,6 % de proteínas, proantocianidinas, pigmentos polifenólicos, potássio, arabinoxilanas, pectina, ácido urônico, além de ser um potente anestésico local.

Paul *et al.* (2013) ao utilizarem seiva de banana (BS) (*Musa cavendishii*) como material de partida para a bio-resina, realizaram a caracterização da mesma utilizando vários métodos de testes físico químicos. E ao utilizarem cromatografia gasosa-espectrometria de massa (CG-MS), assim como no presente trabalho (Tabela 6) identificaram fenóis.

Ao concentrar os dois tipos de seivas (de pseudocaule “adulto” e “jovem”) e submetê-los à análise cromatográfica (Apêndice 1 – Figura A 2 a e b), não ficou evidenciado diferenças entre os tempos de retenção dos picos formados na seiva natural não concentrada e concentrada. Com isto, é possível sugerir que o aquecimento do líquido na fase de concentração do mosto de fermentação contendo a seiva não promoveu a evaporação desses compostos; mantendo, assim, a sua composição natural.

4.1.3.2 Análise de FTIR da seiva de pseudocaule

Na Tabela 7 encontram-se os grupos funcionais identificados por Espectroscopia infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) referentes aos compostos químicos identificados na análise de CGMS.

Tabela 7 – Compostos identificados por Espectroscopia de infravermelho.

Tempo	Grupo funcional	
	Seiva de Pseudocaule "Adulto"	Seiva de Pseudocaule "Jovem"
3265 a 3286 2920	Ligação de H referente a H ₂ O	Ligação de H referente a H ₂ O
1608 a 1628	Aminas	Alcanos, Aminas
1306 a 1307	Ácido carboxílico	Ácido carboxílico
1056 a 1101	Estiramento ésteres	Estiramento ésteres

Os espectros da seiva não concentrada de pseudocaule “adulto” e da seiva não concentrada de pseudocaule “jovem” encontram-se no (Apêndice 2 - Figura A 3 e Figura A 4). A análise de FTIR foi utilizada neste trabalho com o objetivo de validar os resultados da análise de CG-MS.

4.1.3.3 Caracterização por cromatografia líquida (HPLC)

Com a finalidade de avaliar a influência do estado fisiológico do pseudocaule na quantidade de açúcares na sua seiva, dois tipos de pseudocaules foram analisados: de planta adulta, após colheita das bananas (Pse adulto) e de planta nova, antes da sua frutificação (Pse jovem).

Na Tabela 8 é possível observar a quantidade de açúcares redutores presentes nos diferentes tipos de seivas de pseudocaule estudadas nesse trabalho. Os açúcares foram detectados por cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC).

Tabela 8 – Açúcares em seiva extraída de pseudocaule coletado após colheita de bananas (Pse adulto) e antes da frutificação (Pse jovem), sem concentração (1) e após concentração (2): análise por cromatografia líquida de alta eficiência.

	Pse adulto 1	Pse adulto 2	Pse jovem 1	Pse jovem 2
Sacarose (g/L)	0,053	5,454		2,162
Glicose (g/L)	0,577	17,479	0,107	13,532
Frutose (g/L)	0,333	7,129	0,197	9,895
Xilose (g/L)	0	0,096		0,068
Total	0,963	30,158	0,304	25,657

Ao analisar a Tabela 8 percebe-se que existe diferença na concentração de açúcares presentes no pseudocaule adulto e no pseudocaule jovem, ficando mais evidente ao concentrar ambos os caldos. A partir da análise cromatográfica, foi possível detectar a presença do açúcar xilose nas seivas dos dois pseudocaules apenas após a sua concentração (Pse adulto 2 e Pse Jovem).

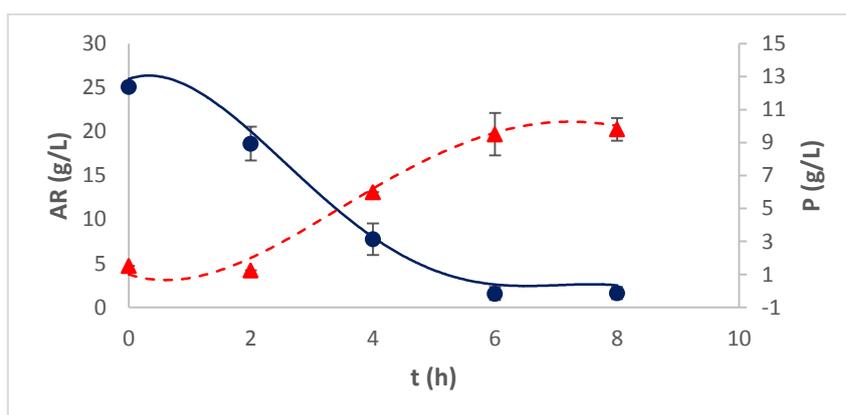
A presença dos açúcares redutores mostrados na Tabela 8, totalizando em AR = 30,158 g/L para Pse adulto 2 e 25,657 g/L para Pse jovem indicam, em um primeiro momento, que o resíduo tem potencial para ser avaliado como substrato na fermentação alcoólica por *S. cerevisiae*.

4.2 Ensaio de Fermentação

4.2.1 Fermentação da seiva do pseudocaule

A cinética do consumo de AR e formação de P resultante da fermentação isolada da seiva de pseudocaule de bananeira, após concentração do caldo de AR₀ de $3,15 \pm 0,77$ para valores próximos no meio de fermentação de 25 g/L é mostrada na Figura 21.

Figura 21 – Valores médios de açúcares redutores (AR) e acúmulo de etanol (P) no meio de fermentação e respectivas cinéticas de consumo do substrato e formação do produto na fermentação de seiva concentrada de pseudocaule por *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080: Ensaio FS.



O tempo final da fermentação foi de $t_f = 6$ h. Praticamente todo o AR disponível no início do processo ($AR_0 = 25,1 \pm 0,3$ g/L) foi consumido. A concentração média de AR em t_f foi de $AR_f = 1,6 \pm 0,9$ g/L, resultando no acúmulo de etanol no vinho fermentado de $P_f = 9,5 \pm 1,4$ g/L.

Tendo como concentração inicial de etanol no mosto de $P_0 = 1,5 \pm 0,1$ g/L, resultante da inoculação do meio, é possível estimar um rendimento médio em etanol da ordem de 0,34 g/g com produtividade volumétrica de $1,3 \pm 0,2$ g/L.h.

Tabela 9 – Tempo de fermentação (t_f) e valores médios com respectivo desvio padrão da concentração inicial (AR_0) e final (AR_f) de açúcares redutores, concentração inicial (P_0) e final (P_f) de etanol, rendimento ($Y_{P/AR}$) e produtividade volumétrica (Q_P) dos ensaios de fermentação FS A e FSB (mesmo tipos de caldos, apenas em duplicata).

Ensaio	t_f (h)	AR_0 (g/L)	AR_f (g/L)	P_0 (g/L)	P_f (g/L)	$Y_{P/AR}$ (g/g)	Q_P (g/L.h)
FS A	6	24,88	2,21	1,52	8,52	0,31	1,17
FS B	6	25,29	0,94	1,5	10,49	0,37	1,50
Média e desvio padrão	6	25,08±0,29	1,57±0,90	1,51±0,01	9,50±1,40	0,34±0,04	1,33±0,23

Na Tabela 9 é possível observar que o uso da seiva de pseudocaule de bananeira *M. cavendishii* como único substrato de fermentação alcoólica possibilitou um consumo médio de AR da ordem de 93,7% em relação ao AR_0 , após 6 h de fermentação. Os valores médios de $Y_{P/AR} = 0,34 \pm 0,04$ g/g e $Q_P = 1,33 \pm 0,23$ g/L.h foram semelhantes aqueles obtidos por Gonçalves (2010) ao utilizar a seiva sem concentração prévia ($Y_{P/AR} = 0,37 \pm 0,01$ e $Q_P = 1,78 \pm 0,01$).

Foi Gonçalves (2010) quem recomendou o aumento de AR_0 da seiva de pseudocaule através de evaporação aberta antes da sua fermentação como único substrato do mosto. Neste trabalho AR_0 foi concentrado dez vezes antes da fermentação; porém, convém ressaltar que o valor de AR_0 médio sem concentração prévia utilizado por Gonçalves (2010) foi de $19,0 \pm 0,1$ g/L (concentração de açúcar na seiva natural extraída) enquanto que a da seiva utilizada neste trabalho foi de apenas $3,15 \pm 0,77$ g/L. Essa diferença entre os valores médios de açúcar encontrados na seiva natural pode estar relacionada ao tipo de pseudocaule de bananeira empregado para extração. Acredita-se que essa diferença seja oriunda de eventual diferença entre o estágio de desenvolvimento fisiológico da planta, além de detalhes do local, período de coleta e manejo do resíduo. Neste trabalho, a coleta do pseudocaule para esta etapa de estudo foi realizada em novembro, período com grande incidência de chuvas na região Sul do Brasil (CPTEC, 2017). Gonçalves (2010) não informou o período da sua colheita. A partir dos resultados obtidos foi possível constatar que a seiva possui potencial para uso como substrato da fermentação alcoólica. Consequentemente, pode ser aproveitada na elaboração do mosto de fermentação, juntamente com outras biomassas avaliadas.

4.2.2 Fermentação do mosto composto pelos diferentes tipos de biomassas residuais da bananicultura

Em todos os ensaios realizados com o uso de mosto composto como substrato da fermentação, o pH do meio permaneceu na faixa de pH entre 4,0 e 5,0, indicada por Lima *et al.* (2001) como ideal para esse tipo de fermentação.

As cinéticas do consumo de AR e formação de P resultantes da fermentação de mosto composto pelos caldos de polpa (triturada em meio aquoso ou em seiva de pseudocaule), cascas de banana e pseudocaule de bananeira, com diferentes valores de AR_0 e utilizando como inóculo *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080, são mostradas nas Figura 22 e 23.

Figura 22 – Valores de pH e cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080. Ensaio F1: mosto composto por caldo de polpa de banana madura triturada em meio aquoso, cascas de banana e pseudocaule de bananeira, $AR_0 \approx 150$ g/L.

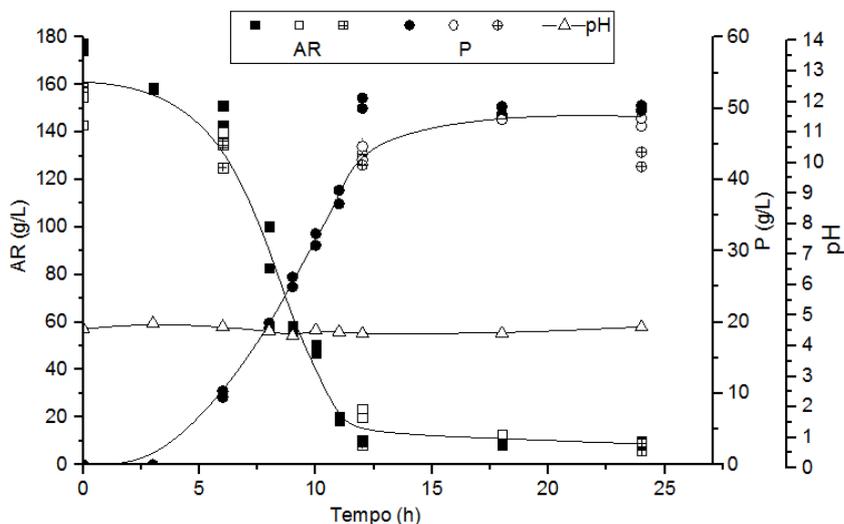
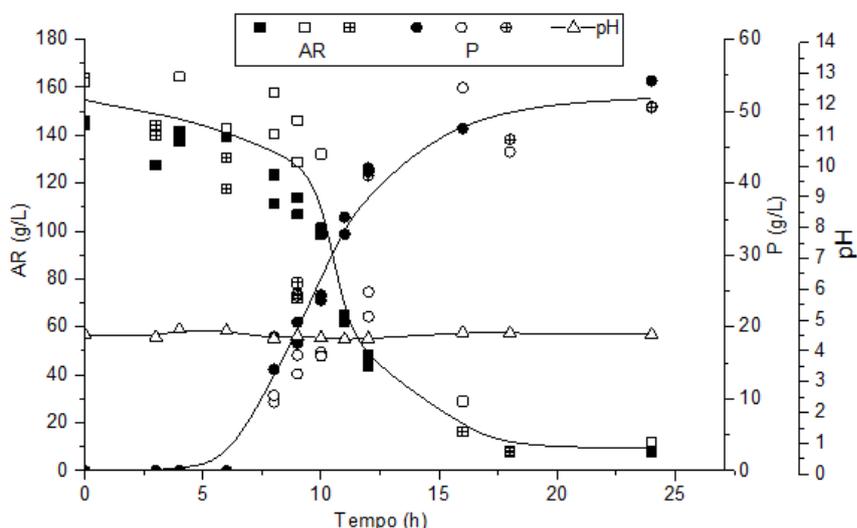


Figura 23 – Valores de pH e cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080. Ensaio F2A: mosto composto por caldo de polpa de banana madura triturada em seiva de pseudocaule de bananeira (sem água), cascas de banana e pseudocaule, $AR_0 \approx 150$ g/L.



Observa-se nas Figura 22 e 23 que o perfil cinético de ambos os ensaios realizados são muito semelhantes. O tempo final de fermentação pode ser considerado o mesmo para as duas fermentações ($t_f \approx 18$ h); demonstrando, aparentemente, que o uso da seiva (Ensaio F2A) em substituição à água (Ensaio F1) na etapa de trituração da polpa não reduziu a velocidade do processo.

Este valor em t_f foi 22 h menor do que o menor tempo que Souza *et al.* (2017) necessitaram para fermentar apenas o caldo de pseudocaule, sem polpa e sem cascas de banana, com $AR_0 \approx 100$ g/L. Para fermentar esse mesmo tipo de biomassa com o emprego de cocultura microbiana (*S. cerevisiae* UNIVILLE 9080 + *Pachysolen tannophilus* ATCC 32691), Montagnoli (2017) precisou de 204 h. O efeito inibitório do caldo de pseudocaule sobre o comportamento cinético da fermentação alcoólica por *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080 foi demonstrado por Souza *et al.* (2017) ao fermentar esse tipo de mosto com e sem destoxificação prévia.

Ao fermentar apenas o caldo de polpa de banana madura em mosto com $AR_0 = 40$ g/L, com a mesma linhagem de micro-organismo, Shulz (2010) precisou de apenas 6 h para o consumo total da fonte de carbono.

Hopfner (2015) empregou apenas o caldo de cascas de banana com $AR_0 = 100$ g/L para a fermentação alcoólica por uma linhagem floculante de *S. cerevisiae* e determinou como tempo final de fermentação $t_f = 24$ h.

A estratégia utilizada neste trabalho de fermentar o caldo de pseudocaule misturado aos caldos de polpa e cascas de banana contribuiu para o aumento da velocidade de consumo de AR e formação de P, o que proporcionou incremento na produtividade do processo (discutido na página 82).

A possibilidade do aproveitamento da seiva de pseudocaule na liquefação da polpa de banana (caldo Pol2) (Figura 22), além de substituir a água recomendada por Hopfner (2015) e usada no caldo Pol1 (Figura 21), pode contribuir com a minimização do seu impacto ambiental ao evitar-se o seu descarte na natureza, pois a seiva possui carboidratos e outros compostos orgânicos na sua composição, conforme discutido anteriormente.

Devido ao resultado positivo obtido no ensaio F2A, todos os ensaios subsequentes (Ensaio F2B, F3A e F3B) foram realizados com o uso da seiva do pseudocaule como componente do mosto de fermentação. Nas Figuras 24, 25 e 26 são mostradas as cinéticas desses ensaios.

Figura 24 – Cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por *S. cerevisiae* ATCC 26603. Ensaio F2B: mosto composto por caldo de polpa de banana madura triturada em seiva de pseudocaule de bananeira (sem água), cascas de banana e pseudocaule, $AR_0 \approx 150$ g/L.

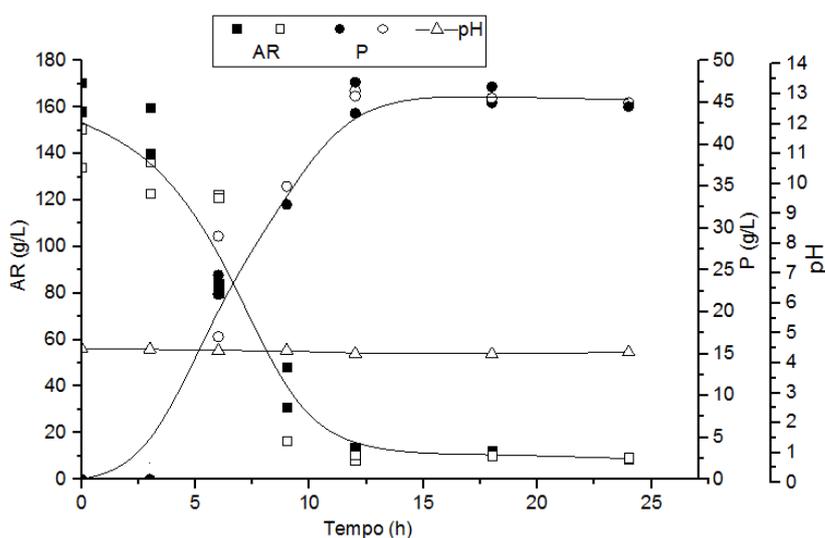


Figura 25 – Cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080. Ensaio F3A: mosto composto por caldo de pseudocaule, seiva, polpa e cascas, $AR_0 \approx 120$ g/L.

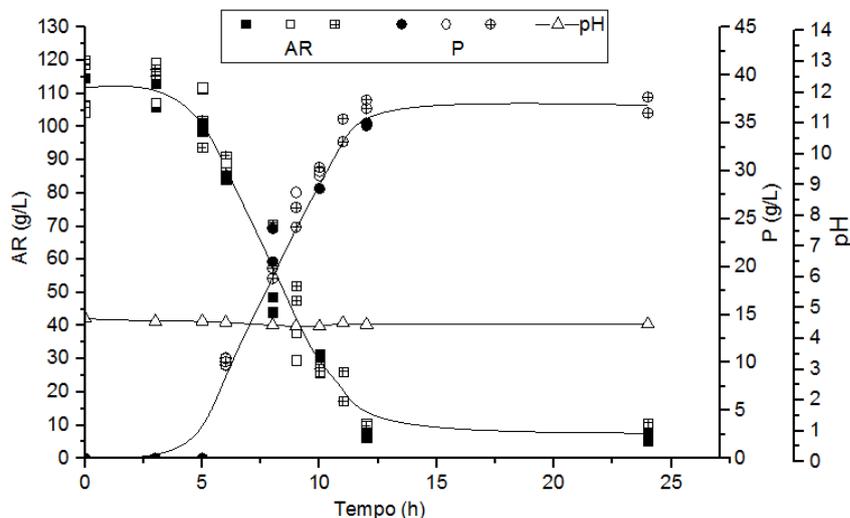
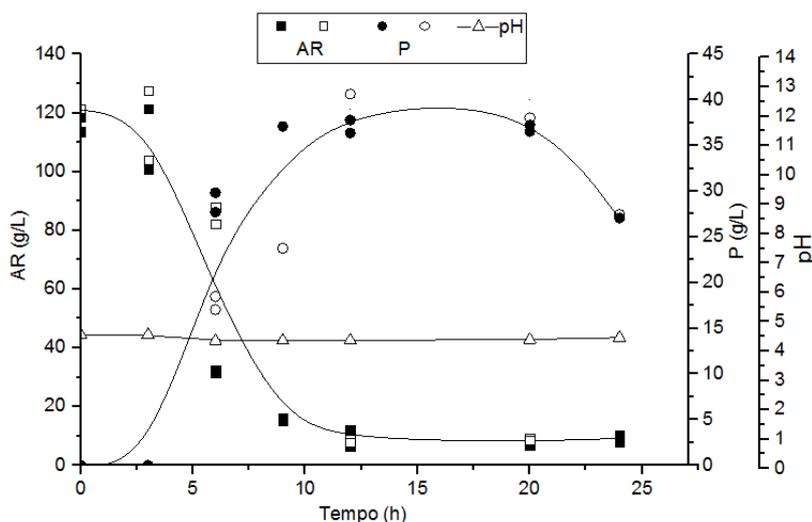


Figura 26 – Cinética do consumo de açúcares redutores (AR) e formação de etanol (P) por *S. cerevisiae* ATCC 26603. Ensaio F3B: mosto composto por caldo de pseudocaule, seiva, polpa e cascas, $AR_0 \approx 120$ g/L.



Ao comparar as Figuras 23 e 24, ambas resultantes da fermentação de mosto com $AR_0 \approx 150$ g/L, é possível constatar que o uso da linhagem *S. cerevisiae* ATCC 26603 (cepa floculante) (Figura 24) como inóculo da fermentação, ao invés da linhagem UNIVILLE 9080 (cepa não floculante) (Figura 23), proporcionou uma redução de t_f de 18h para valores da ordem de 12h.

O mesmo tipo de redução em t_f ocorreu na comparação entre esses micro-organismos quando AR_0 foi reduzido para ≈ 120 g/L (Figuras 25 e 26).

Ao comparar o comportamento cinético de cada um dos dois micro-organismos na fermentação do mesmo tipo de mosto, porém com diferentes AR_0 , é possível

observar que a redução desta variável de ≈ 150 para ≈ 120 g/L, afetou t_f para a linhagem UNIVILLE 9080 (Figuras 23 e 25), e não afetou para ATCC 26603 (Figuras 24 e 26), mas quando comparando na concentração 150 g/L (Figura 23 e 24) o t_f percebe-se que a linhagem ATCC reduz t_f . Este fato mostrou maior sensibilidade da linhagem ATCC 26603 frente a altas concentrações de açúcares e indica a necessidade de novos ensaios para estabelecimento de AR_0 ideal.

Os valores de t_f , concentração inicial (AR_0) e final (AR_f) de açúcares redutores e, concentração inicial (P_0) e final (P_f) de etanol no meio de fermentação de cada um dos ensaios com fermentação de mosto composto (Figuras 21 a 25) são mostrados na Tabela 10.

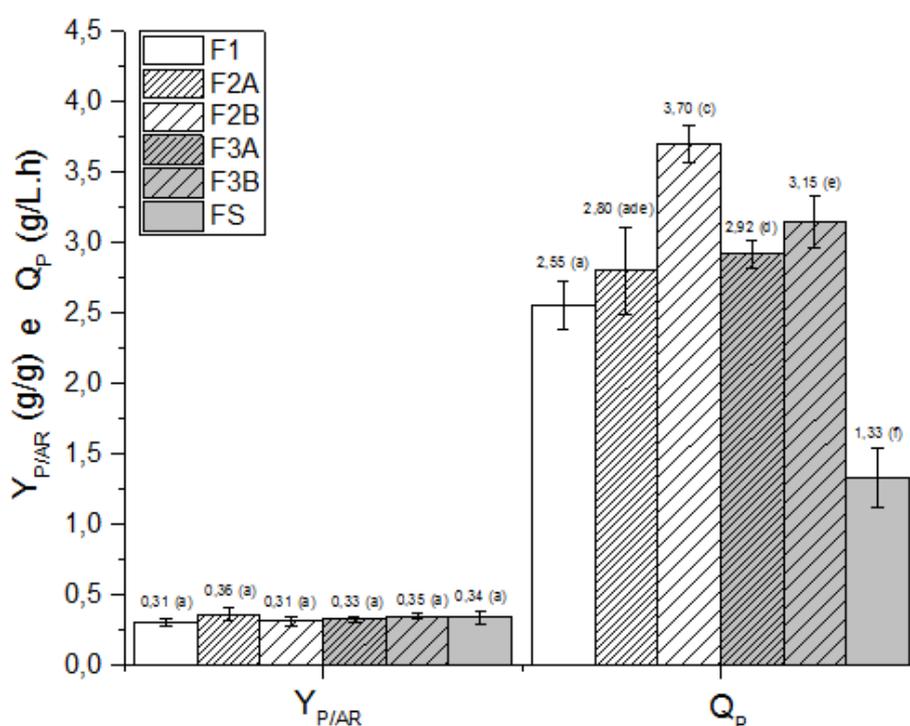
Tabela 10 – Tempo de fermentação (t_f) e valores médios com respectivo desvio padrão da concentração inicial (AR_0) e final (AR_f) de açúcares redutores, concentração inicial (P_0) e final (P_f) de etanol, rendimento ($Y_{P/AR}$) e produtividade volumétrica (Q_P) dos ensaios F1, F2A, F2B, F3A e F3B. Letras diferentes indicam, pelo teste de Tukey com índice de significância de 0,05, que os resultados são significativamente diferentes e letras iguais indicam que não há diferença significativa entre os resultados.

Ensaio	t_f (h)	AR_0 (g/L)	AR_f (g/L)	P_0 (g/L)	P_f (g/L)
F1	18	161 \pm 13 ^a	11 \pm 2 ^c	1,3 \pm 0,2 ^e	49 \pm 3 ^h
F2A	18	148 \pm 12 ^a	10 \pm 1 ^c	1,8 \pm 0,3 ^f	52 \pm 5 ^h
F2B	12	153 \pm 15 ^a	11,1 \pm 2 ^c	1,4 \pm 0,4 ^{e,f}	46 \pm 2 ^h
F3A	12	112 \pm 7 ^b	8,2 \pm 2 ^d	1,0 \pm 0,1 ^g	36 \pm 1 ⁱ
F3B	12	118 \pm 3 ^b	9 \pm 2 ^{c,d}	1,1 \pm 0,1 ^g	39 \pm 2 ⁱ

Verifica-se na Tabela 10, que em todas as fermentações houve um residual de açúcares redutores ($AR_f > 0$); sendo que, os maiores valores médios ocorreram nos ensaios com $AR_0 \approx 150$ g/L (F1, F2A e F2B). A diferença entre esses valores com os aqueles das fermentações com $AR_0 \approx 120$ g/L (F3A e F3B) pode ter ocorrido, principalmente, devido às diferentes quantidades de açúcares não fermentáveis e de inibidores da fermentação presentes no mosto concentrado. O uso de maior AR_0 propiciou o aumento da concentração dos açúcares fermentáveis mas, também, de açúcares não fermentáveis como as pentoses e de inibidores como furfural, ácido acético e hidroximetilfural provenientes do caldo de bagaço de pseudocaule, conforme demonstraram Souza (2016) e Souza *et al.* (2017). De acordo com KUHAD *et al.* (2011), *S. cerevisiae* não tem a capacidade de fermentar açúcares C₅.

Os maiores valores de concentração do produto fermentado ($P_f \approx 50$ g/L) foram obtidos com a utilização de maiores valores de AR_0 , independentemente da linhagem do micro-organismo empregada. Porém, isto não resultou nos maiores valores de rendimento e produtividade volumétrica em etanol obtidos nos ensaios F1, F2A, F2B, F3A e F3B, conforme pode ser observado na Figura 27.

Figura 27 – Fatores de conversão do substrato em produto ($Y_{P/AR}$) e produtividade volumétrica em etanol (Q_P), obtidos nos ensaios de fermentação *F1, F2A, F2B, F3A, F3B e FS. Letras diferentes indicam, pelo teste de Tukey com índice de significância de 0,05, que os resultados são significativamente diferentes e letras iguais indicam que não há diferença significativa entre os resultados.



*F1 – Fermentação de mosto composto pelo mosto 1 (Onde utilizou-se água para liquefazer a polpa de banana) $AR_0 = 150$ g/L e levedura *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080.

F2A – Fermentação de mosto composto pelo mosto 2 (Onde utilizou-se a seiva do pseudocaule de bananeira para liquefazer a polpa da banana) $AR_0 = 150$ g/L e levedura *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080.

F2B – Fermentação de mosto composto pelo mosto 2 (Onde utilizou-se a seiva do pseudocaule de bananeira para liquefazer a polpa da banana) $AR_0 = 150$ g/L e levedura *S. cerevisiae* ATCC 26603.

F3A – Fermentação de mosto composto pelo mosto 2 (Onde utilizou-se a seiva do pseudocaule de bananeira para liquefazer a polpa da banana) $AR_0 = 120$ g/L e levedura *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080.

F3B – Fermentação de mosto composto pelo mosto 2 (Onde utilizou-se a seiva do pseudocaule de bananeira para liquefazer a polpa da banana) $AR_0 = 120$ g/L e levedura *S. cerevisiae* ATCC 26603.

FS – Fermentação da seiva de forma isolada $AR_0 = 30$ g/L e levedura *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080

Não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores de rendimentos em etanol ($Y_{P/R}$), independentemente de AR_0 e da linhagem de micro-organismo empregada. O valor médio considerando todas as fermentações com mosto composto foi de $Y_{P/AR,méd} = 0,33 \pm 0,027$ g/g. Este valor representa 64,7% do rendimento teórico da conversão estequiométrica de glicose em etanol via fermentação ($Y_{P/AR,teórico} = 0,511$ g/g) (FIGUERUT,2008), se todo os açúcares redutores disponíveis fossem fermentados pelos micro-organismos presentes.

O valor de $Y_{P/AR,méd}$ foi semelhante ao obtido por Gonçalves Filho (2011) ($Y_{P/AR} = 0,31 \pm 0,01$ g/g) ao utilizar a mesma espécie de micro-organismo e mosto de bagaço de pseudocaulis de bananeira contendo AR_0 de 12 g/L. Porém foi inferior ao estimado por Souza *et al.* (2017) ($Y_{P/AR} = 0,46$ g/g) ao fermentar o mosto de bagaço de pseudocaulis sacarificado e destoxificado com $AR_0 = 100$ g/L, utilizando mesmas condições operacionais e mesma levedura (*Saccharomyces cerevisiae* UNIVILLE 9080) utilizadas neste trabalho.

A produtividade da fermentação FS foi 47,9 % menor do que o menor valor ($Q_P = 2,55 \pm 0,17$ – ensaio F1) obtido nos demais ensaios com mosto composto. Cabe lembrar que a seiva foi fermentada na sua forma isolada apenas para verificar-se a sua fermentabilidade e conseqüente possibilidade do seu aproveitamento na fermentação do mosto composto. Neste caso aprovou-se por utilizá-la como substituta de parte da água de solubilização da polpa de banana (ensaio F2A, F2B, F3A e F3B).

Com a redução de AR_0 de 150 g/L (Ensaio F1, F2A e F2B) para 120 g/L (Ensaio F3A e F3B), conforme discutido anteriormente, houve uma menor produção de etanol, porém não verificou-se o aumento no rendimento em produto como esperado. Segundo Maia *et al.* (2011), citado por De Souza *et al.* (2011), o limite de açúcar no mosto recomendado para a fermentação alcoólica por *S. cerevisiae* é de 15 °Brix ($AR_0 \approx 150$ g/L). Para os autores, quanto maior a concentração de açúcar no mosto maior pode ser o acúmulo de etanol no meio e, conseqüentemente, maior a inibição do metabolismo microbiano e formação de produto. O limite máximo do teor de etanol no vinho recomendado pelos autores é de 8 °GL (8% de etanol em volume). Acima desse valor o etanol já começa a dissolver a membrana celular. Para Ghose (1979, *apud* Silva *et al.*, 2008) em teores alcoólicos acima de 14,5% v/v não ocorre mais produção de etanol.

Ao comparar os valores de produtividade em etanol dos ensaios realizados é possível perceber que o maior valor médio de Q_P ($3,70 \pm 0,13$ g/L.h) foi obtido na

fermentação de mosto com $AR_0 = 150$ g/L por *S. cerevisiae* ATCC 26603 (Ensaio F2B). Esse valor foi 17,5% maior do que a produtividade média do Ensaio F3B, conduzido com o mesmo micro-organismo, porém com menor AR_0 ; e 32% maior do que Q_P alcançado com a linhagem UNIVILLE 9080 na fermentação de mesmo tipo de mosto com mesmo AR_0 (Ensaio F2A).

Não houve diferença significativa ($p < 0,05$) em Q_P entre as fermentações por *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080 empregando mesmo tipo de mosto (Ensaio F2A e F3A) e diferentes valores de AR_0 (150 e 120 g/L, respectivamente). Apenas quando o caldo Pol1 (uso de água na solubilização da polpa de banana, Ensaio F1) foi substituído pelo caldo Pol2 (uso de seiva em substituição à água, Ensaio F3A), quando Q_P aumentou em 11%.

Comportamento semelhante da linhagem ATCC 26603 na fermentação de outro tipo de mosto (mosto de cascas de banana) frente a diferentes concentrações de açúcares (20-100 g/L) já havia sido observado por Hopfner (2015). De uma maneira geral, quanto maior AR_0 no mosto maior foi Q_P . O valor máximo de Q_P alcançado pela autora, com $AR_0 \approx 100$ g/L, foi de 1,31 g/L.h; o menor valor ($Q_P = 0,35$ g/L.h), na condição $AR_0 \approx 20$ g/L.

Souza *et al.* (2017), ao comparar as fermentações por *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080 de mostos concentrado e não concentrado constituídos por hidrolisado de bagaço de pseudocaule, notaram que, com o mosto que foi concentrado em torno de seis vezes (AR_0 aumentado de ≈ 17 g/L para ≈ 100 g/L) houve, em relação ao mosto não concentrado, uma redução de 30,5% em Q_P . Mesmo possibilitando maior acúmulo do produto no meio, o tempo necessário para o término da fermentação com mosto concentrado ($t_f = 40$ h) foi bem maior do que aquela com mosto não concentrado ($t_f = 6$ h).

Além de proporcionar maior produtividade em etanol do que a linhagem *S. cerevisiae* UNIVILLE 9080 frente ao aumento de AR_0 , Padoan, *et al.* (2014) indicam a capacidade de floculação como uma das características ideais de micro-organismo a serem utilizados em fermentações com alta densidade celular, as quais podem conduzir a um alto rendimento na conversão de substrato em produto com alta produtividade. Para Texeira *et al.* (1995), na fermentação alcoólica, uma cepa floculante é mais indicada do que uma cepa não floculante por permitir maior facilidade na sua separação do vinho fermentado e por facilitar uma eventual necessidade de recirculação do micro-organismo.

Para ter-se uma visão geral da potencialidade do processo de obtenção de etanol de 2ª geração com a utilização do mosto composto pela mistura de biomassas da bananicultura, é apresentado na Tabela 11 resultados de produtividade da fermentação alcoólica por *S. cerevisiae* obtidos por diversos autores a partir de diferentes mostos de diferentes biomassas.

Tabela 11 – Valores médios de Q_P obtidos por diferentes autores ao fermentar, em processo descontínuo com *S. cerevisiae*, diferentes tipos de biomassas com variadas concentrações iniciais de açúcar no caldo de fermentação (AR_0).

Biomassa	AR_0 (g/L)	P_f (g/L)	Q_P (g/L.h)	Fonte
Bagaço cana-de-açúcar	58	25	1,56	Martins <i>et al.</i> , (2015)
Resíduos de palha de arroz	12	40,6	0,55	Zhu <i>et al.</i> , 2015
Palha de Colza	88		1,66	Lopéz-Linares <i>et al.</i> (2014)
Fibra de Palmeira	50	10,4	1,01	Boonsawang <i>et al.</i> , 2012
Resíduos da bananicultura				
Seiva de pseudocaule	19,0	8,7	1,78	Gonçalves Filho (2011)
Polpa de banana	41,61	17,52	2,62	Schulz, 2010
Cascas de banana	100	32,34	1,31	Hopfner, 2015
Bagaço de pseudocaule	91,4	30,3	1,44	Souza <i>et al.</i> , 2017
Mosto composto (seiva de pseudocaule + polpa + cascas + bagaço de pseudocaule)	153,4	45,8	3,70	Este trabalho

Fonte: Do autor, (2018).

Conforme pode ser observado na Tabela 11, ao empregar o mosto composto contendo a combinação das biomassas seiva de pseudocaule, polpa, cascas e bagaço de pseudocaule para a fermentação alcoólica por *S. cerevisiae* ATCC 26603 (Ensaio F2B) foi possível obter valores de etanol no vinho fermentado e produtividade superiores aqueles obtidos pelos outros autores inclusive por Schulz (2010) que utilizou como substrato apenas a polpa de bananas maduras, uma fonte de carbono rica em açúcares redutores e facilmente fermentado por leveduras.

Ao comparar a maior produtividade obtida na fermentação do mosto composto de resíduos da bananicultura ($Q_P = 3,70$ g/L.h) com a da fermentação alcoólica de

caldo de cana-de-açúcar ($AR_0 \approx 150$ g/L, $P_f \approx 60$ g/L, $Q_P \approx 6,0$ g/L.h) conduzida no mesmo tipo de processo porém com linhagem industrial (SILVA *et al.*, 2008) pode-se sugerir a realização de novos experimentos com novas proporções entre as biomassas utilizadas para o incremento desse parâmetro. Além disto, o rendimento da fermentação precisa de uma maior atenção de maneira a buscar-se maiores valores de eficiência do processo de fermentação. Silva *et al.* (2008) alcançaram valores da ordem de 86,6 a 94,4% do rendimento teórico enquanto neste trabalho foi de apenas 64,6%.

CONCLUSÃO

A extração da seiva do pseudocaule de banana empregando o mesmo método utilizado por Souza (2016) proporcionou baixo rendimento da operação em relação à umidade total contida na biomassa (eficiência $E = 28,1\%$) quando comparada a outros processos encontrados na literatura nas extrações de outros caldos ou sucos de diferentes vegetais e frutas (comumente $E > 70\%$).

Os principais compostos presentes na seiva de pseudocaule e em maior concentração foram: acetato de propila ($C_5H_{10}O_2$) e acetato de isobutila ($C_6H_{12}O_2$). O acetato de propila é caracterizado por possuir odor e sabor de pêra e, por isso, é comumente utilizado como aromatizante e flavorizante na indústria de alimentos e em perfumarias. O acetato de isobutila é empregado na indústria química como solvente para lacas com base em nitrocelulose, ésteres de celulose e lacas acrílicas.

Caso se comprove, em estudos futuros, que a seiva tenha potencial para ser utilizado como matéria prima na obtenção de produtos de interesse comercial, o método de extração precisará ser revisto para aumento dessa eficiência.

O aproveitamento da seiva extraída como fonte adicional de carbono em substituição à água de liquefação, na preparação do caldo de polpa de bananas utilizada na composição do mosto de fermentação, não alterou significativamente ($p < 0,05$) a produtividade volumétrica em etanol do processo. Este fato comprovou a sua potencialidade para o uso e pode evitar o seu descarte como resíduo da produção de etanol a partir do bagaço de pseudocaule de bananeira, como vinha sendo praticado até o momento.

Ao fermentar diferentes composições de mosto (com e sem a seiva do pseudocaule) por *Sacharomyces cerevisiae* UNIVILLE 9080 (linhagem não floculante) e por *S. cerevisiae* ATCC 26603 (linhagem floculante), empregando concentrações iniciais de açúcares redutores (AR_0) da ordem de 150 e 120 g/L, observou-se que não houve diferença significativa ($p < 0,05$) entre os valores de rendimentos em etanol obtidos nos diferentes ensaios realizados ($Y_{P/AR} \approx 0,33$ g/g). O valor de $Y_{P/AR}$ é relativamente baixo ao comparar com valores típicos da fermentação alcoólica encontrada na literatura, os quais são da ordem de 0,45 a 0,48 g/g. Novos estudos precisam ser realizados para buscar o aumento de $Y_{P/AR}$.

Ao fermentar mosto com $AR_0 \approx 150$ g/L, a cepa ATCC 26603 apresentou produtividade média em etanol da ordem de 3,70 g/L.h; valor este 32% maior do que a produtividade obtida com a cepa UNIVILLE 9080 na fermentação de mesmo tipo de mosto. Isto permite indicar a linhagem floculante como a mais adequada para esse processo fermentativo.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dar continuidade aos estudos da extração dos compostos químicos presentes na seiva, realizando análise técnica e econômica.

Realizar a fermentação do mosto composto por cococultura com o objetivo de fermentar pentoses.

Realizar novos experimentos buscando aumentar o rendimento do processo, diminuindo AR_0 sem reduzir P_F .

REFERÊNCIAS

ABESCO – Associação Brasileira das Empresas de Serviços de Conservação de Energia. **Brasil é o sétimo maior investidor em energia renovável**, 2015. Disponível em:<<http://www.abesco.com.br/pt/novidade/brasil-e-o-setimo-maior-investidor-em-energia-renovavel-diz-estudo/>> Acesso em Fevereiro 2017.

ABBI M, KUHAD RC, SINGH A. Bioconversion of pentoses sugars to ethanol by free and immobilized cells of *Candida shehatae* (NCL-3501): fermentation behavior. **Process Biochemistry**, vol 31 p.55-60 1996.

ABBI M, KUHAD RC, SINGH A. Fermentation of xylose and rice straw hydrolysate to ethanol by *Candida shehatae* NCL-3501. **Journal of Industrial Microbiology**, vol. 3 p. 17-20, 1996.

ABIQUIM – Associação Brasileira da Indústria Química. Ficha técnica Disponível em>[http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=A CETATO%20DE%20n%20-%20PROPILA](http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=A%20CETATO%20DE%20n%20-%20PROPILA)> acesso em Dezembro 2018.

AGBOGBO, F., COWARD-KELLY, G. Cellulosic ethanol production using thenaturally occurring xylose-fermenting yeast, *Pichia stipitis*. **Biotechnology**, vol. 30, p. 1515–1524, 2008.

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Big Banco de Informações**, 2017. Disponível em:<<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>> Acesso em Fevereiro 2017.

ANEEL- Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**, 2008. Disponível em:<<http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas3ed.pdf>> Acesso em Fevereiro 2017.

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biocombustíveis**. Disponível em <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis>> Acesso em Fevereiro 2017.

ARO, N., PAKULA, T., PENTTILA, M. Transcriptional regulation of plant cell wall degradation by filamentous fungi. **FEMS Microbiology Reviews**, vol. 29, p. 719– 739, 2005.

ASTM E870–82 (2013). American Society for Testing and Materials. **Standard Test Methods for Analysis of Wood Fuels**. Disponível em <<https://www.astm.org/Standards/E870.htm>>. Acesso em Mar, 2017.

BEHERA, S., ARORA, R, NANDHAGOPAL, N., KUMAR, S. Importance of chemical pretreatment for bioconversion of lignocellulosic biomass. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol.36, p. 91-106, 2014.

BEN- Balanço energético nacional, 2010. Disponível em <ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf> Acesso em Fevereiro 2017.

BEN – Balanço Energético Nacional, 2010. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2010.pdf> Acesso em Mar. 2017.

BEN - Balanço Energético Nacional, Relatório Final 2016. Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/downloads/Relatorio_Final_BEN_2016.pdf>. Acesso em Fevereiro 2017.

BENG, J.M., TYMOCZKO, J.L., STRYER, L. Bioquímica. Enzimas: Conceitos Básicos e Cinética, Cap. 8, p. 201. 5ª ed. Editora: **Guanabara Koogan**, 2004

BERNARDO NETO, O. **Integração das Principais Tecnologias de Obtenção de etanol através do processamento de celulose (2º geração) nas atuais usinas de processamento de cana-de-açúcar**. Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - São Paulo, São Paulo, 2009.

BOONSAWANG, P., SUBKAREE, Y., SRINORAKUTARA, T. Ethanol production from palm pressed fiber by prehydrolysis prior to simultaneous saccharification and fermentation (SSF). **Biomass and Bioenergy**, vol. 40, p. 127 - 132, 2012.

CARDOSO, M.H. **Coração de bananeira em conserva: processamento e produto**. 2007. Patente número: PI0506651-4. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br/>>. Acesso em 20 jun. 2017.

CARVALHO, V.S. **Aproveitamento da casca de banana na elaboração de barras de cereais: avaliação dos compostos bioativos, características físicas e sensoriais**. Tese apresentada como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos, junto ao Programa de Pós Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto-SP, 2015

CENDRES, A.; CHEMAT, F.; PAGE, D.; LE BOURVELLEC, C.; MARKOWSKI, J.; ZBRZEZNIAK, M.; RENARD, C. M. G. C.; PLOCHARSKI, W. Comparison between microwave hydrodiffusion and pressing for plum juice extraction. **LWT - Food Science and Technology**, v. 49, p. 229–237, 2012.

CEPA – Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina, 2015-2016**. Disponível em: <http://docweb.epagri.sc.gov.br/website_cepapublicacoes/Sintese_2016.pdf> Acesso em Fev. 2017.

CEPA - Centro de Socioeconomia e Planejamento Agrícola, governo do estado de Santa Catarina. **Síntese Anual da Agricultura de Santa Catarina, 2015**.

CHANDEL, K.A, CHANDRASEKHAR, G., RADHIKA, K, RAVINDER, R, RAVINDRA, P. Bioconversion of pentose sugar into ethanol: a Review and future directions.

Biotechnology and Molecular Biology- Academic Journals. Vol. 6, p 08-20, January, 2011.

CHUNG, H-S; KIM, D-S.; KIM, H-S; LEE, Y-G; SEONG, J.H. Effect of freezing pretreatment on the quality of juice extracted from *Prunus mume* fruit by osmosis with sucrose. **Food Science Technology**, v. 54, n. 1, p. 30-34, 2013.

CINELLI, B.A. **Produção de Etanol a Partir da Fermentação Simultânea e Hidrólise do Amido Granular de Resíduo Agroindustrial.** 183 p. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

COELHO, R.R.P.; MATA, M.E.R.M.C.; BRAGA, M.E.D. Alterações dos componentes nutricionais do pseudocaule da bananeira quando processado visando sua transformação em palmito. **Rev. Bras. Prod. Agroind.**, vol. 3, n. 1, p. 21-30, Campinas Grande, 2001.

CORREA, J.P. Efeito do pré-tratamento térmico e enzimático da cebola sobre a extração de suco e influência da temperatura e pressão sobre a concentração do produto. 74p. Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos da Universidade da Região de Joinville, 2016.

CORRÊA, P.T.A. **Bananaplac: lâminas, laminados e compensados obtidos a partir de material lignocelulósico da bananeira.** 2006. Patente número: PI0600116-5. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br/>>. Acesso em: 20 mar. 2017.

CONQUIMICA - Ficha técnica. Disponível em <http://www.conquimica.com/wp-content/uploads/2015/06/ft_acetato_de_isobutilo.pdf> Acesso em Janeiro, 2018.

CORTEZ, L.A.B.; JORDAN, R.A.; PÉREZ, J.M.M.; ROCHA, J.D. *Roadmap tecnológico para o etanol.* In: Cortez, L.A.B. (Org), **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**, São Paulo, Ed. Blucher, 2008.

CPTEC – Centro de previsão de tempo e estudos climáticos- **Estação chuvosa.** Disponível em <<http://clima1.cptec.inpe.br/estacaochuvosa/pt>> Acesso em Dezembro, 2017

CTBE - **Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol, Etanol Celulósico.** Disponível em: <<http://www.bioetanol.org.br/interna/index.php?pg=MzM=>> Acesso em Maio, 2017.

DARÉ, R. M. **Avaliação de coeficientes de rendimento e modelagem do processo fermentativo de produção de etanol.** Dissertação de mestrado, Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos – UFSCar. São Carlos SP, 2008.

DE SOUSA, J.L.U.; MONTEIRO, R.A.B. Fatores interferentes na fermentação alcoólica para a produção de etanol. **FAZU em Revista**, n. 8, p. 100-107, 2011. Disponível em <<http://www.fazu.br/ojs/index.php/posfazu/article/viewFile/471/363>>. Acesso em Ago, 2017.

DUVAL, L.D.; SANTOS, A.C. **Biocombustíveis**, 2012. Disponível em: <<http://www.essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/viewFile/6734/4436>> Acesso em Mar. 2017.

ESTERBAUER, H., STEINER, W., LABUDOVA, I., HERMANN, A., HAYN, M. Production of Trichoderma cellulase in Laboratory and Pilot Scale. **BioresourceTechnology**. vol. 36, p. 51 – 65, 1991.

FAN, L. T.; LEE, Y. H.; BEARDMORE, D. R. The influence of Major Structural features of Cellulose on Rate of Enzymatic hydrolysis. **Biotechnology and Bioengineering**. Vol. 23, 419-424, 1981.

FEDERIZZI, M. **Potencialidade do uso de resíduos lignocelulósicos da bananicultura como substrato de fermentação do processo de metanização**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Joinville, 2008.

FERREIRA, Juliana. **Produção de levana e bioetanol utilizando cascas de banana por zymomonas mobilis**. Dissertação de mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho” – São José do Rio Preto, 2013.

FERIOTTI, D. G. **Proposta de aproveitamento do pseudocaule da bananeira (Musa cavendish)**. Dissertação de mestrado, para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Engenharia Mauá do Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2010.

FERNANDES, E. **Valorização de resíduos gerados na bananicultura por conversão termoquímica por pirólise**. Dissertação de mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Joinville, 2012.

FERNANDES, E. R. K; MARANGONI, C ; SOUZA, O; SELLIN, N. Thermochemical characterization of banana leaves as a potential energy source. **Energy Conversion and Management**, v. 75, p. 603-608, 2013.

FIGUERUT, J.; MEIRELLES, A.J.; GUIRARDELLO, R.; COSTA, A.C. Fermentação, Hidrólise e Destilação. In: Cortez, E.E.S.; Lora, E.E.S.; Gómes, E.O. (Org), **Biomassa para Energia**, Campinas: Ed. UNICAMP, 2008, p.435-491.

FOLEGATTI, M. I. S.; MATSUURA, F. C. A. U. **Frutas do Brasil – Banana pós-colheita**. Brasília: Embrapa, 2002.

FRANCO, C. F., CASTRO, M. M., WALTER, M. E. Estudo das cascas de banana das variedades prata, caturra e maçã na biossorção de metais pesados gerados pelos efluentes dos laboratórios do Centro Universitário de Belo Horizonte. **E-xacta**, vol.8, p. 99-115, 2015.

GHOSE, T.K.; TYAGI, R.D. Rapid ethanol fermentation of cellulose hydrolysate. I - Batch versus continuous systems. **Biotechnology and Bioengineering**, v.21, n.8, p. 1387-1400, 1979.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e Energia. **Química Nova**, São Paulo, v.32, n.3, 2009.

GONÇALVES FILHO, L.C. **Utilização do pseudocaule de bananeira como substrato da fermentação alcoólica: avaliação de diferentes processos de despolimerização** Dissertação de mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Joinville, 2011.

GONCALVES FILHO, L. C. ; FISCHER, G. A. A. ; SELLIN, N. ; MARANGONI, C. ; Souza, O. Hydrolysis of Banana Tree Pseudostem and Second-Generation Ethanol Production by *Saccharomyces cerevisiae*. **Journal of Environmental Science and Engineering**, v. 1, p. 65-69, 2013.

GÍRIO, F.M., FONSECA, C., CARVALHEIRO F., DUARTE, L.C., MARQUES, S., BOGEL-ŁUKASIK, R. Hemicelluloses for fuel ethanol: A review. **Bioresource Technology**, vol. 101. p. 4775 – 4800, 2010.

GRADET, E.T. Barreiras e Regulamentos Técnicos ao Comércio dos Biocombustíveis na União Européia. In: Congresso Brasileiro de Plantas Oleaginosas, Óleos, gorduras e Biodiesel, 6, 2009, Montes Claros. **Anais**. Montes Claros, INMETRO, 2009.

GROSSI, E. C. **Produção de etanol de segunda geração a partir de um derivado de celulose**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Química e Biológica). Instituto de Química da Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

GUEDES, F., F. **Inovação na produção de etanol de segunda geração pelas acarificação de resíduos de algodão provenientes da indústria têxtil**. 2012. Dissertação (Pós-Graduação em Química). Universidade Regional de Blumenau. Blumenau, 2012.

GUO, j., SONG, K., SALMÉN, L., YIN, Y. Changes of wood cell walls in response to hygro-mechanical steam treatment. **Carbohydrate Polymers**, vol. 115 p. 2017-214, 2015.

HAMELINCK, C. N., HOOIJDONK, G. V., FAAIJ, A. P. C. Ethanol from lignocellulosic biomass: techno-economic performance in short-, middle- and long-term. **Biomass and Bioenergy**. vol. 28, p. 384–410. 2005.

HIDENO, A., INOUE H, TSUKAHARA K, FUJIMOTO S, MINOWA T, INOUE S, ENDO T, SAWAYAMA S. Wet disk milling pretreatment without sulfuric acid for enzymatic hydrolysis of rice straw. **Bioresource Technology**, vol.100 p. 2706–2711, 2009.

HOPFNER, Simone Andrea. **Produção de etanol por diferentes espécies de microorganismos a partir de mostos de cascas de banana (frescasou sacarificadas) com diferentes concentrações de açúcaresredutores**. Dissertação (Engenharia de Processos). Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Santa Catarina**. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/download/mapa_e_municipios.php?uf=sc> Acesso em Fev, 2018.

IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos Resíduos Orgânicos do Setor Agrossilvopastoril e Agroindústrias Associadas – 2012**. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/120917_relatorio_residuos_organicos.pdf> Acesso em Fev. 2017.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola (LSPA)**. Disponível em: < <http://www.sidra.ibge.gov.br/> >. Acesso em Fevereiro de 2015.

JABBAR, S.; ABID, M.; HU, B.; WU, T.; HASHIM, M. M.; LEI, S.; ZHU, X.; ZENG, X. Quality of carrot juice as influenced by blanching and sonication treatments. **LWT - Food Science and Technology**, v.55, p.16–21, 2014.

JUNQUEIRA, T. L. **Simulação de colunas de destilação convencional, extrativa e azeotrópica no processo de produção de bioetanol através da modelagem de não equilíbrio e da modelagem de estágios de equilíbrio com eficiência**. 187 f. Dissertação de mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

JUTURU, V., WU, J. C. Microbial cellulases: Engineering, production and applications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 33, p.188-203,2014.

KELLER, F.A., HAMILTON, J. E., NGUYEN, Q. A. Microbial Pretreatment of Biomass. **Biochemistry and Biotechnology**, vol. 105, p. 105-108, 2003.

KIM, K.H., TUCKER, M.P., NGUYEN, Q.A. Effects of Pressing Lignocellulosic Biomass on Sugar Yield in Two-Stage Dilute-Acid Hydrolysis Process. **Biotechnology Progress**, vol. 18, p. 489, 2002.

KORPINEN, R., PEDRO, F. Extração de lignina de biomassa de madeira mediante uma solução hidrotrópica. Peer-Reviewed Article. **O Papel**, vol.70, p 69-82, 2009.

KRISHNAN, C., SOUZA, L. C., JIN, M., CHANG, L., DALE, B.E., BALAN. V. Alkali-Based AFEX Pretreatment for the Conversion of Sugarcane Bagasse and Cane Leaf residues to Ethanol. **Biotechnology and Bioengineering**, vol. 107, p.441-450, 2010.

KUHAD, R. C., GUPTA, R. KHASA, Y. P., SINGH, A., ZHANG, P. Y.-H. Bioethanol production from pentose sugars: Current status and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 15, p 4950–4962, 2011.

LANS C, HARPER T, GEORGES K, RIBEIRO E.L.A. Medicinal plants used for dogs in Trinidad and Tobago. **Preventive Veterinary Medicine**, Volume, 45, p 149 -163.

LARSON, E.D., Williams, R.H., LEAL, R.L.V. **A review of biomass integrated gasifier/gas turbine combined cycle technology and its application in sugarcane industries, with an analysis for Cuba.** Energy for sustainable development, vol. 5, p. 54-76, 2001.

LEMOS, J.L.S. **Estudo da produção de xilanases por *Aspergillus awamori* em bagaço de cana.** 200. Dissertação (Programa de Pós Graduação em tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

LEONEL, Magali, CEREDA Marney Pascoli. **Caracterização Físico-Química de algumas Tuberosas Amiláceas.** Ciências e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 22(1): 65-69, jan.-abr. 2002.

LIEBL, G.F. **Influência das Condições de Secagem e Tamanho da Partícula Sobre a Sacarificação do Pseudocaule da Bananeira.** 109f. Dissertação de mestrado em Engenharia de Processos, Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, Joinville, 2015.

LIMA, U. A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. **Biotecnologia industrial - Processos fermentativos e enzimáticos**, vol. 3. Ed. Edgard Blücher. São Paulo. 2001.

LIMA, T.C.; ARAÚJO, I.O.; ANTUNES, J.G.; MATOS, C.J.G.; PEREIRA, C.S.S. Estudo da Produção de Bioetanol a partir do Bagaço de Malte. **Anais.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica, 10, 2013. Vassouras, COBEQ IC, 2013.

LIN, T. H., HUANG, C. F, GUO, G. L., HWANG, W. S., HUANG, S.L. Pilot-scale ethanol production from rice straw hydrolysates using xylose-fermenting *Pichia stipites*. **Bioresource Technology**, vol. 116, p 314-319, 2012.

LÓPEZ-LINARES, J.C., ROMERO, I., CARA, C., RUIZ, E., MOYA, M., CASTRO, E. Bioethanol production from rapeseed straw at high solids loading with different process configurations. **Fuel**, vol. 122, p. 112–118, 2014.

LYND, R. L., WYMAN, E. C., GERNGROSS, U. T. Biocommodity Engineering. Biocommodity Engineering. **Biotechnology Progress**, vol. 15, p 777-739.

MACEDO, I.C.; SEABRA. J.E.A.; SILVA, J.E.A.R, S. (2008). Greenhouse gases emissions in the production and use of ethanol from sugarcane in Brazil: The 2005/2006 averages and a prediction for 2020". **Biomass and Bioenergy**, v. 32, p. 582-595.

MACHADO, C. M. M.; ABREU, F. R. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. **Revista de Política Agrícola**, n. 3, p. 64-78, 2006.

MACHADO, P. R. **Produção de etanol a partir de melão de soja**. Dissertação do mestrado em Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 1999.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J. Nutrition and metabolism. **Brockbiology of microbiology**. 9 ed. NJ: Prentice-Hall, Nova York, 2000.

MAIA, B. G. O. **Valorização de resíduos da bananicultura e da rizicultura na produção de briquetes**. Dissertação (Engenharia de Processos). Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2013.

MAIA, F.S. **Alternativas para Exportação de Cachaça Artesanal: Um exemplo da Alemanha**, 2005. Disponível em: <http://editora.ufla.br/site/_adm/upload/boletim/bol_57.pdf> Acesso em Mar,2011.

MARTINS, L.H.S., RABELO, S.C., COSTA, A.C. Effects of the pretreatment method on high solids enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation of the cellulosic fraction of sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, vol. 191, p. 312–321, 2015.

MARZZOCO, A. TORRES, Bayardo Baptista. **Bioquímica Básica**. Editora Guanabara, Rio de Janeiro,1990.

MME- **Resenha Energética Brasileira Resultado de 2015**, 2016. Disponível em<<http://www.aben.com.br/Arquivos/456/456.pdf>>Acesso em Fev. 2017.

MME – MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Matriz energética nacional 2030**. Brasília, 2007. Disponível em:<<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1432020/Matriz+Energ%C3%A9tica+Brasileira+2030+-+%28PDF%29/708f3bd7-f3ed-4206-a855-44f6d4db29f6?version=1.1>>Acesso em: Jun, 2017.

MONTAGNOLI, M. S. **Produção de etanol 2g de pseudocaule de bananeira por co-cultura microbiana empregando diferentes formas de regime de operação do processo fermentativo**. Tese do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MOOD, S. H., GOLFESSHAN, A.H., TABATABAEI, M., S. J., NAJAFI, G. H., GHOLAMI, M., ARDJMAND, M. Lignocellulosic biomass to bioethanol, a comprehensive review with a focus on pretreatment. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. vol. 2, p 77-93, 2013.

MOURA, A.G.; CASTILHO, E.F.; PALACIO, J.C.E.; RENO, M.L.G.; LORA, E.E.S.; VENTIRINI, O.J.; OLMO, O. A. Biocombustíveis de primeira geração – Bioetanol pela rota convencional. In: LORA, E.E.S.; VENTURINI, O.J.(Org). **Biocombustíveis**, Rio de Janeiro, Ed: Interciência, 2012. p. 359-408.

NADULSKI, R.; GROCHOWICZ, J.; SOBCZAK, P.; KOBUS, Z.; PANASIEWICZ, M. ZAWISLAK, J.; STAREK, A.; ZUKIEWICZ-SOBCZAK, W. Application of freezing and thawing to carrot (*Daucus carota* L.) juice extraction. **Food Bioprocess Technology**, v. 8, p. 218-227, 2015.

NASTARI, P.M., **O Setor Brasileiro de Cana-de-açúcar Perspectivas de Crescimento.** Disponível em: <www.portalexame.abril.com.br/static/aberto/complementos/870/nastari_presentation.pdf> Acesso em junho de 2017.

NovaCana - **Produção de etanol de 2ª Geração por hidrólise.** Disponível em: <https://www.novacana.com/etanol/producao-por-hidrolise>> Acesso em maio de 2018.

OGEDA, T.L., PETRI, D.F.S. Hidrólise Enzimática de Biomassa. **Química Nova**, vol. 33, n.º. 7, p. 1549-1558, 2010

OLIVEIRA, C. **Equipamento para processo e obtenção de manta, a partir de fibra de caule de bananeira.** 2004. Patente número: PI0303480-1. Disponível em: <<http://www.patentesonline.com.br/>>. Acesso em 20 jul. 2017.

OLIVEIRA, M.C.C., SILVA, N.C.C., NOGUEIRA, A., WOSIACKI. Avaliação do método de liquefação enzimática na extração de suco de maçã. **Ciência Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v. 26, n. 4, p. 906-915, out./dez. 2006.

OLIVO, C.J, PEREIRA, T.L.E, DE CARVALHO, N.M, VOGEL, F.F, HEINZMANN, B.M, NEVES, A.P. Uso da bananeira (*Musa spp.*) no controle de parasitas de animais domésticos: do empirismo à ciência. **Livestock Research for Rural Development**. v.19, n 11, nov.2007.

PACHECO, D.D. et al. **Uso de pseudocaule de bananeira enriquecido com nitrogênio e fósforo como substrato para o cultivo de samambaias.** *Pesq. Agropec. Trop., Goiânia*, v. 40, n. 1, jan./mar. 2010.

PACHECO, T.F. **Produção de Etanol: Primeira ou Segunda Geração? CircularTécnica 4**, 1ª ed. 6 p. Brasília – DF, 2011.

PALMAROLA-ADRADOS, B.; CHOTEBORSKÁ, P.; GALBE, M.; ZACCHI, G. Ethanol production from non-starch carbohydrates of wheat bran. **Bioresource Technology**, n. 96, p.843–850, 2005.

PAUL, V., KANNY, K., REDHI G.G., Formulation of a novel bio-resin from banana sap. **Industrial Crops and Products**, v 43, p. 496-505.

PIMENTA, A.M., ZAMBRANO, F., VENTURINI FILHO, W.G. Suco integral de amora (*Morus Nigra L.*) obtido através de prensagem e despulpamento: rendimento e caracterização físico-química. **Alimentos e Nutrição, Araraquara**, v. 23, n. 2, p. 335-339, abr./jun. 2012

PITARELO, A.P. **Avaliação da susceptibilidade do bagaço e da palha de cana-de-açúcar à bioconversão via pré-tratamento a vapor e hidrólise enzimática.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Química da Universidade Federal do Paraná, 2007.

PITARELO, A. P., SILVA, T.A., PERALTA-ZAMORA, P.G., RAMOS, L.P. Efeito do teor de umidade sobre o pré-tratamento a vapor e a hidrólise enzimática do bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**. vol.35, p 1502-1509, 2012.

PITARELO, A. P. **Produção de etanol celulósico a partir do bagaço de cana pré-tratado por explosão a vapor**. Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em química da Universidade Federal do Paraná, 2013.

Portal Energia – Energia renováveis. **Tipos de Biocombustíveis**. Disponível em <<https://www.portal-energia.com/tipos-de-biocombustiveis/>> Acesso em Mar. 2017.
ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Regulamento Técnico ANP nº 3/2015**. Disponível em <<file:///C:/Users/Bianca/Downloads/78554.pdf>> Acesso em Mar. 2017.

PRÁ, F. B. **Avaliação do aproveitamento de folhas ressecadas de bananeira na produção de briquetes por extrusão**. Dissertação (Engenharia de Processos). Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2016.

Portal Brasil. **Matriz Energética**, 2015. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/meio-ambiente/2010/11/matriz-energetica>> Acesso em Fev. 2017.

PRAPORSCIC, I.; LEOVKA, N.I.; GHNIMI, S.; VOROBIEV, E. Ohmically heated, enhanced expression of juice from apple and potato tissues. **Biosystems Engineering**, n. 93, p. 199-204, 2006.

REB - Resenha energética brasileira, 2015. Disponível em <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/1732840/Resenha%2BEnerg%25C3%25A9tica%2B-%2BBrasil%2B2015.pdf/4e6b9a34-6b2e-48fa-9ef8-dc7008470bf2>> Acesso em Mar, 2017.

RIBEIRO, C. A. F.; HORII, J. Potencialidades de linhagens de levedura *Saccharomyces cerevisiae* para a fermentação do caldo de cana: **Scientia Agrícola**, v.56, p.255-263, 1999

SAHA, B. C. Hemicellulose bioconversion. **Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology, Hampshire**, v.30, p.271-291, 2003.

SAITO, I. M., CABELLO, C. Produção de etanol a partir de hidrolisado obtido por tratamento hidrotérmico de farelo de mandioca. **Energia agricultura, Botucatu**, vol. 21, n. 3, p.34-44, 2006.

SANTOS, F.A., QUEIRÓZ, J.H. COLODETTE, J.L. FERNANDES, S.A., GUIMARÃES, V.M., REZENDE, S.T. Potencial da palha de cana-de-açúcar para produção de etanol. **Química Nova**. vol.35 p.1004-1010, 2012.

SANTOS, L.F., LEHNER, M.T., FREITAS, A.F., RIES, E.F. Caracterização de farinhas de banana caturra e utilização em biscoito dietético. **Magistra**, vol 27, n. 2, p. 145-158, 2015.

SANTOS, M.S., PETKOWICZ, C.L.O., WOSIACKI, G., NOGUEIRA, A., CARNEIRO, E.B.B. Caracterização do suco de araçá vermelho (*Psidium cattleianum* Sabine) extraído mecanicamente e tratado enzimaticamente. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 29, supl., p. 617-621, 2007.

SEABRA, J. E. A. **Análise de opções tecnológicas para o uso integral da biomassa no setor de cana-de-açúcar e suas implicações**. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas, Campinas SP, 2008.

SHULZ, M. A. **Produção de bioetanol a partir de rejeitos da bananicultura: polpa e cascas de banana**. Dissertação (Engenharia de Processos). Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2010.

SIMS, R. E. H., MABEE, W., SADDLER, J. N., TAYLOR, M. An overview of second generation biofuel technologies. **Bioresource Technology**. vol.101, p. 1570–1580, 2010.

SILVA, R., HARAGUCHI, S. K., MUNIS, C. E., RUBIRA, A.F. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. Universidade Estadual de Maringá. **Química Nova**. vol. 32, p. 661-671, 2009.

SILVA, J.A., DAMASCENO, B.P.G.L., SILVA, F.L H., MADRUGA, M. S., SANTANA, D. P. Aplicação da Metodologia de Planejamento Fatorial e Análise de Superfícies de Resposta para Otimização da Fermentação Alcoólica.v. Universidade Estadual da Paraíba: **Química Nova**. vol. 31 p. 1073 – 1077, 2008.

SILVA, J.R. **Análise de viabilidade econômica do emprego de compósitos de PVC reforçado com fibra de bananeira**. Orientador: SCALICE, R.K. Trabalho de Graduação – Universidade do Estado de Santa Catarina, Joinville, 2008.

SILVA, J. S. (Ed.). **Produção de álcool combustível na fazenda e em sistema cooperativo**. Viçosa, 2007. Disponível em: <ftp://ftp.ufv.br/dea/poscolheita/Produ%E7%E3o%20de%20%C1lcool%20Combust%E Dvel%20na%20Fazenda%20e%20em%20Sistema%20Cooperativo/P%E1ginas%20i niciais.pdf>. Acesso em: Mar, 2017.

SILVA, N.L.C. **Produção de bioetanol de segunda geração a partir de biomassa residual da indústria da celulose**. 2010. 109 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, 2010.

SILVA, T., SANTOS, Z. O., ARAÚJO, T. F., SANTOS, V. C. S., CORRÊA, C. V. T. Banana – Fonte de energia. In: FÓRUM NACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA NO ENSINO MÉDIO E TÉCNICO, 1, 2009

SJÖSTRÖM, E. Wood Chemistry Fundamentals and applications. Capítulo 3: Wood Polysaccharides. California, **USA: Academic Press**, 2 ed, p. 63. 1993.

SOUSA, L. C.; CHUNDAWAT, S. P. S.; BALAN, V.; DALE, B. E. 'Cradle-to-grave' assessment of existing lignocellulose pretreatment technologies. **Curr. Opin. Biotechnol.** Vol. 20, 339, 2009

SOUZA, O., WISBECK, E., COELHO, B., **Produção de biogás a partir de biomassa residual gerada na industrialização da banana: Etapa II.** 3º Seminário de Integrado de Ensino, Pesquisa e Extensão – SIEPE. 21-25 Maio 2007, Joinville–SC. Disponível em: <<http://digital.univille.br/>>. Acesso em: 20 jul. 2017.

SOUZA, E. L. **Influência do pré-tratamento e da concentração de biomassa sobre a sacarificação do pseudocaule de bananeira e avaliação da destoxificação do caldo hidrolisado sobre a produção de etanol.** Dissertação (Engenharia de Processos). Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2016.

SOUZA, E. L.; SELLIN, N.; MARANGONI, C.; SOUZA, O. Influência de estratégias diferentes para a sacarificação do pseudocaule e da destoxificação do caldo na produção de etanol. **Applied Biochem Biotechnol**, 2017.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T.M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 4, p. 438-443, 2010.

SOUZA, O.; SCHULZ, M.A.; FISCHER, G.A.A.; WAGNER, M.T.; SELLIN, N. Energia alternativa de biomassa: bioetanol a partir da casca e da polpa de banana. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 915-921, 2012.

SOUZA, E.L.; LIEBL, G.F.; MARANGONI, C.; SELLIN, N.; MONTAGNOLI, M.S.; SOUZA, O. Bioethanol from fresh and dried banana plant pseudostem. **Chemical Engineering Transactions**, v. 38, p. 271-276, 2014.

SOUZA, P. K. **Simulação do processo de produção de etanol a partir de resíduos da bananicultura.** Dissertação (Engenharia de Processos). Universidade da Região de Joinville, Joinville, 2015.

SUN Y, CHENG J. Hydrolysis of lignocellulosic materials for ethanol production: a review. **Bioresource Technology** vol. 83, p.1–11, 2002.

SWINGS, J.; DE LEY, J. The biology of Zymomonas. *Bacteriological Reviews*, v. 41, p. 1- 46, 1977.

TAHERZADEH, M.J., NIKLASSON, C. Ethanol from lignocellulosic materials: pretreatment, acid and enzymatic hydrolyses, and fermentation. **ACSSymposium Series**, vol. 889, p. 49-68, 2004.

TAIZ, L., ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal. Capítulo 15: Paredes celulares.** Editora: Artmed, 3 ed., p. 339, 2006.

TEIXEIRA, J. A.; OLIVEIRA, R.; AZEREDO, J.; SOUZA, M.; SIL, C. Cell wall surface properties and flocculence of a *Kluyveromyces marxianus* strain. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 5, p. 197-203, 1995.

TOLMASKIM. Perspectivas e Planejamento do setor energético no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 26, p. 74, 2012.

TOQUERO, C., BOLADO, S. Effect of four pretreatments on enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation of wheat straw. Influence of inhibitors and washing. **Bioresource Technology**, vol. 157, p. 68–76, 2014.

TORTORA, G. J., FUNKE, B. R., CASE, L. C. **Microbiologia. Capítulo 5**. Editora: Artmed, 6 ed., p 134, 2000, Porto Alegre.

TRISTÃO, F.A., MORALES, B.R.S.C., POSSES, I.P., DIAS, K.S.P.D., DONADELLO, A.L.F., **Pintura à base de cal com seiva bruta do pseudocaule da bananeira**. Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos, 08-09 out. 2009, Vitória–ES.

TYE, Y. Y., LEE, K. T., ABDUULLAH. W.N.W., LEH, C.P. The world availability of non-wood lignocellulosic biomass for the production of cellulosic ethanol and potential pretreatments for the enhancement of enzymatic saccharification. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 60, p. 155–172, 2016.

WILL, F.; DIETRICH, H. Processing and chemical composition of rhubarb (*Rheum ehabarbarum*) juice. **LWT -Food Science and Technology**, n. 50, p. 673-678, 2013.

ZABED, H.; SAHU, J.N.; SUELY, A.; BOYCE, A.N.; FARUQ, G. Bioethanol production from renewable sources: Current perspectives and technological progress. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 71, p. 475-501, 2017.

ZHONG, C., LAU, M.W., BALAN, V., DALE, B.E., YUAN, Y.J. Optimization of enzymatic hydrolysis and ethanol fermentation from AFEX-treated rice straw. **Appl Microbiol Biotechnol**, vol. 84, p. 667–676, 2009.

ZHU, Z., SATHITSUKSANO, N., VINZANT, T., SCHELL, D. J., MCMILLAN, J. D., ZHANG, Y. H. P. Comparative Study of Corn Stover Pretreated by Dilute Acid and Cellulose Solvent-Based Lignocellulose Fractionation: Enzymatic Hydrolysis, Supramolecular Structure, and Substrate Accessibility. **Biotechnology and Bioengineering**, vol.103, p. 715–724, 2009.

ZHU, S., HUANG, W., HUANG, W., WANG, K., CHEN, Q., WU, Y. Pretreatment of rice straw for ethanol production by a two-step process using dilute sulfuric acid and sulfomethylation reagent. **Applied Energy**, vol. 154, p. 190–196, 2015.

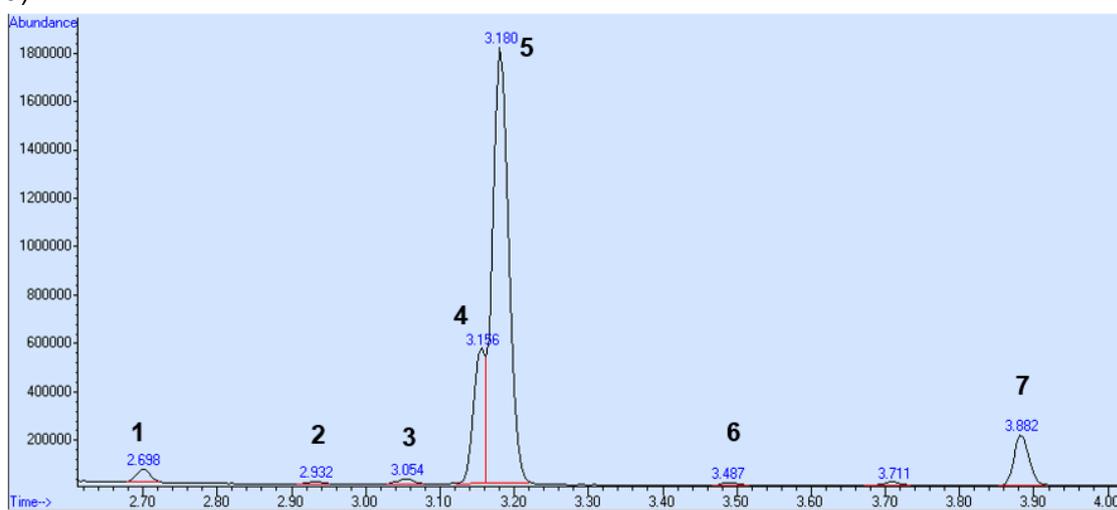
Apêndices

Apêndice 1

Principais compostos detectados pela análise cromatográfica (CG-MS) em diferentes tipos de seiva de pseudocaule, conforme pode ser visto nos cromatogramas (Figura A 1 a e b) (Figura A 2 a e b)

Figura A 1 – Cromatograma da seiva recém não concentrada: a) Seiva de pseudocaule “jovem” (antes da frutificação); b) Seiva de pseudocaule “adulto” (após colheita da banana).

a)



b)

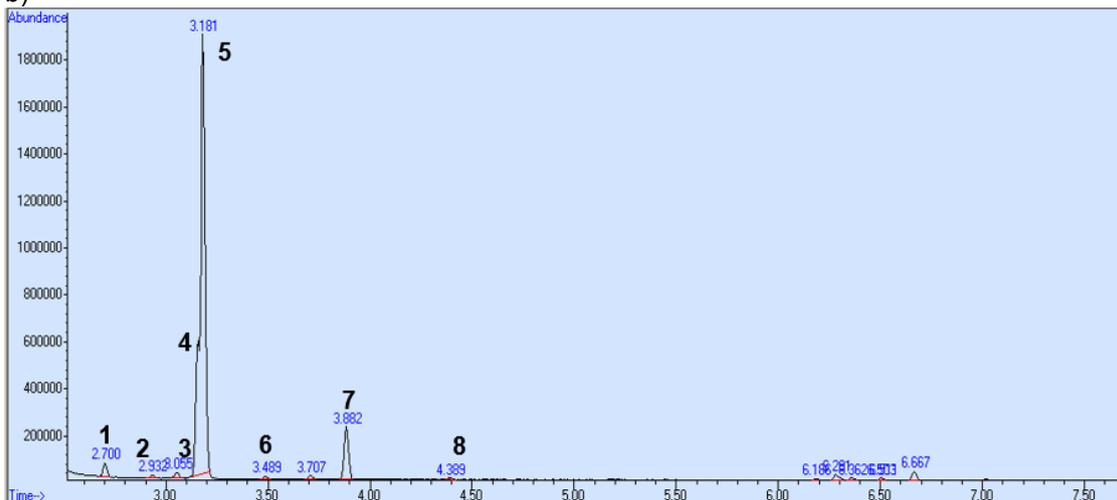
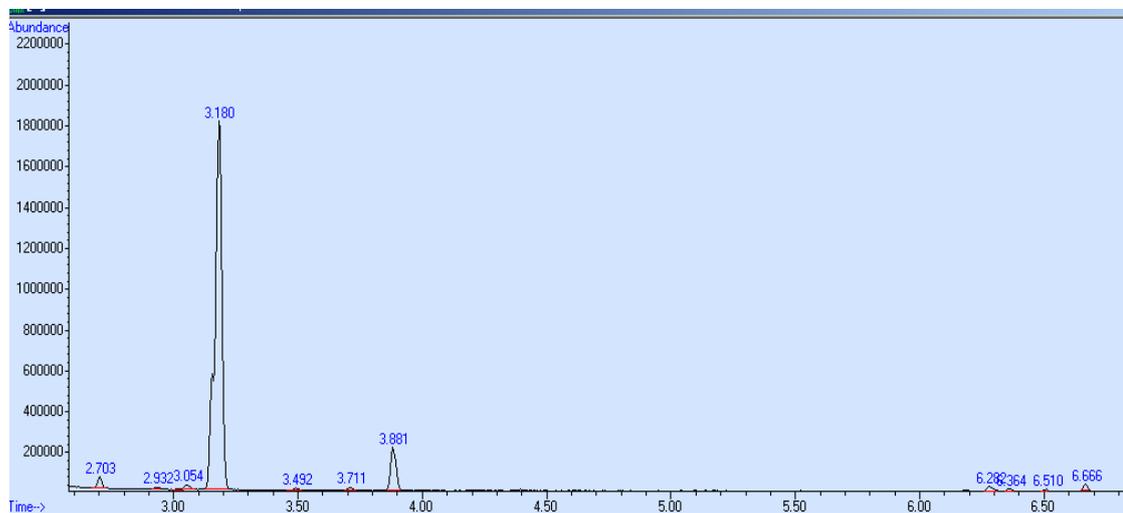
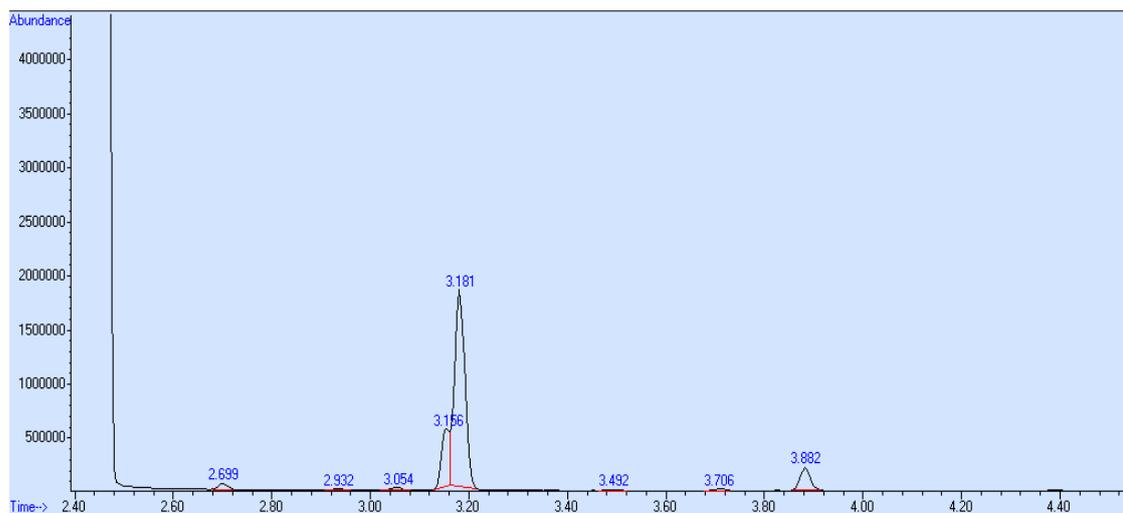


Figura A 2 – Cromatograma da seiva recém não concentrada: a) Seiva concentrada de pseudocaule “jovem” (antes da frutificação); b) Seiva concentrada de pseudocaule “adulto” (após colheita da banana).

a)



b)



Apêndice 2

Espectros obtidos por análise de FTiR, para comprovação da análise de CG-MS

Figura A 3 – Espectro Seiva de pseudocaule de bananeira “adulto”.

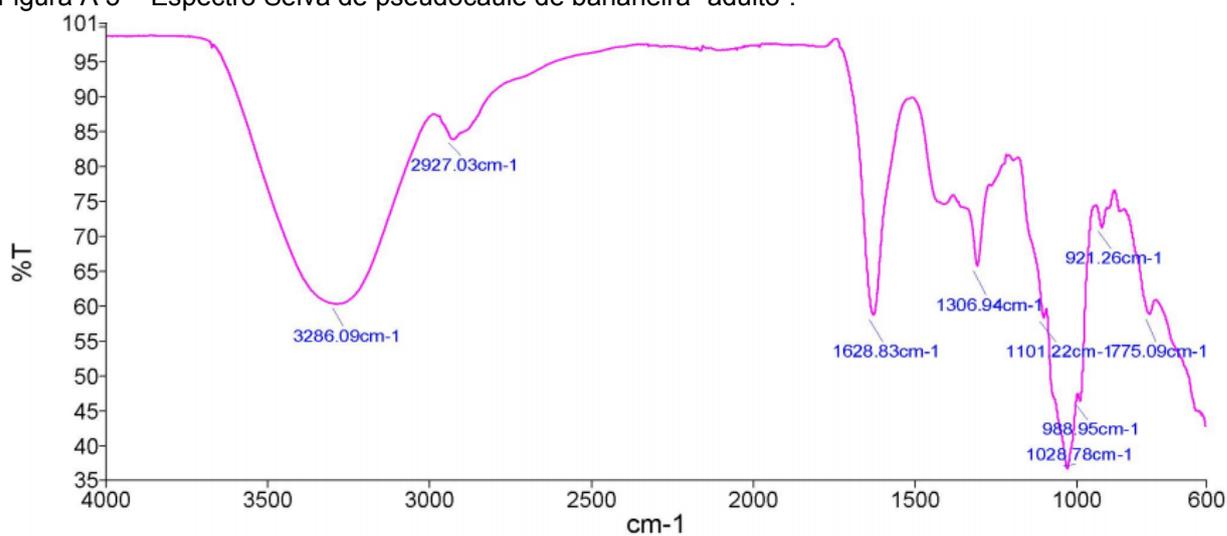
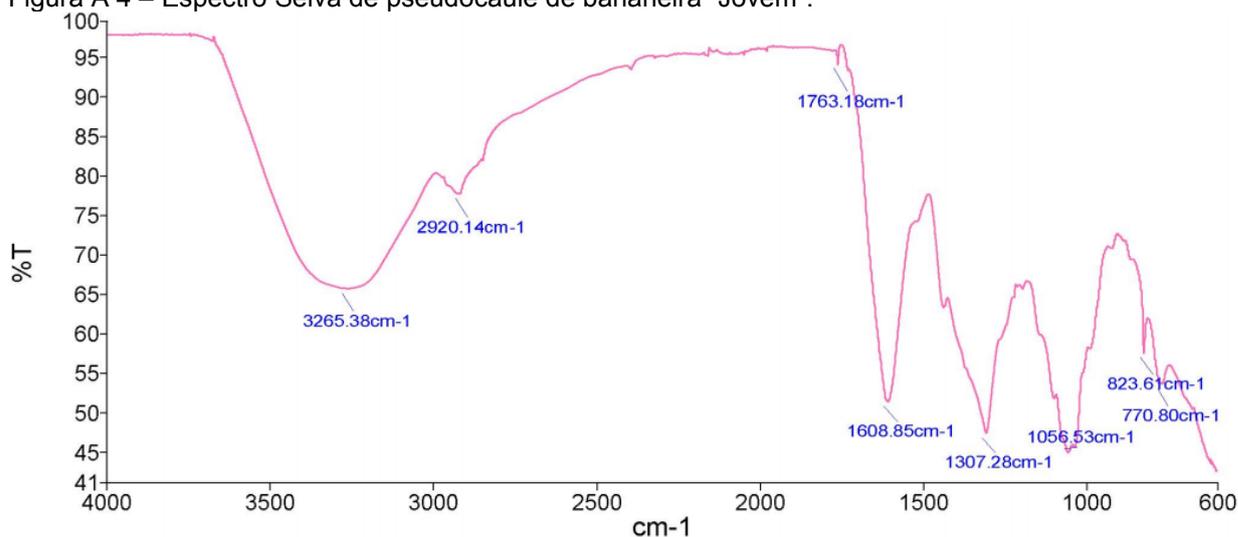


Figura A 4 – Espectro Seiva de pseudocaule de bananeira “Jovem”.



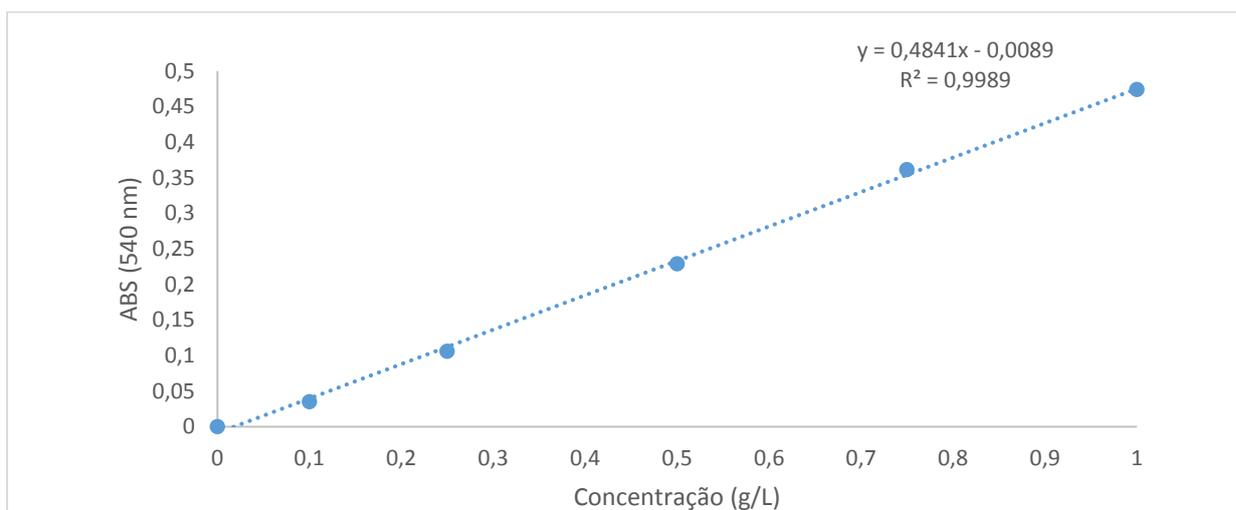
Apêndice 3

Curvas padrão para análises de açúcares pelo método DNS

Tabela A 1 – Valores de absorbância a 540 nm de amostra contendo diferentes concentrações de glicose para a confecção da curva de calibração pelo método DNS.

Concentração (g/L)	Absorbância	AR
0	0	0,00
0,1	0,035	0,09
0,25	0,106	0,24
0,5	0,229	0,49
0,75	0,361	0,76
1	0,474	1,00

Figura A 5 – Curva de Calibração obtida a partir de diferentes concentrações de glicose pelo método DNS.



AUTORIZAÇÃO

Nome do autor: Bianca Maria Sandrin

RG: 7283414

Título da Dissertação: Fermentação alcoólica de mosto composto por diferentes combinações de biomassas residuais da bananicultura.

Autorizo a Universidade da Região de Joinville – UNIVILLE, através da Biblioteca Universitária, disponibilizar cópias da dissertação de minha autoria.

Joinville, 28 de maio de 2018.

Bianca M. Sandrin
Assinatura do aluno