

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

**PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE
DESTILADOS DE BATATA-DOCE**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Caroline Trevisan Weber

Porto Alegre

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

PRODUÇÃO, CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE DESTILADOS DE BATATA-DOCE

Caroline Trevisan Weber

Dissertação de Mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia

Área de concentração: Pesquisa e Desenvolvimento de Processos

Linha de Pesquisa: Projeto, Simulação, Modelagem, Controle e Otimização de Processos Químicos e Bioprocessos.

Orientador:

Prof. Dr. Jorge Otávio Trierweiler

Co-Orientador:

Profa. Dra. Luciane Ferreira Trierweiler

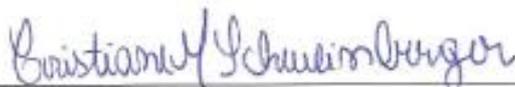
Porto Alegre

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação *Produção, Caracterização e Avaliação Econômica de Destilados de Batata-doce*, elaborada por Caroline Trevisan Weber, como requisito parcial para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia.

Comissão Examinadora:



Dra. Cristiane Martins Schweinberger / DEQUI – UFRGS



Profa. Dra. Raquel Cristine Kuhn / DEQUI – UFSM



Prof. Dr. Vitor Manfredi / ICTA – UFRGS

Resumo

A batata-doce possui grande importância na alimentação humana e expressivo potencial para produção de etanol. A produção brasileira desta cultura é a 20ª no ranking mundial, com produção de 525.814 t em 2014, destacando-se o Rio Grande do Sul, responsável por 30,68% da produção do país. Shochu é a bebida alcoólica destilada mais consumida no Japão, produzida por destilação de fermentados de diversas fontes amiláceas, incluindo a batata-doce. Em sua fabricação é utilizado o *koji*, cultura sólida de fungos tradicional dos países asiáticos, mas que torna o processo produtivo lento e com alto risco de contaminação. Considerando a alta produtividade de batata-doce e a influência da cultura japonesa no Brasil, principalmente na culinária, percebe-se uma grande oportunidade de agregar valor a essa matéria-prima. Os objetivos deste trabalho são fazer o estudo de um processo alternativo - mais rápido e com menor risco de contaminação - para produção de destilado de batata-doce similar ao shochu, e a avaliação da viabilidade econômica para produção do mesmo. No processo alternativo proposto, o *koji* foi substituído pela enzima Stargen 002, mistura contendo alfa-amilase e glucoamilase, e utilizou-se uma pectinase para redução da viscosidade do meio. O tempo de processo reduziu de 14 dias para apenas 1 dia. As análises dos compostos de interesse foram realizadas por HPLC e GC. Quanto às matérias-primas, o teor de açúcares redutores totais foi maior na batata-doce de casca creme e polpa creme ($30,42 \pm 1,54\%$), seguida pela batata-doce de casca púrpura e polpa creme ($27,44 \pm 0,36\%$) e por último a batata-doce de casca rosada e polpa alaranjada ($20,57 \pm 0,49\%$), e o teor de umidade seguiu a ordem inversa. Os resultados obtidos pelo processo padrão não foram satisfatórios em razão do baixo rendimento da fermentação alcoólica (40,59-42,51%) e da formação de compostos acima do limite da legislação, resultantes de fermentação acética. O rendimento experimental da fermentação alcoólica foi maior utilizando a levedura Angel Thermal Resistance Alcohol® (73,65%), seguida da Lalvin DV10® (70,39%) e por último a Lalvin EC1118® (67,31%), sendo maiores do que os obtidos com o uso das técnicas convencionais de produção de shochu, pois a não contaminação por bactérias acéticas no fermentado possibilitou maior rendimento em etanol. Por destilação em batelada, foram separadas frações de cabeça, coração e cauda, e em todas elas o componente álcool metílico mostrou-se acima dos limites da legislação. Realizou-se, então, experimento sem adição de pectinase, e o problema de formação de metanol foi eliminado. Entretanto, houve queda no rendimento da fermentação alcoólica (51,65-54,75%), indicando que a menor desintegração da batata-doce prejudica o andamento do processo fermentativo. Todos os compostos analisados mostraram-se dentro dos limites das normas vigentes. As frações cabeça e cauda foram descartadas e a fração coração foi diluída até teor alcoólico de 25% (v.v⁻¹) e envasada. O destilado produzido, batizado de “Tchêchu”, e o shochu comercial apresentaram as mesmas bandas de adsorção em análise FTIR, identificando semelhança entre os mesmos. O custo de produção de uma garrafa (750 mL) de “Tchêchu” foi estimado em R\$ 8,75. Com preço unitário de R\$ 15,75 e utilizando-se a taxa SELIC (9,25% a.a.) como taxa mínima de atratividade, tem-se VPL de R\$ 1.815.107,34, TIR de 26%, e *payback* descontado de 2,44 anos, o que mostra que a implantação de uma destilaria para produção de “Tchêchu” é economicamente viável.

Palavras-chave: batata-doce, etanol, bebida alcoólica destilada, shochu.

Abstract

Sweet potatoes have great importance in human food and have significant potential for ethanol production. The Brazilian production of this crop is the 20th in the world ranking, with production of 525,814 t in 2014, standing out Rio Grande do Sul, responsible for 30.68% of the country's production. Shochu is the most widely consumed spirit in Japan, produced by the distillation of fermented mash from a variety of starchy sources, including sweet potatoes. In its manufacture is used koji, a solid fungus culture traditional of the Asian countries, but that makes the productive process slow and at high risk of contamination. Considering the high productivity of sweet potatoes and the influence of Japanese culture in Brazil, a great opportunity to add value to this raw material is perceived. The objectives of this work are to study an alternative process - faster and with less risk of contamination - for the production of sweet potato distillate similar to shochu, and to study the economic viability analysis for its production. In the alternative process proposed, koji was replaced by the enzyme Stargen 002, a mixture containing alpha-amylase and glucoamylase, and a pectinase was used to reduce the viscosity of the medium. The process time reduced from 14 days to only 1 day. Analyzes of the compounds of interest were performed by HPLC and GC. Total reducing sugar content was higher in sweet potatoes with cream peel and cream pulp ($30.42 \pm 1.54\%$), followed by sweet potatoes with purple peel and cream pulp ($27.44 \pm 0.36\%$) and finally sweet potatoes with rose peel and orange pulp ($20.57 \pm 0.49\%$), and the moisture content followed the reverse order. The results obtained by the standard process were not satisfactory due to the low yield of alcoholic fermentation (40.59-42.51%) and the formation of compounds above the limit of the legislation, resulting from acetic fermentation. The experimental yield of alcoholic fermentation was higher using Angel Thermal Resistance Alcohol[®] (73.65%), followed by Lalvin DV10[®] (70.39%) and Lalvin EC1118[®] (67.31%), being higher than those obtained with the use of conventional methods of shochu production, since the non-contamination by acetic bacteria in the fermentation allowed a higher yield in ethanol. Fractions of head, heart and tail were separated by distillation, and in all of them the methyl alcohol component showed above the limits of the legislation. An experiment was performed without addition of pectinase, and the problem of methanol formation was eliminated. However, there was a decrease in the yield of alcoholic fermentation (51.65-54.75%), indicating that lower disintegration of sweet potatoes impairs the progress of the fermentation process. All compounds analyzed were within the limits of the current laws. Head and tail fractions were discarded and heart fraction was diluted up to 25% alcoholic strength ($v.v^{-1}$) and bottled. The distillate produced, named "Tchêchu", and commercial shochu presented the same adsorption bands in FTIR analysis, identifying similarity between them. The cost of producing a bottle (750 mL) of "Tchêchu" was estimated at R \$ 8.75. With a unit price of R\$ 15.75 and using the SELIC rate (9.25%) as minimum acceptable rate of return there is a NPV of R\$ 1,815,107.34, an IRR of 26%, and a discounted payback of 2.44 years, which shows that the implementation of a distillery to produce "Tchêchu" is economically viable.

Keywords: sweet potato, ethanol, distilled beverage, shochu.

*“O sucesso consiste em ir de fracasso em fracasso sem
perder o entusiasmo”.*
(Winston Churchill)

Agradecimentos

A Deus.

Ao Jorge e à Lu, por me orientarem com excelência durante toda essa trajetória, por todas as ideias, pelo incentivo e pela confiança.

Aos meus pais, Carlos e Cleci, e à minha irmã, Cati, por sempre me apoiarem e me amarem incondicionalmente.

À minha família, por compreenderem os momentos em que me fiz ausente.

Ao Snow, por sempre me receber em casa com alegria e por me acompanhar nas longas noites escrevendo esse trabalho.

À Andressinha, minha irmã do coração, por estar sempre ao meu lado.

Às minhas queridas amigas Julia B., Julia S., Tan, Taís, Tina, Karen e Andressa M., que mantém a nossa linda e sincera amizade independente da distância.

Ao Gui, ao Lucas e ao Bruno, pela amizade, pelo apoio e pela ajuda em vários momentos.

À Cris, ao Juliano e à Cecília, pelos vários ensinamentos técnicos e pela amizade.

À Tai, pela companhia até altas horas no laboratório.

Aos bolsistas de iniciação científica: Camila e Pedro, por me auxiliarem no início dos procedimentos; e Gabi e Tiago, por levarem esse projeto junto comigo até o fim.

Aos técnicos, em especial ao Eduardo, à Bruna e à Tati, por se mostrarem sempre gentis e solícitos.

Ao CNPq, pelo fomento durante toda a pesquisa.

A todos que de alguma forma contribuíram para que este momento fosse possível.

SUMÁRIO

Capítulo 1 – Introdução	1
1.1 Motivação.....	1
1.2 Objetivos do trabalho.....	2
1.2.1 Objetivos gerais	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Estrutura da dissertação	2
Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica	5
2.1 Batata-doce	5
2.1.1 Tipos de batata-doce	7
2.1.2 Composição da batata-doce	8
2.1.3 Produtos à base de batata-doce.....	9
2.2 Amido	10
2.2.1 Processamento de substratos amiláceos para produção de bebidas alcoólicas.....	11
2.3 Enzimas.....	12
2.4 Leveduras	13
2.5 Fermentação	14
2.6 Destilação	16
2.7 Bebidas alcoólicas a partir de amiláceos.....	17
2.7.1 Bebidas indígenas fermentadas a partir de amiláceos.....	17
2.7.2 Tiquira	19
2.7.3 Whisky	19
2.7.4 Bebidas destilo-retificadas.....	20
2.7.5 Saquê	21
2.8 Shochu	22
2.8.1 Koji	23
2.8.2 Processo de produção do shochu.....	24
2.8.3 Compostos secundários.....	25
2.8.4 Legislação brasileira para o shochu	30
2.8.5 Processos alternativos de produção de bebidas alcoólicas amiláceas.....	31
Capítulo 3 – Materiais e Métodos	33
3.1 Reagentes e materiais	33
3.2 Caracterização da matéria-prima.....	33
3.3 Produção e análise de destilado de batata-doce baseado nas técnicas convencionais de produção de shochu.....	34
3.4 Produção e análise de destilado de batata-doce utilizando nova rota de produção.....	37
3.4.1 Identificação de problemas e novos testes para melhoria do processo	40
3.4.2 Espectroscopia de infravermelho	40
Capítulo 4 – Resultados e Discussão.....	43
4.1 Resultados referentes à produção e análise de destilado de batata-doce baseado nas técnicas convencionais de produção de shochu.....	43
4.2 Resultados referentes à produção e análise de destilado de batata-doce utilizando nova rota de produção.....	48
4.2.1 Com pectinase	48
4.2.2 Sem pectinase.....	50
4.2.3 Análise de Infravermelho.....	54

Capítulo 5 – Avaliação Preliminar do Potencial Econômico do “Tchêchu”	59
5.1 Mercado brasileiro de bebidas	59
5.2 Shochu x soju	60
5.3 Mercado do shochu	60
5.4 Pontos críticos da atividade agroindustrial	61
5.5 Análise de projetos de investimentos	62
5.5.1 Payback	62
5.5.2 Valor presente líquido.....	63
5.5.3 Taxa interna de retorno	63
5.6 “Tchêchu”	64
5.6.1 Cenário	64
5.6.2 Produto	64
5.6.3 Marca	65
5.6.4 Consumidores	66
5.6.5 Concorrentes.....	66
5.6.6 Distribuição e divulgação	66
5.6.7 Custos.....	67
5.6.8 Receitas.....	78
5.6.9 Resultados.....	78
5.6.10 Formação de preço	80
5.6.11 Viabilidade econômica.....	81
Capítulo 6 – Considerações Finais	85
6.1 Conclusões	85
6.2 Sugestões para trabalhos futuros.....	86
Referências	87
Apêndices	97
Apêndice I – Dedução Equações.....	97
Apêndice II – Curvas Analíticas	99
Apêndice III – Fichas Técnicas de Equipamentos	106
Apêndice IV – Cálculos do Balanço de Massa.....	110

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Produção de batata-doce nos 10 maiores países produtores em 2013 (Fonte: FAO, 2017).....	6
Figura 2.2: Produção de batata-doce por região do Brasil em 2014 (Fonte: IBGE, 2014)	6
Figura 2.3: Produção de batata-doce por estado em 2014 (Fonte: IBGE, 2014)	7
Figura 2.4: (a) BRS Cuia (b) BRS Rubissol (c) BRS Amélia (Fonte: EMBRAPA, 2011).....	7
Figura 2.5: Produtos a base de batata-doce.....	10
Figura 2.6: Via de Embden-Meyerhof (glicólise) (Fonte: MADIGAN et al., 2010).....	15
Figura 2.7: Formação de etanol a partir do piruvato (Fonte: NELSON et al., 2014)	15
Figura 2.8: Shochus comerciais (Fonte: PELLEGRINI, 2014)	22
Figura 2.9: <i>Koji</i> de arroz	23
Figura 2.10: Fluxograma de produção do shochu (Fonte: adaptado de YOSHIZAKI, 2011).....	25
Figura 2.11: Molécula de pectina (Fonte: MAIER et al., 2012).....	26
Figura 2.12: Formação de álcoois superiores (Fonte: SLUIS et al., 2001)	27
Figura 2.13: Formação de acetato de etila.....	28
Figura 2.14: Metabolismo central de produção de etanol e glicerol a partir da glicose (Fonte: MELO, 2006)	29
Figura 2.15: Representação esquemática da formação de furfural e HMF a partir de xilose e glicose (Fonte: ALMEIDA et al., 2009)	30
Figura 3.1: Fermentação em shaker – técnica convencional	35
Figura 3.2: Aparato de destilação por arraste a vapor.....	36
Figura 3.3: Procedimento experimental para produção de destilado de batata-doce.....	38
Figura 3.4: Aparato de destilação com coluna com recheio de anéis de Raschig.....	39
Figura 4.1: Acompanhamento da 1ª etapa fermentativa para o <i>koji</i>	44
Figura 4.2: Comparação da produção de etanol na 2ª fermentação para os diferentes tipos de batata-doce.....	44
Figura 4.3: Comparação do consumo de açúcares redutores na 2ª fermentação para os diferentes tipos de batata-doce	45
Figura 4.4: Espectro FTIR das frações de cabeça dos destilados de batata-doce para os três tipos de levedura em comparação com o shochu comercial.....	55
Figura 4.5: Espectro FTIR das frações de coração dos destilados de batata-doce para os três tipos de levedura em comparação com o shochu comercial.....	55
Figura 4.6: Espectro FTIR das frações de cauda dos destilados de batata-doce para os três tipos de levedura em comparação com o shochu comercial.....	56
Figura 4.7: Valores PC1 vs. PC2 do PCA normalizado do espectro MIR das amostras de destilado para os três tipos de levedura em comparação com o shochu comercial	57
Figura 5.1: Volume de vendas (consumo) por bebida alcoólica no Japão nos anos de 2012 e 2013 (Fonte: NATIONAL TAX AGENCY, 2013).....	60
Figura 5.2: Mudanças no volume tributável de bebidas alcoólicas no Japão (Fonte: NATIONAL TAX AGENCY, 2016)	61
Figura 5.3: Cronograma de operações por dorna	68
Figura 5.4: Balanço de massa para base de cálculo de 1000 kg (Fonte: adaptado de MASIERO, 2012).....	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Composição da batata-doce (Fonte: TACO, 2011)	9
Tabela 2.2: Legislação brasileira para o shochu (Fonte: MAPA, 2011)	31
Tabela 4.1: Caracterização da batata-doce e do <i>koji</i>	43
Tabela 4.2: Rendimento teórico e experimental da fermentação pela técnica de produção convencional do shochu	45
Tabela 4.3: Resultados das análises cromatográficas dos destilados de diferentes tipos de batata-doce via método tradicional	47
Tabela 4.4: Rendimento teórico e experimental da fermentação pela nova rota de produção	48
Tabela 4.5: Resultados das análises cromatográficas dos destilados de batata-doce produzidos pela nova rota	49
Tabela 4.6: Rendimento teórico e experimental da fermentação pela nova rota de produção sem pectinase	51
Tabela 4.7: Resultados das análises cromatográficas dos destilados de batata-doce produzidos pela nova rota sem pectinase	51
Tabela 4.8: Rendimento teórico e experimental da fermentação pela nova rota de produção sem pectinase e com metabissulfito de potássio em vez de antibiótico	53
Tabela 4.9: Resultados das análises cromatográficas dos destilados de batata-doce produzidos pela nova rota sem pectinase e com metabissulfito de potássio	53
Tabela 5.1: Estratégias do composto mercadológico baseadas no ciclo de vida dos produtos agroalimentares (Fonte: Adaptado de SILVA E BATALHA, 2001)	65
Tabela 5.2: Investimento inicial	68
Tabela 5.3: Preços de insumos em 2017	70
Tabela 5.4: Cálculo da depreciação para o período de 10 anos	71
Tabela 5.5: Valores de referência para um dia de operação	72
Tabela 5.6: Tempo diário necessário para as atividades relacionadas a produção do destilado	74
Tabela 5.7: Tempo de mão-de-obra gasto por dia em cada uma das atividades da produção de destilados	75
Tabela 5.8: Consumo diário de energia elétrica em cada uma das atividades da produção de etanol a partir de batata-doce	76
Tabela 5.9: Consumo de água (m ³) por dia por atividade	77
Tabela 5.10: Consumo óleo, graxa e diesel por dia por atividade	78
Tabela 5.11: Custos para produção agrícola de batata-doce por hectare (Fonte: Masiero, 2012)	78
Tabela 5.12: Custos diários para o processamento da batata-doce	79
Tabela 5.13: Custo por litro de “Tchêchu”	80
Tabela 5.14: Fluxo de caixa	83

NOTAÇÃO E SIMBOLOGIA

ART	Açúcares redutores totais
ART _{bd}	Teor de açúcares redutores totais da batata-doce
ART _k	Teor de açúcares redutores totais do <i>koji</i>
Cp _{batata-doce}	Calor específico da batata-doce
FID	Detector de ionização em chama
FIR	Região de infravermelho distante
FTIR	Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier
GC	Cromatografia gasosa
HPLC	Cromatografia líquida de alta eficiência
H _{vapor}	Entalpia do vapor de água
m _{batata-doce}	Massa de batata-doce
m _{vapor}	Massa de vapor de água
MIR	Região de infravermelho médio
NIR	Região de infravermelho próximo
PCA	Análise de componentes principais
RID	Detector de índice de refração
TIR	Taxa interna de retorno
TMA	Taxa mínima de atratividade
UATR	Refletância total atenuada universal
VPL	Valor presente líquido
X _{et,exp}	Teor de etanol experimental formado na fermentação
X _{et,teórico}	Teor de etanol teórico formado na fermentação
X _{bd}	Razão da massa de batata-doce adicionada pelo volume de diluição em água
X _k	Razão da massa de <i>koji</i> adicionado pelo volume de diluição em água
X _{ubd}	Teor de umidade da batata-doce
X _{uk}	Teor de umidade do <i>koji</i>
ΔT	Variação de temperatura

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Motivação

A cultura da batata-doce, além de constituir alimento humano de bom conteúdo nutricional, principalmente como fonte de energia, tem grande importância na alimentação animal e na produção industrial de farinha, amido e álcool. Ocupa o sexto lugar entre as hortaliças mais plantadas no Brasil, sendo cultivada em todas as regiões do país, com destaque para a região Sul. Embora em seu cultivo seja utilizada pouca tecnologia, o índice de produtividade da batata-doce tem sido crescente nos últimos anos, podendo chegar a 60 toneladas por hectare (EMBRAPA, 2008). Este fato, aliado ao conhecimento do processo de hidrólise enzimática do amido em açúcares fermentescíveis, permite a transformação desta matéria-prima em etanol.

Estudos anteriores no GIMSCOP (Grupo de intensificação, modelagem, simulação, controle e otimização de processos) com Masiero (2012), Riso (2014) e Schweinberger (2016) aperfeiçoaram o processo de produção de etanol a partir de batata-doce, chegando a um custo de produção de R\$ 1,35 por litro de etanol hidratado combustível (EHC), o qual chega ao mercado a um preço médio de R\$ 2,80. Embora seja economicamente viável, o retorno vinculado não é elevado, o que nos levou a questionar o que mais poderia ser produzido a partir de batata-doce que pudesse gerar um maior valor agregado.

A indústria de bebidas constitui um importante setor da indústria, sendo responsável por 3% do valor da produção da indústria de transformação brasileira em 2014 (IBGE, 2017). Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Alimentação (ABIA) (2017), a indústria de bebidas brasileira faturou, em 2016, R\$ 117,00 bilhões, o que é equivalente a 1,9% do PIB brasileiro daquele ano. O mercado é altamente competitivo e a concorrência tem se intensificado, tendo como principais direcionadores o preço e a diferenciação de produtos. As vendas consistentes de todos os segmentos de produtos (destilados, vinho e cerveja) contribuíram para o crescimento do mercado global nos últimos anos. Nas previsões disponíveis sobre o comportamento do mercado mundial de bebidas alcoólicas para os próximos anos predomina a visão de que o crescimento será moderado, um pouco acima de 2% ao ano até 2020 (TECHNAVIO, 2017). A crescente demanda por bebidas alcoólicas *premium* é considerada um dos principais fatores para o crescimento deste mercado.

Shochu é um destilado típico asiático que pode ser obtido a partir da fermentação de diversas matérias-primas, como arroz, cevada e batata-doce, e posterior destilação. Possui grande importância econômica, pois é a bebida destilada mais consumida no Japão, detendo 10,6% do mercado japonês de bebidas alcoólicas, valor superior ao consumo de bebidas como o saquê (6,8%) e o whisky (1,3%) (NATIONAL TAX AGENCY, 2013). Na produção do shochu é utilizado o *koji*, uma cultura sólida de fungos que, apesar de manter a tradição dos países asiáticos, acaba por tornar o processo produtivo lento e com elevado risco de contaminação.

Nesse contexto, considerando a alta produtividade de batata-doce e a crescente influência da cultura japonesa na culinária brasileira, percebe-se uma grande oportunidade de agregar valor a essa matéria-prima por meio da produção e comercialização de um destilado de batata-doce similar ao shochu no país, porém com um processo de produção que seja mais rápido e com menor risco de contaminação, visando reduzir custos e tornar o produto final mais competitivo no mercado.

Dessa forma, propõe-se utilizar o processo de produção de etanol combustível já desenvolvido no grupo, com algumas modificações, para a produção de bebidas alcoólicas, e deseja-se estudar o retorno desse processo.

1.2 Objetivos do trabalho

1.2.1 Objetivos gerais

- Desenvolver e estudar um processo alternativo para produção de bebida destilada, similar ao shochu, a partir de batata-doce.
- Avaliar a viabilidade econômica de implantação de destilaria para produção de “Tchêchu”, nome dado ao destilado similar ao shochu produzido pelo processo alternativo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um processo alternativo de produção de bebida destilada de batata-doce mais rápido e com menor risco de contaminação do que o processo tradicional de produção do shochu.
- Realizar análises que indiquem se o destilado produzido está de acordo com as normas vigentes e se há similaridade entre este e o shochu.
- Estimar custos de produção, projeção de fluxo de caixa e calcular por meio de indicadores econômicos (VPL, TIR e *payback*) se a produção e comercialização de “Tchêchu” é economicamente viável.

1.3 Estrutura da dissertação

Neste capítulo foi realizada a apresentação geral desse trabalho, juntamente com os principais objetivos e motivações para o desenvolvimento do mesmo.

No capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica referente aos conceitos e informações que serviram como alicerce para o andamento da pesquisa.

O capítulo 3 apresenta os procedimentos experimentais realizados, detalhando os materiais e métodos utilizados neste trabalho.

O capítulo 4 apresenta os principais resultados e são feitas discussões e comparações com a literatura a respeito dos mesmos.

O capítulo 5 aborda uma avaliação do potencial econômico de implantação de destilaria para produção do destilado de batata-doce produzido pela nova rota apresentada nesse trabalho.

O capítulo 6 apresenta as conclusões finais e sugestões de trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Neste capítulo inicialmente é apresentado o potencial econômico da batata-doce, bem como suas características, composição e tipos. Em seguida, são descritos os principais insumos e operações para o processamento de matérias-primas amiláceas, e apresentadas as bebidas alcoólicas produzidas a partir destes substratos. Por último, são abordados os fundamentos e mecanismos de produção do shochu, bem como os compostos de interesse do destilado regulamentados pela legislação brasileira, e processos alternativos de produção de bebidas alcoólicas.

2.1 Batata-doce

A batata-doce (*Ipomoea batatas*) é uma espécie de elevado valor econômico e alimentício e pode ser considerada uma das fontes de segurança alimentar de inúmeras populações rurais como cultura de subsistência, principalmente daquelas situadas em regiões pobres. Trata-se de uma cultura rústica com grande potencial para o desenvolvimento tecnológico, sendo originária das regiões tropicais da América Central e do Sul (EMBRAPA, 2008).

A cultura da batata-doce apresenta elevada adaptabilidade ao ambiente tropical, com grande importância na alimentação humana, principalmente como fonte de carboidratos, além do expressivo potencial para ração animal, industrialização de amido e fabricação de álcool combustível (SILVA et al., 2002).

Dos 111 países que produzem batata-doce, aproximadamente 90% da produção é oriunda da Ásia, com destaque para a China, maior produtor mundial, com produção anual de cerca de 70 milhões de toneladas (Figura 2.1) (FAO, 2017).

A produção brasileira de batata-doce é a 20ª no ranking mundial, com produção de 525.814 toneladas em 2014, obtidas em uma área de 39.705 hectares e rendimento médio de 13.243 kg.ha⁻¹, detendo o 6º lugar entre as hortaliças mais plantadas. Dentre as regiões brasileiras produtoras de batata-doce, a região Sul destaca-se com uma produção anual de

233.515 toneladas, o que corresponde a 44,41% da produção nacional (Figura 2.2). Observa-se na Figura 2.3 a participação de cada estado na produção nacional de batata-doce, com destaque para o Rio Grande do Sul, responsável por 30,68% da produção do país (IBGE, 2014; FAO, 2017).

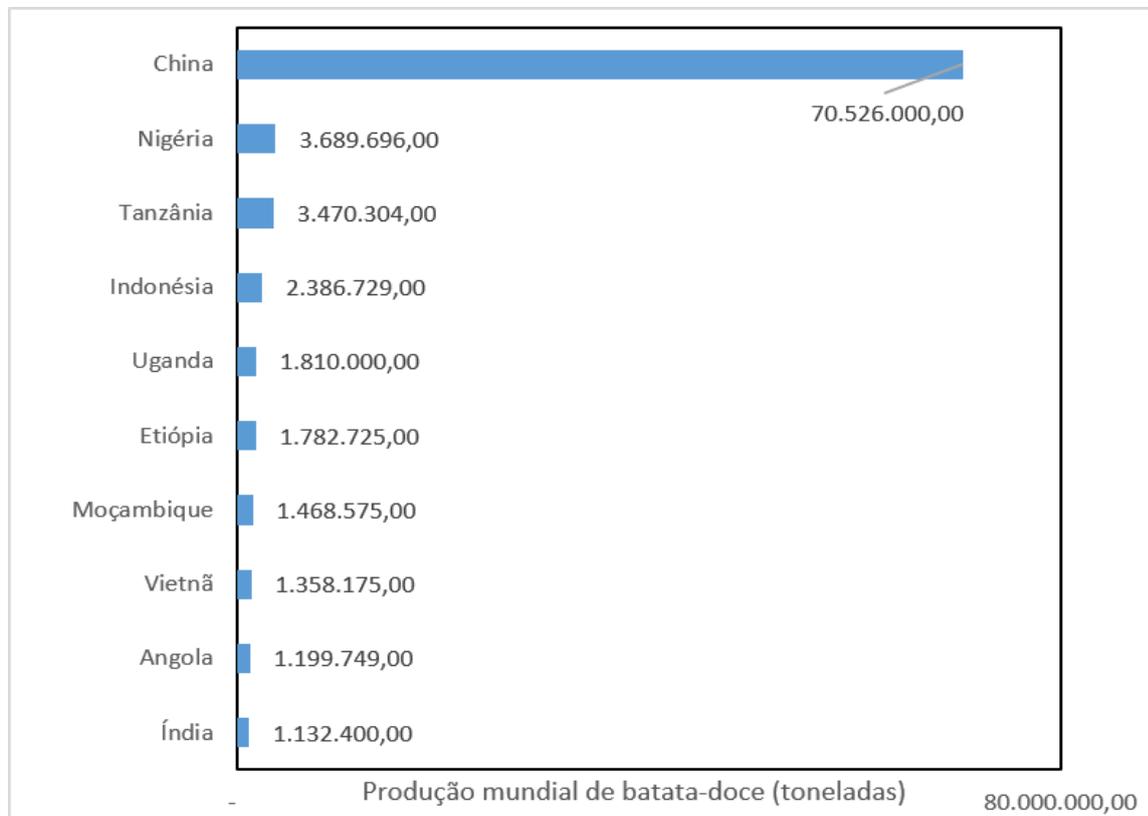


Figura 2.1: Produção de batata-doce nos 10 maiores países produtores em 2013 (Fonte: FAO, 2017)

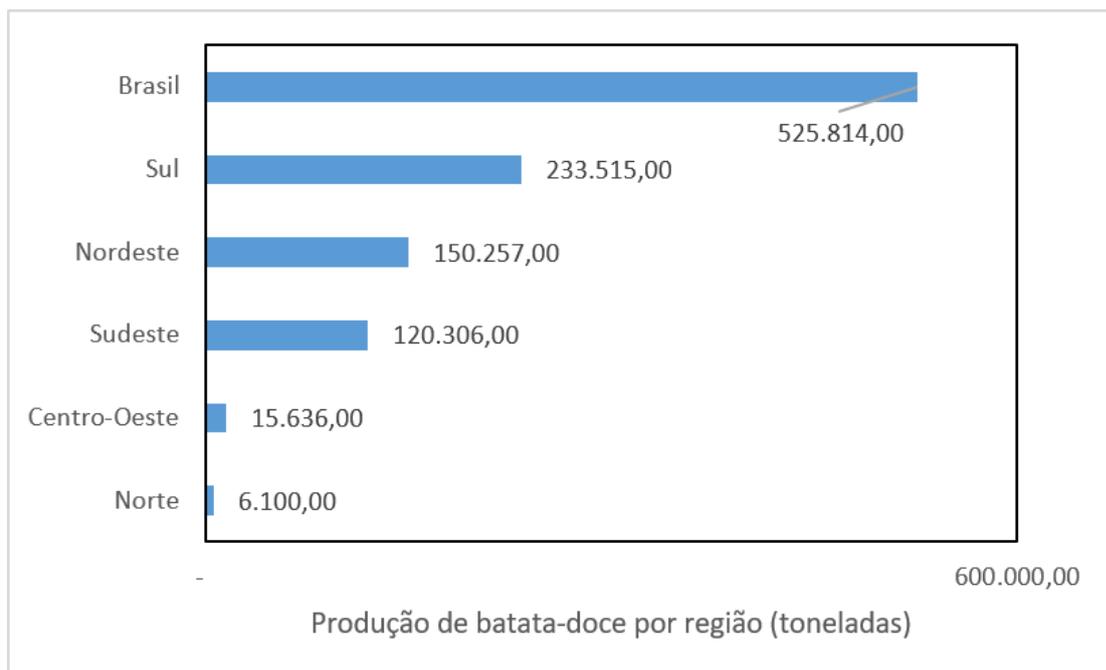


Figura 2.2: Produção de batata-doce por região do Brasil em 2014 (Fonte: IBGE, 2014)

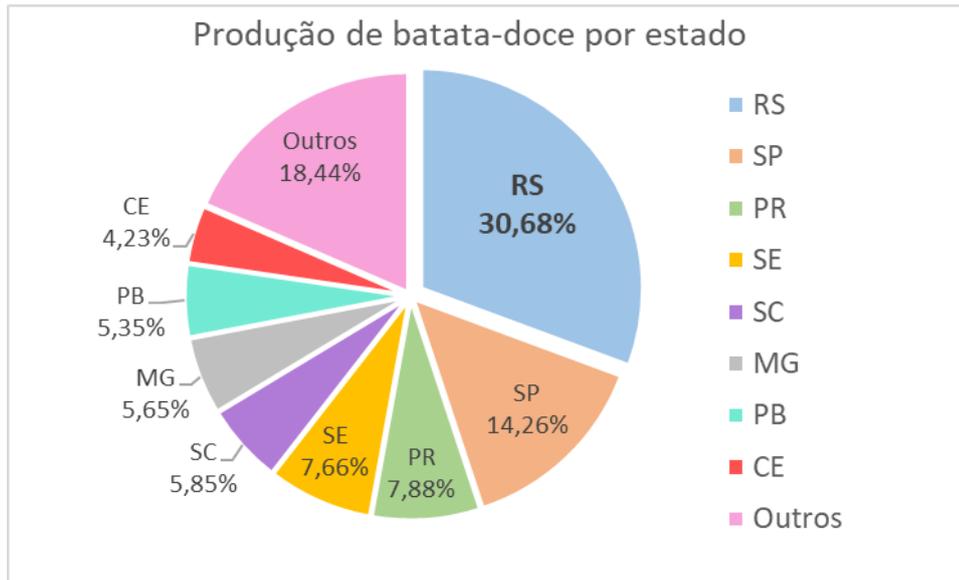


Figura 2.3: Produção de batata-doce por estado em 2014 (Fonte: IBGE, 2014)

2.1.1 Tipos de batata-doce

A batata-doce é um dos vegetais mais nutritivos e versáteis que existe e pode ser encontrada facilmente durante todo o ano. Independente da variedade – existem cerca de 400 - é rica em nutrientes e tem muitos benefícios a oferecer à saúde. Dentre os cultivares de batata-doce encontrada no Brasil estão a BRS Amélia, a BRS Cuia e a BRS Rubissol (Figura 2.4) (EMBRAPA, 2011).

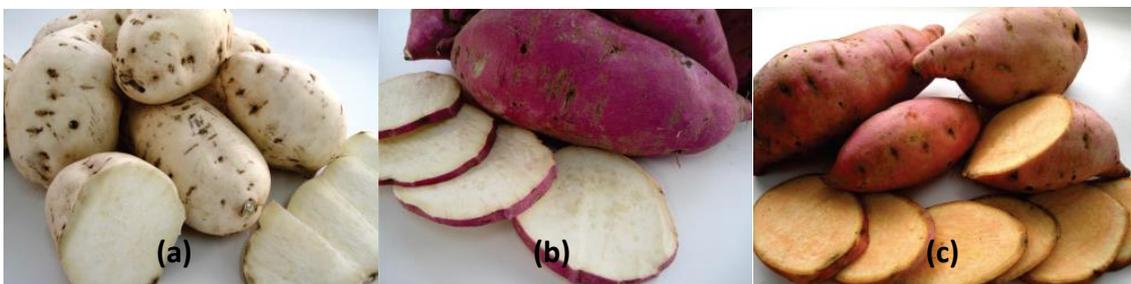


Figura 2.4: (a) BRS Cuia (b) BRS Rubissol (c) BRS Amélia (Fonte: EMBRAPA, 2011)

BRS Cuia

A batata-doce BRS Cuia (Figura 2.4 (a)) foi selecionada a partir de plantas provenientes da região de Pelotas (RS). As batatas apresentam boa uniformidade, forma redondo-alongada com dimensões aproximadas de 15 cm por 20 cm. Tanto a casca como a polpa apresentam cor creme, mas em tonalidades diferentes (EMBRAPA, 2011).

Muito produtiva, supera em muito as médias de produção nacional e a do Rio Grande do Sul. Em ensaios experimentais, produziu em média 40 toneladas por hectare, podendo chegar a 60 toneladas por hectare. Além de excelente para consumo doméstico, devido ao tamanho relativamente grande das batatas, mostra boa adequação ao processo industrial. Constitui-se em fonte de energia devido ao alto teor de amido (26,28 %) e de glicose (29,20 %) (EMBRAPA, 2011).

BRS Rubissol

A BRS Rubissol (Figura 2.4 (b)) também é proveniente da região de Pelotas (RS). As batatas apresentam forma redondo-elíptica com boa uniformidade. Possuem dimensões de aproximadamente 10 cm por 18 cm. A casca apresenta cor púrpura intensa (vermelho-rubi) com leve aspereza ao tato. A polpa é de cor creme tendendo ao amarelo, com pontuações em amarelo mais intenso. Em ensaios experimentais, produziu em média 40 toneladas por hectare (EMBRAPA, 2011).

Possui excelentes características para consumo de mesa e também pode ser utilizada no processamento industrial. A concentração média de amido é de 20,62 g/100 g e apresenta 22,92% de glicose. Destaca-se por apresentar expressiva produtividade, com média muito superior à obtida atualmente nas regiões produtoras brasileiras, boa uniformidade e aparência das batatas. Tem como diferencial a coloração de casca em tonalidade púrpura e polpa levemente amarelada quando crua, muito doce e com textura farinhenta após cozida ou assada (EMBRAPA, 2011).

BRS Amélia

A BRS Amélia (Figura 2.4 (c)) foi selecionada a partir de plantas provenientes da região de São Lourenço do Sul (RS). As batatas apresentam formato elíptico longo, são de cor rosa claro com pigmentações também rosadas, e a polpa é alaranjada. A produtividade média é de 32 toneladas por hectare. Quanto à composição química e características nutricionais, constitui-se em fonte de energia devido ao alto teor de amido (27,09%) e de glicose (30,10%) (EMBRAPA, 2011).

A BRS Amélia salienta-se pela grande aceitação do consumidor devido ao sabor e à cor da polpa (alaranjado intenso). Quando cozida ou assada, a textura é úmida e melada, macia e extremamente doce. A casca se solta com facilidade da polpa. Constitui-se em importante fonte de carotenoides (pró-vitamina A), componente nutricional essencial para a população, principalmente infantil, muitas vezes deficitária desta vitamina (EMBRAPA, 2011).

2.1.2 Composição da batata-doce

Independente da variedade de batata-doce, quando comparada com outras estruturas vegetais amiláceas, possui, por exemplo, maior teor de matéria seca, carboidratos, lipídios, cálcio e fibras do que a batata branca, mais carboidratos e lipídios do que o inhame e mais proteína do que a mandioca. Aliado ao suprimento de vitaminas, principalmente as do grupo A e B, torna-se um importante complemento alimentar (EMBRAPA, 2008). Na Tabela 2.1, tem-se a composição da batata-doce.

Tabela 2.1: Composição da batata-doce (Fonte: TACO, 2011)

Composição por 100 gramas de parte comestível: Centesimal, minerais, vitaminas e colesterol	Descrição do alimento	
	Batata-doce cozida	Batata-doce crua
Umidade (%)	80,4	69,5
Energia (kcal)	77	118
Proteína (g)	0,6	1,3
Lipídeos (g)	0,1	0,1
Colesterol (mg)	NA*	NA*
Carboidrato (g)	18,4	28,2
Fibra Alimentar (g)	2,2	2,6
Cinzas (g)	0,4	0,9
Cálcio (mg)	17	21
Magnésio (mg)	11	17

*NA = não aplicável

2.1.3 Produtos à base de batata-doce

Considerando sua composição nutricional e potencial agrícola, a batata-doce pode ser utilizada como matéria-prima para obtenção de produtos industrializados de maior valor agregado. Por meio de processamento, pode-se suprir o mercado de diversos produtos à base de batata-doce, como chips desidratados, cereais, doces, geleias, farinhas, macarrões, bebidas alcoólicas e não alcoólicas (Figura 2.5). Como exemplos de bebidas alcoólicas de batata-doce, tem-se vodka, licor e shochu.



Figura 2.5: Produtos a base de batata-doce

A batata-doce apresenta ótima produção de biomassa e carboidratos por unidade de área, o que faz da cultura uma excelente fonte de amido visando à produção de etanol (ECHER, 2015). Dessa forma, bebidas alcoólicas a partir de batata-doce tendem agregar um alto valor a essa matéria-prima, como é o caso do shochu.

2.2 Amido

Os polissacarídeos são componentes estruturais importantes de paredes celulares, e muitos deles podem ser fermentados. A celulose e o amido são dois dos polissacarídeos naturais mais abundantes. A celulose é hidrolisada pela enzima celulase e o amido pela enzima amilase. As atividades dessas enzimas liberam glicose do polímero, e a glicose pode então ser fermentada. Muitos outros açúcares também podem ser fermentados, mas, como a glicose é o substrato inicial da via glicolítica, esses açúcares devem ser convertidos em glicose primeiro (MADIGAN et al., 2010).

Materiais amiláceos contêm carboidratos mais complexos como amido que pode ser quebrado em glicose pela hidrólise ácida ou ação de enzimas em um processo denominado malteação ou sacarificação. Os materiais amiláceos podem ser divididos em amiláceos (grãos) e feculentos (raízes e tubérculos). No primeiro grupo é necessária uma moagem inicial, para expor o amido. Os grãos contêm boa quantidade de material com potencial fermentativo, compensando, em muitos casos, as diversas etapas de processamento. O conteúdo médio de amido de alguns grãos típicos é: cevada, 50%; milho, 66%; aveia, 50%; centeio, 59%; sorgo, 67% e trigo, 65%. Quanto às raízes e aos tubérculos, uma vantagem é que podem ser utilizados materiais residuais, fora de tamanho, machucados e até mesmo com brotação desenvolvida, visto que a existência de brotos reduzirá a quantidade de malte (ou enzimas) necessária para a malteação. O conteúdo de amido das batatas brancas é de 15 a 18%, as batatas-doces contêm cerca de 22%, e a mandioca contém entre 30% a 35% de amido. Todos esses materiais feculentos são uma fonte tradicional de álcool. Em média, uma

tonelada de batatas brancas leva a uma produção de 85 L a 95 L de álcool, e de batata-doce, até 160 L (MACHADO et al., 2006).

2.2.1 *Processamento de substratos amiláceos para produção de bebidas alcoólicas*

Todos os materiais amiláceos requerem um processo de cozimento para diluição e gelatinização do amido, e, em seguida, de sacarificação ou hidrólise no qual o amido é transformado em açúcares fermentescíveis. Essa hidrólise pode ser por maltagem, por adição de enzimas ou pela ação de ácidos (MACHADO et. al., 2006).

Na produção de etanol, para a obtenção do hidrolisado de amido, as batatas-doces devem ser lavadas e cortadas para posterior trituração e adição de água, submetendo ao aquecimento a 90°C para geleificação do amido. No processo, é acrescentada a enzima α -amilase, na concentração de 1,5 mL/kg de batata, mantendo-se a mistura nessa temperatura por 1 hora. O pH deve ser ajustado para permitir a atuação da glucoamilase. Na sacarificação é adicionada a levedura *Saccharomyces cerevisiae* para fermentação. A separação dos componentes é realizada por meio de destilação, onde a mistura é aquecida até a fervura, e os vapores resfriados até se tornarem líquidos novamente. Dados indicam ser possível obter 158 litros de álcool a partir de uma tonelada de batata-doce (CASTRO, 2015). Schweinberger et al. (2016) apresenta resultado semelhante de obtenção de 160,03 L de etanol para cada tonelada de batata-doce.

Cozimento

Todos os materiais amiláceos deverão ser cozidos, para que sejam dissolvidos os amidos solúveis em água e, na medida do possível, que estes sejam gelatinizados. Em processamentos industriais o cozimento é feito com vapor, quase sempre sob pressão e em processo contínuo. Para processos em escala menor, o cozimento pode ser feito a pressão atmosférica, mantendo-se o material em fervura leve por 30 a 60 minutos. Uma vez que é necessária grande quantidade de energia para o cozimento, é melhor que este seja feito com a menor quantidade de água possível. A concentração adequada para fermentação será alcançada pela posterior adição de água no caldo obtido (MACHADO et. al., 2006).

Hidrólise ácida

A hidrólise ácida diminui o tempo relativo à sacarificação do amido, porém apresenta uma série de restrições, tais como corrosão de equipamentos, necessidade de correção do pH da solução açucarada, destruição parcial dos açúcares e formação de açúcares não fermentescíveis (FELTRAN & VALLE, 2008).

De acordo com Sánchez & Cardona (2008), o amido era tradicionalmente hidrolisado por ácidos, mas a especificidade das enzimas, as suas condições reacionais brandas e a ausência de reações secundárias tornaram-nas os catalisadores geralmente utilizados para este processo.

Sacarificação via malte

Malte é um cereal germinado em condições especiais de umidade, temperatura e aeração. Durante a germinação ocorrem modificações físicas, bioquímicas e químicas no

cereal, causadas por fenômenos vitais. Caracterizam-se, respectivamente, pela germinação do embrião, secreção de enzimas e transformações que elas ocasionam, tais como a solubilização do amido, difusão, absorção e dissolução das substâncias utilizadas. Para que se possa fazer reagir as enzimas sobre o material amiláceo, é necessário que este se encontre sob a forma de goma (geleificado). Para isso os grãos passam por uma série de operações que inicia por uma pesagem e prossegue com moagem, hidratação e cozimento (BORZANI et al., 2001).

Sacarificação por ação microbiana

Utilizam-se nesse processo fungos com propriedades amilolíticas. Por meio deles, com técnica e assepsia apuradas, transforma-se economicamente o amido em açúcares fermentescíveis. As espécies mais usadas são o *Amylomyces rouxii*, *Aspergillus oryzae*, *Chlamydomucor oryzae*, *Rhizopus japonicus* e *Mucor delemar*. Comumente se associa o fungo com uma levedura que realiza a fermentação alcoólica dos açúcares, de preferência leveduras puras e selecionadas (BORZANI et al., 2001).

Uso de enzimas industriais

As enzimas industriais são produzidas, normalmente, pela fermentação dos microrganismos *Bacillus subtilis*, *Aspergillus niger* e *Aspergillus awamori* e estão comercialmente disponíveis por diferentes empresas. Os procedimentos para seu uso são bem parecidos com os da sacarificação por maltagem. As vantagens do uso desse método é que os extratos enzimáticos são normalmente mais baratos e, por serem especialmente projetados para essa finalidade, produzem resultados mais previsíveis e rendimentos mais altos. As três enzimas comercialmente disponíveis são α e β -amilase e glucoamilase. A α -amilase quebra o amido para produzir as dextrinas e a β -amilase produz a maltose (ambos açúcares fermentescíveis). Juntas, essas duas enzimas podem converter aproximadamente 85% do amido. A glucoamilase converte o amido restante, e o uso das três enzimas pode alcançar conversão quase total do amido (MACHADO et. al., 2006).

2.3 Enzimas

As enzimas estão no centro dos processos bioquímicos. Atuando em sequências organizadas, elas catalisam cada uma das reações das centenas de etapas que degradam as moléculas dos nutrientes, que conservam e transformam energia química e que constroem as macromoléculas biológicas a partir de precursores elementares (NELSON et al., 2014).

Com a exceção de poucos RNA catalíticos, todas as enzimas conhecidas são proteínas. Elas têm alto grau de especificidade para os seus respectivos substratos, aceleram as reações químicas e atuam em soluções aquosas sob condições suaves de temperatura e pH. As reações catalisadas por enzimas são caracterizadas pela formação de um complexo entre o substrato e a enzima, que ocorre em um bolsão da enzima denominado sítio ativo. A função das enzimas é diminuir a energia de ativação, aumentando, assim, a velocidade das reações, mas sem afetar o equilíbrio da reação. São catalisadores altamente eficazes, geralmente aumentando as velocidades de reação por um fator de 10^5 a 10^{17} (NELSON et al., 2014). Como exemplos de enzimas, têm-se as amilases e as pectinases.

A α -amilase quebra aleatoriamente as ligações glicosídicas α -1,4 na cadeia de amilose e amilopectina e solubiliza a amilose. Por essa razão, α -amilase é conhecida como a enzima de liquefação do amido. β -amilase hidrolisa as ligações glicosídicas α -1,4 nas extremidades não redutoras do amido e produz resíduos de maltose. β -amilase é conhecida como uma enzima sacarificante. Ligações glicosídicas α -1,6 na fração de amilopectina do amido são hidrolisadas pela glucoamilase, que também é conhecida como enzima sacarificante (SHULER et al, 2002).

Pectinases são produzidas principalmente por *A. niger*. Os componentes majoritários em pectinases são pectinesterase, poligalacturonase e polimetilgalacturonase. As pectinases são usadas no processamento de suco de frutas e na fabricação de vinhos para aumentar o rendimento, reduzir a viscosidade e limpar o suco (SHULER et al, 2002).

Um processo bioquímico em que enzimas são de grande importância é a fermentação alcoólica. O uso de enzimas, neste caso, causa a hidrólise do amido (α -amilase, glucoamilase) do qual se formarão os açúcares fermentescíveis a serem convertidos em etanol (ATKINSON, 1991).

A partir de matérias-primas açucaradas (melaço, caldo de cana, suco de frutas) podem ser obtidas, dentre outras, bebidas do tipo: cachaça, conhaque e rum. De amiláceos obtêm-se: uísque, vodca, saquê, shochu, dentre inúmeras outras. Os principais agentes da hidrólise de amiláceos são: malte, *koji* e enzimas microbianas.

A industrialização de bebidas alcoólicas ganhou sofisticação a partir do século XIX, quando se descobriu que o malte da cevada permitia converter materiais amiláceos em etanol. Um avanço notável foi conseguido ao serem cultivados em arroz cozido microrganismos (fungos) selecionados (processo *koji*). Por volta de 1890, as enzimas presentes no *koji* foram extraídas e concentradas, sendo vendidas como extratos enzimáticos, sendo este o marco inicial da moderna enzimologia industrial (VITOLLO, 1981). Por terem atividades padronizadas e por serem concentrados e de manipulação mais simples, as enzimas microbianas tendem a substituir o malte e o *koji*.

2.4 Leveduras

A microbiologia industrial utiliza microrganismos, geralmente cultivados em larga escala, para a síntese de produtos comerciais ou para a realização de importantes transformações químicas (MADIGAN et al., 2010).

Para aplicação industrial, espera-se que os microrganismos apresentem as seguintes características gerais: elevada eficiência na conversão do substrato em produto; permitir o acúmulo do produto no meio, de forma a se ter elevada concentração do produto no caldo fermentado; não produzir substâncias incompatíveis com o produto; apresentar constância quanto ao comportamento fisiológico; não ser patogênico; não exigir condições de processo muito complexas; não exigir meios de cultura dispendiosos e permitir a rápida liberação do produto para o meio (BORZANI et al., 2001).

As leveduras são fungos de interesse industrial pertencentes à classe dos Ascomycetos, sendo a espécie mais importante a *Saccharomyces cerevisiae*. As leveduras (*S. cerevisiae*),

quando crescem anaerobiamente em meio com glicose, convertem piruvato em acetaldeído, e então reduzem o acetaldeído em etanol (NELSON et al., 2014).

Convém ressaltar que a levedura *S. cerevisiae* é um aeróbio facultativo, ou seja, tem a habilidade de se ajustar metabolicamente, tanto em condições de aerobiose como de anaerobiose (ausência de oxigênio molecular). 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 biomassa, CO₂ e H₂O em aerobiose, a maior parte é convertida em etanol e CO₂ em anaerobiose, processo denominado fermentação alcoólica (BORZANI et al., 2001).

Pode-se afirmar que diferenças entre vinhos obtidos a partir de um mesmo mosto, fermentados por leveduras distintas, em condições idênticas, devem ser atribuídas aos produtos secundários formados durante a fermentação. Entre esses produtos, os álcoois superiores e ésteres desempenham um papel preponderante. As leveduras mais alcoogênicas, principalmente da espécie *S. cerevisiae*, produzem os teores mais elevados de tais produtos. Porém, as concentrações relativas dos diferentes componentes são variáveis em função das linhagens que podem, assim, imprimir um caráter particular ao aroma de diferentes vinhos e espumantes. Com leveduras selecionadas torna-se possível a obtenção, de ano para ano, de produtos mais uniformes, sendo pequenas as variações devidas à oscilação qualitativa do mosto conforme as condições climáticas que caracterizam os diversos anos (SILVA et al., 1987).

2.5 Fermentação

O homem vem utilizando fermentação alcoólica desde a mais remota antiguidade; há mais de 4000 anos os egípcios fabricavam pão e produziam bebidas alcoólicas a partir de cereais e frutas. Depois da formulação da estequiometria da fermentação por Gay-Lussac (1815), Pasteur (1863) demonstrou a natureza microbiológica da fermentação alcoólica como um processo anaeróbio. A partir daí, e principalmente durante as primeiras décadas de 1900, as pesquisas culminaram com a elucidação das reações enzimáticas responsáveis pela transformação química do açúcar em etanol e gás carbônico no interior da levedura (BORZANI et al., 2001)

Fermentação é um termo geral para a degradação anaeróbia da glicose ou de outros nutrientes orgânicos para obtenção de energia, conservada como ATP. Como os organismos vivos surgiram inicialmente em uma atmosfera sem oxigênio, a quebra anaeróbia da glicose provavelmente seja o mais antigo mecanismo biológico de obtenção de energia a partir de moléculas orgânicas combustíveis. Fermentação alcoólica é um processo anaeróbio para produção de energia, que ocorre com degradação de carboidratos e formação de etanol e CO₂ como compostos principais ($C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_6O + 2CO_2$) e, como subprodutos, glicerol, ácidos pirúvico e succínico e álcoois superiores. É realizado por leveduras, principalmente do gênero *Saccharomyces*. Diversos fatores físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais e orgânicos, inibidores) e microbiológicos (espécie, linhagem e concentração da levedura, contaminação bacteriana) afetam o rendimento da fermentação, ou seja, a eficiência da conversão de açúcar em etanol (NELSON et al., 2014).

A glicose ocupa posição central no metabolismo de plantas, animais e muitos microrganismos. Uma via comum de fermentação da glicose é a glicólise, também denominada via de *Embden-Meyerhof*. A glicólise é um processo anaeróbico e pode ser dividida em três estágios, cada um envolvendo uma série de reações enzimáticas (Figura 2.6). O Estágio I envolve as “reações preparatórias”; elas não são reações redox e não liberam energia, mas levam à produção de duas moléculas de um intermediário chave, o gliceraldeído 3-fosfato, a partir da glicose. No Estágio II, ocorrem as reações redox, a energia é conservada na forma de ATP, e duas moléculas de piruvato são formadas. No Estágio III, as reações redox ocorrem novamente, havendo a formação dos produtos de fermentação (MADIGAN et al., 2010).

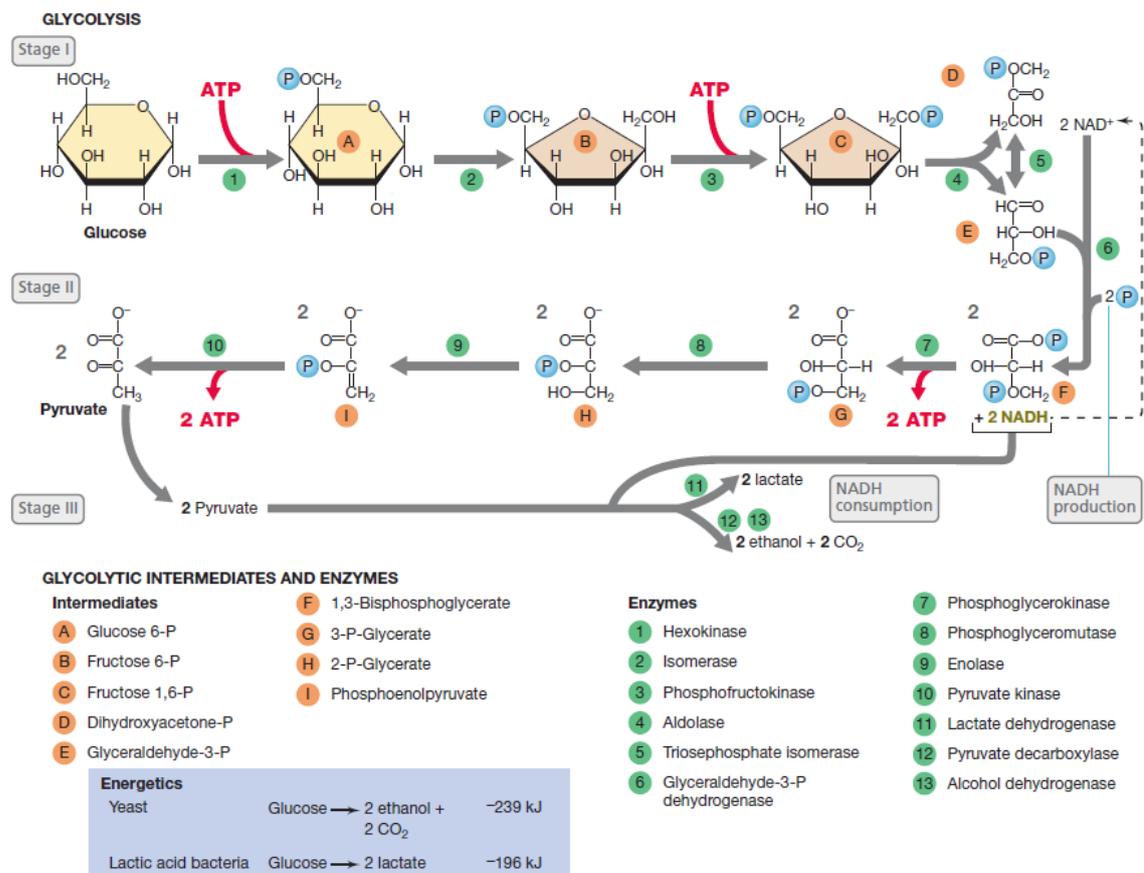


Figura 2.6: Via de Embden-Meyerhof (glicólise) (Fonte: MADIGAN et al., 2010)

O piruvato proveniente da glicólise passa por um processo de duas etapas até a obtenção de etanol (Figura 2.7).

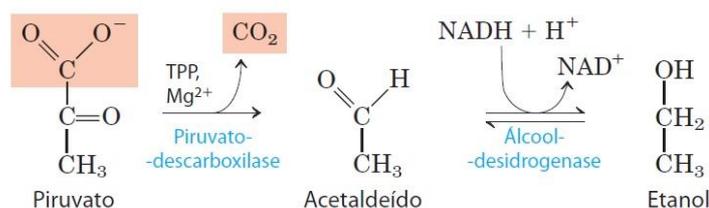


Figura 2.7: Formação de etanol a partir do piruvato (Fonte: NELSON et al., 2014)

Na primeira etapa, o piruvato é descarboxilado em uma reação irreversível catalisada pela piruvato-descarboxilase. Essa reação é uma descarboxilação simples e não envolve a oxidação do piruvato. Na segunda etapa, o acetaldeído é reduzido a etanol pela ação da álcool-desidrogenase. Etanol e CO₂ são então os produtos finais da fermentação etanólica (NELSON et al., 2014).

A piruvato-descarboxilase está presente na levedura utilizada para fabricação de cerveja e pão (*Saccharomyces cerevisiae*) e em todos os organismos que convertem glicose em etanol, incluindo algumas plantas. O CO₂ produzido pela piruvato-descarboxilase é responsável pela efervescência característica do champanhe (NELSON et al., 2014).

Concluída a fermentação do mosto, obtém-se o vinho, que apresenta diversos constituintes de natureza gasosa, líquida e sólida, em virtude das transformações que se desenvolveram durante a fermentação. O vinho adequadamente decantado, com teores de 5-10% de etanol, 89-94% de água e 2-4% de outros componentes, é submetido ao processo de destilação (VENTURINI FILHO, 2016).

2.6 Destilação

Destilação é o processo de volatilizar líquidos pelo aquecimento, condensando-os a seguir, objetivando especialmente a purificação ou formação de produtos novos por decomposição de frações (VENTURINI FILHO, 2016).

Na destilação, uma alimentação contendo dois ou mais componentes é separada em dois ou mais produtos, geralmente sendo um destilado, no topo, e um produto de fundo, cujas composições diferem daquela da alimentação (SEADER, 2011).

Quando uma fase líquida é levada ao equilíbrio com uma fase vapor, o fator de separação é a volatilidade relativa, do componente mais volátil, chamado de *chave leve* em relação ao menos volátil, chamado *chave pesado*, onde a volatilidade relativa pode ser expressa como a razão entre as constantes de partição líquido-vapor dos dois componentes. O objetivo da destilação consiste em obter um destilado rico no *chave leve* e um produto de fundo rico no *chave pesado*. O sucesso da separação depende da volatilidade relativa, sendo impossível quando igual à unidade (SEADER, 2011).

Para melhor separação dos componentes, ou para redução das frações de corte intermediárias, utilizam-se colunas de retificação. As colunas podem ser de pratos ou recheadas, e um vaso de refluxo é adicionado após o condensador. Ainda, utilizam-se diferentes vasos para coletar os cortes do destilado (SEADER, 2011).

Na coluna de retificação os pratos permitem a subida dos vapores gerados a partir do refeedor da coluna, ao mesmo tempo que permitem a descida do líquido a ser destilado. O líquido entra em contato com os vapores e vai sendo destilado ao longo do trajeto percorrido através dos pratos, liberando seus compostos mais voláteis e saindo pela base da coluna praticamente exaurido de seus compostos voláteis (VENTURINI FILHO, 2016).

Recomenda-se a separação de 5-10% do volume teórico total do produto a ser obtido pela destilação inicial, conhecida como fração de cabeça, rica em ésteres, aldeídos, acetaldeídos, metanol, acetato de etila e outros compostos voláteis. A seguir, separa-se a

fração rica em etanol, contendo menor proporção dos componentes mais leves (cabeça), além de álcoois superiores, ácidos voláteis e demais produtos secundários formados na fermentação ou dentro do próprio alambique. Essa é a fração de coração e representa 80% do volume do destilado. Por apresentar a menor quantidade de substâncias indesejáveis, constitui-se na melhor fração do destilado. Por último, é retirada a fração de cauda correspondente a 10% do volume total do destilado, constituída por produtos mais pesados, menos voláteis que o etanol, com maior afinidade pela água. Essa fração rica em compostos indesejáveis, tais como furfural, ácido acético, álcoois superiores, entre outros, é coletada desde a graduação alcoólica de 38% (v/v) até aproximadamente 10% (v/v). A definição sobre o término da destilação deverá ser estabelecida em função de vários parâmetros, tais como qualidade da fermentação, destilação, etc., além de análises do destilado (VENTURINI FILHO, 2016).

Relatos de Lima (1964), Ribeiro (1997) e Chaves (1998) confirmam que a qualidade do destilado obtido depende da composição qualitativa dos constituintes presentes em mínimas quantidades, mas, principalmente, da proporção adequada dos componentes na mistura que condicionará o aroma e o sabor típico do destilado. Essa composição depende da natureza e composição do vinho, do sistema e da condução da destilação, entre outros fatores. Estes controlam e determinam o *bouquet* do destilado, que é o resultado da combinação de aromas dos componentes não álcoois.

A destilação deve ser realizada de modo lento e gradual, possibilitando a formação e separação dos compostos aromáticos dentro do destilador, provenientes da fermentação ou resultantes das reações que se processam dentro do destilador, dando ao destilado uma composição de não álcoois totais (aldeídos, ácidos voláteis, ésteres, furfural e álcoois superiores) que atendam aos padrões de identidade e qualidade da bebida alcoólica (CHAVES, 1998).

Diferentes líquidos alcoólicos podem ser destilados, cada qual originando uma bebida destilada característica. A destilação de bebidas maltadas produz uísque, o vinho destilado gera conhaque, a destilação de melaço fermentado produz rum, a destilação de grãos ou batatas fermentadas produz vodca e a destilação de grãos e bagas de junípero produz gim. Além de álcool, os destilados contêm outros produtos voláteis originados tanto pela fermentação por leveduras como dos próprios ingredientes. Alguns desses produtos são aromatizantes desejáveis, enquanto outros são indesejados (MADIGAN et al., 2010).

2.7 Bebidas alcoólicas a partir de amiláceos

2.7.1 Bebidas indígenas fermentadas a partir de amiláceos

Cauim

Denomina-se *cauim* a bebida fermentada produzida pelos índios a partir de diversas matérias-primas, tais como milho (verde), arroz, mandioca (puba), amendoim, banana, semente de algodão, abóbora e semente de banana brava, que envolve a adição de saliva (insalivação) como etapa do processo (ALMEIDA et al., 2007). As índias mastigam os substratos, mandioca, milho ou batata-doce, e adicionam esse líquido aos recipientes contendo a matéria-prima que será então fermentada.

Em se tratando de ingredientes que são ricos em amido, como grãos amiláceos (arroz e milho), raízes e tubérculos feculentos (mandioca, batata-doce e babaçu), o preparo com mastigação tem por fim promover a transformação do amido em carboidratos mais simples sobre os quais as leveduras possam atuar. A saliva contém ptialina (amilase salivar) que hidrolisa parte do amido em carboidratos simples, e assim acelera a fermentação, dando impulso e acelerando o metabolismo das leveduras (ALMEIDA et al., 2007; SCHWAN et al., 2007; LIMA, 1975).

O *cauim* não alcoólico é um alimento básico indígena consumido por adultos e crianças, é uma bebida refrescante caracterizada pela presença de ácido láctico proveniente da fermentação realizada por bactérias lácticas. O *cauim* alcoólico é consumido durante festivais, chamados cauinagem, geralmente realizados para comemorar datas festivas. O *cauim* alcoólico é caracterizado pela presença de etanol, produzido, principalmente, por leveduras durante fermentação alcoólica, e também pela presença de ácidos orgânicos, produzidos por bactérias (VENTURINI FILHO, 2016).

Os índios da etnia *Arara*, do Pará, produzem uma bebida semelhante ao *cauim*, conhecida como *piktu*. É uma cerveja elaborada a partir de mandioca, milho ou banana. É também produzida pela técnica da insalivação, na qual a massa obtida a partir da matéria-prima é bochechada por um grande número de pessoas, preferencialmente mulheres, mas também por homens. Essa massa é colocada em recipientes, os quais são deixados fermentar por cerca de três dias. Durante esse período, acrescenta-se água até atingir a consistência e o grau de fermentação desejado (TEIXEIRA-PINTO, 1997).

Chicha

Chicha é um termo que pode ser aplicado a bebidas alcoólicas e não alcoólicas. A *chicha* é uma bebida clara, amarelada e efervescente com sabor semelhante a uma cidra, e tem sido consumida pelos índios dos Andes durante séculos, podendo seu teor alcoólico variar de 2 a 12% v/v. *Chicha* é tradicionalmente fermentada utilizando saliva como fonte de amilase para conversão do amido em açúcares fermentescíveis. A maltagem (germinação) dos grãos de milho para produzir as amilases necessárias para a conversão do amido é um procedimento alternativo que é amplamente utilizado atualmente (LIMA, 1975).

No território indígena *Krahô*, no Tocantins, a única bebida alcoólica é a *chicha*, fabricada pelos próprios índios. Os índios *Kaiowá* também elaboravam a *chicha*, bebida fermentada derivada do milho ou da batata-doce para complementação de sua alimentação bem como para os rituais e festas (LIMA, 1975).

Paiauaru

Paiauaru, *pajauaru* ou *pajuarú* é definida como uma bebida fermentada feita de beiju queimado. Esses beijus, chamados pelos indígenas de beijuaçu, são guardados nas ocas indígenas. O desenvolvimento de fungos filamentosos nos beijus os torna propícios ao uso como inóculo para elaboração de bebidas alcoólicas (PEREIRA, 1954).

A tribo *caraíba* dos *waiwai* produz, também, uma cerveja do tipo *paiuaru*, cujos recipientes para o preparo de bebidas fermentadas são cochos de madeira feitos por troncos escavados à maneira de canoas. A análise dos apontamentos sobre bebidas fermentadas das

tribos *caraibas*, principalmente as que habitavam a ampla faixa esquerda do Amazonas, mostrou que o método de insalivação não consistia um elemento de cultura próprio e tradicional, sendo substituída por uma técnica superior, a sacarificação por fungos (MACIEL, 2009).

Os beijos tostados também são usados na fabricação de aguardente amazônica, a *tiquira*. Nessa bebida, combinam-se a técnica nativa de preparação e fermentação da mandioca e a técnica europeia da destilação (VENTURINI FILHO, 2016).

Caxiri

O termo *caxiri* tornou-se denominação comum para representar um grupo de bebidas fermentadas indígenas, a maioria das quais são elaboradas a partir de mandioca e outros amiláceos. A preparação dos beijos como fase intermediária em tal processo é observada com frequência, podendo haver insalivação ou não (VENTURINI FILHO, 2016).

2.7.2 *Tiquira*

Tiquira é a bebida com graduação alcoólica de trinta e seis a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida de destilado alcoólico simples de mandioca ou pela destilação de seu mosto fermentado (BRASIL, 2009).

A matéria-prima para a produção de tiquira é a raiz de mandioca ralada e moída. No processamento tradicional, a sacarificação é feita por fungos e a fermentação por leveduras, ambos da flora autóctone. No processo tecnológico moderno (CEREDA; COSTA, 2008), as leveduras e enzimas comerciais substituem com vantagem a microflora autóctone do processo tradicional.

A destilação da tiquira é feita em alambique simples, portanto por meio de processo descontínuo. Independentemente do modo de aquecimento da caldeira do alambique (fogo ou vapor), a destilação deve ser conduzida de forma branda, sem pressa, devendo-se identificar e separar as frações de cabeça, coração e cauda. O coração é a fração que deve ser aproveitada para produção de tiquira de qualidade (VENTURINI FILHO, 2016).

2.7.3 *Whisky*

Uísque, whisky ou whiskey é a bebida com graduação alcoólica de trinta e oito a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida do destilado alcoólico simples de cereais envelhecido, parcial ou totalmente maltados, podendo ser adicionado de álcool etílico potável de origem agrícola, ou de destilado alcoólico simples de cereais, bem como de água para redução da graduação alcoólica e caramelo para correção da cor (BRASIL, 2009).

Os principais cereais utilizados para a elaboração de uísques são: milho, centeio, cevada e trigo. O processo de produção consiste nas operações de maltagem da cevada, mosturação, fermentação e destilação. No mercado existem vários tipos de uísques que podem ser classificados em função do país de origem, da natureza do cereal empregado e da forma na qual o produto é obtido, ou seja, puro ou cortado (a partir da mistura de outros uísques). Dessa forma, são várias as maneiras possíveis de se produzir essa bebida, as quais

variam de acordo com a matéria-prima, o processo utilizado e a legislação aplicada no país produtor (VENTURINI FILHO, 2016).

O uísque é denominado de (BRASIL, 2009):

I - uísque malte puro ou whisky puro malte ou *pure malt whisky*, quando a bebida for elaborada exclusivamente com destilado alcoólico simples de malte envelhecido ou Malt Whisky, com o coeficiente de congêneres não inferior a trezentos e cinquenta miligramas por cem mililitros em álcool anidro. Um uísque puro malte é feito exclusivamente de cevada maltada. Nenhuma indicação de origem é dada, portanto, pode ser um *single malt* ou um *malt vatted*. Um *single malt* é um uísque feito exclusivamente de cevada maltada, de fontes de uma única destilaria, enquanto que o *vatted malt* é um uísque feito exclusivamente de cevada maltada, geralmente misturada com uísques de várias fontes (destilarias), não necessariamente de um mesmo lote de produção ou da mesma idade;

II - uísque cortado ou blended whisky, quando a bebida for obtida pela mistura de, no mínimo, trinta por cento de destilado alcoólico simples de malte envelhecido ou Malt Whisky, com destilados alcoólicos simples de cereais, álcool etílico potável de origem agrícola ou ambos, envelhecidos ou não, com o coeficiente de congêneres não inferior a cem miligramas por cem mililitros, em álcool anidro;

III - uísque de cereais ou grain whisky, quando a bebida for obtida a partir de cereais reconhecidos internacionalmente na produção de uísque, sacarificados, total ou parcialmente, por diástases da cevada maltada, adicionada ou não de outras enzimas naturais e destilada em alambique ou coluna, envelhecido por período mínimo de dois anos, com o coeficiente de congêneres não inferior a cem miligramas por cem mililitros, em álcool anidro; ou

IV - bourbon whisky, bourbon whiskey, tennessee whisky ou tennessee whiskey, quando o uísque for produzido nos Estados Unidos da América de acordo com a sua legislação.

2.7.4 Bebidas destilo-retificadas

O processo de produção do álcool etílico varia de acordo com a matéria-prima agrícola utilizada, que pode ser grãos (centeio, cevada, milho, trigo, arroz, etc.), tubérculos (batatas), raízes (mandioca) ou melão. O preparo do mosto varia em função do tipo de carboidrato como matéria-prima. Normalmente, as etapas principais do processo são: cozimento, sacarificação, fermentação e destilação. As bebidas destiladas podem ser classificadas como congêneras ou não congêneras. As congêneras, representadas pelo uísque, *cognac*, cachaça e rum possuem padrões definidos quanto às matérias-primas utilizadas e às condições de fermentação, destilação e envelhecimento. As não congêneras, representadas pela vodca e gin, são provenientes da retificação de um destilado que pode ser obtido de várias matérias-primas (VENTURINI FILHO, 2016).

Vodka

Vodca, vodka ou wodka é a bebida com graduação alcoólica de trinta e seis a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida de álcool etílico potável de origem agrícola ou de destilado alcoólico simples de origem agrícola retificado (BRASIL, 2009).

Para a produção de vodca, o álcool etílico potável é tratado com carvão ativado para diminuir sua concentração de congêneres e, conseqüentemente, minimizar suas características sensoriais. Isso pode ser feito mediante dispersão e agitação de carvão ativado no álcool etílico potável e posterior filtração ou mediante circulação contínua do álcool etílico potável através de carvão ativado empacotado em colunas de desodorização (VENTURINI FILHO, 2016).

Gin

Gim ou gin é a bebida com graduação alcoólica de trinta e cinco a cinquenta e quatro por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida pela redistilação de álcool etílico potável de origem agrícola, na presença de bagas de zimbro (*Juniperus communis*), com adição ou não de outra substância vegetal aromática, ou pela adição de extrato de bagas de zimbro, com ou sem outra substância vegetal aromática, ao álcool etílico potável de origem agrícola e, em ambos os casos, o sabor do zimbro deverá ser preponderante, podendo ser adicionada de açúcares até quinze gramas por litro (BRASIL, 2009).

O gim será denominado de (BRASIL, 2009):

I - gim destilado, quando a bebida for obtida exclusivamente por redistilação;

II - london dry gin, quando a bebida for obtida por destilação seca;

III - gim seco ou dry gin, quando a bebida contiver até seis gramas de açúcares por litro;
ou

IV - gim doce, old ton gin ou gim cordial, quando a bebida contiver acima de seis e até quinze gramas de açúcares por litro.

2.7.5 Saquê

Saquê ou sake é a bebida com graduação alcoólica de quatorze a vinte e seis por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida pela fermentação alcoólica do mosto de arroz, sacarificado pelo *Aspergillus oryzae*, ou por suas enzimas, podendo ser adicionada de álcool etílico potável de origem agrícola e aroma natural (BRASIL, 2009).

O vinho de arroz tradicional japonês, o saquê, é produzido por um processo de fermentação característico conhecido como fermentação múltipla em paralelo; a sacarificação do amido do arroz e a fermentação alcoólica acontecem ao mesmo tempo no mosto. O amido do arroz é digerido em oligossacarídeos e glicose pela ação das enzimas fúngicas α -amilase, glucoamilase e α -glucosidase. A glicose é subsequentemente catabolizada em etanol por leveduras (TOKUOKA et al., 2017).

Basicamente, o saquê é uma bebida fermentada que necessita de água e de arroz de boa qualidade. O arroz é lavado e cozido a vapor. Depois, é misturado ao fermento, à água, e ao *koji*, que é o arroz fermentado separadamente, numa sala com temperatura e umidade controladas. À mistura acrescenta-se mais arroz, *koji* e água por três vezes dentro de cinco dias. Sua fermentação deve continuar por 18 a 32 dias, e findo o período, a pasta é amassada e filtrada. Depois disso, geralmente o saquê é pasteurizado para matar as

bactérias e desativar enzimas que poderiam mudar o sabor e a cor do produto. O saquê fica descansando por seis meses, e, após, recebe adição de água pura para reduzir o teor alcoólico de 20 para 16%. Depois, será pasteurizado novamente antes de ser envasado (CULTURA JAPONESA, 2017).

Nos últimos anos, a exportação desta bebida alcoólica aumentou notavelmente devido à crescente demanda em todo o mundo. O saquê é conhecido por conter vários componentes, como carboidratos, ácidos orgânicos, compostos nitrogenados e espécies inorgânicas, que contribuem para a qualidade do produto (KURIBAYASHI et al., 2015).

Outra bebida tradicional no Japão é o shochu. O saquê e o shochu são bebidas alcoólicas bem diferentes, principalmente pelo fato do shochu ser uma bebida destilada, e o saquê não, e por terem aroma e sabor muito distintos. Entre suas semelhanças, está o uso do arroz e do fungo *Aspergillus oryzae* para produção do *koji*, e o uso deste na etapa fermentativa. Alguns shochus, como o Awamori, feito em Okinawa, são feitos de arroz. Porém, diferentemente do saquê, o shochu pode ser feito de outras matérias-primas, como por exemplo, a batata-doce (PELLEGRINI, 2014).

2.8 Shochu

A legislação brasileira define shochu ou sochu como sendo a bebida com graduação alcoólica de quinze a trinta e cinco por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida da destilação do mosto fermentado de arroz, adicionado ou não de tubérculo, raiz amilácea e cereal, em conjunto ou separadamente. Diz ainda que o shochu poderá ser adicionado de açúcares e que quando o teor de açúcares for superior a seis e inferior a trinta gramas por litro, a denominação deverá ser seguida da expressão: adoçada. Será denominado de shochu envelhecido a bebida que contiver, no mínimo, cinquenta por cento de shochu envelhecido por período não inferior a um ano, podendo ser adicionada de caramelo para a correção da cor (BRASIL, 2009).

Shochu (Figura 2.8) é uma bebida destilada tradicional japonesa feita a partir de várias matérias-primas, incluindo arroz, cevada, trigo e batata-doce. Em seu país de origem, sua graduação alcoólica pode variar de 15% a 45% em volume, porém os mais tradicionais possuem 25% em volume. É a bebida alcoólica destilada mais antiga do Japão e está intimamente ligada às sutilezas da cozinha japonesa, apreciada tanto como aperitivo quanto ao lado de uma refeição, além de ser muito utilizada em coquetéis (PELLEGRINI, 2014).



Figura 2.8: Shochus comerciais (Fonte: PELLEGRINI, 2014)

No Brasil, as técnicas de produção do shochu foram introduzidas graças ao espírito empreendedor do imigrante japonês Norihito Matsuda, natural de Gunma, com auxílio do

também imigrante Shigeki Matsumura, natural da província de Kagoshima, que após empenharem vários anos em intensas pesquisas, conseguiram produzir o primeiro shochu 100% brasileiro, utilizando como matéria-prima a mandioca orgânica (MN PRÓPOLIS, 2017).

Em particular, o imo-shochu, o qual é feito a partir de batata doce, é preferido pelos consumidores no Japão, uma vez que tem um sabor preferível associado com batata-doce cozida (OKUTSU, 2016). Imo-shochu feito com batata-doce de coloração amarelo claro tem sabor agradável e é considerado um típico imo-shochu. Quando feito com batata-doce roxa ou laranja, seus sabores são diferentes. Por exemplo, o imo-shochu feito com batata-doce de cor laranja tem sabor remanescente de cenouras e abóboras. O imo-shochu feito com batata-doce de cor púrpura tem sabor de iogurte (KAMIWATARI, 2006).

2.8.1 Koji

Em países asiáticos, incluindo o Japão, existe uma longa tradição de utilizar fungos para produção de bebidas e alimentos fermentados. O shochu também envolve esses fungos em seu processo produtivo. Sabe-se que na produção da cerveja e do whisky, o amido é sacarificado pela β -amilase do malte. Em fermentados asiáticos, fungos são usados como uma fonte de hidrolases de amido. No processo de produção do saquê e do shochu, fungos são cultivados como culturas sólidas em cereais como trigo e arroz. Essas culturas sólidas de fungos são chamadas de *koji* (Figura 2.9) (YOSHIZAKI, 2010).



Figura 2.9: Koji de arroz

O *koji* é subsequentemente incorporado em um mosto contendo a matéria-prima e a levedura. A sacarificação dos materiais amiláceos e a fermentação alcoólica pela levedura ocorrem simultaneamente no mosto. Este estilo de fermentação teve origem a 2000-3000 anos atrás na China. O uso de *koji* na fermentação contribui para uma característica diferenciada das bebidas asiáticas (YOSHIZAKI, 2010).

No Japão, os fungos do *koji* são do gênero *Aspergillus*, que são cultivados exclusivamente no arroz, sendo descritos como *koji* de arroz. Os esporos dos fungos utilizados na preparação do *koji* são chamados de *koji kin*. Atualmente existem três principais tipos de *koji kin*: branco, preto e amarelo. O *koji kin* amarelo, *A. oryzae*, tem sido usado por mais de 2000 anos no Japão para a produção de alimentos fermentados como saquê, molho shoyu e missô. Por outro lado, os *koji kin* branco (*A. kawachii*) e preto (*A. awamori*) têm sido utilizados exclusivamente na produção de shochu (YOSHIZAKI, 2010).

Os *koji kin* preto e branco apresentam a característica de produzirem ácido cítrico, reduzindo o pH do mosto e atuando como uma defesa natural contra bactérias do ar e outros contaminantes que podem prejudicar seriamente o delicado processo de fermentação, especialmente durante os primeiros dias. Esta é uma questão ainda mais preocupante considerando o clima quente e úmido dos principais centros produtores de shochu (PELLEGRINI, 2014). O *koji kin* branco é conhecido por dar um acabamento suave ao produto final, enquanto no shochu feito com o *koji kin* preto pode ser notada uma leve doçura. O *koji kin* amarelo oferece um tratamento mais leve e frutado dos constituintes do mosto, porém, como não produz ácido cítrico como o preto e o branco, as destilarias devem ser extremamente cuidadosas para evitar a infecção do mosto por leveduras selvagens. Sendo evitado este problema, o resultado é um aroma de flores e frutas, e um melhor tratamento dos outros constituintes do mosto (PELLEGRINI, 2014).

2.8.2 Processo de produção do shochu

O processo de produção do shochu inicia-se com a lavagem e cozimento do arroz no vapor, como pode ser visto na Figura 2.10. Após resfriado, é inoculado com um fermento especial, o *koji kin*. É realizado o cultivo, resultando no *koji*, ao qual é adicionado a levedura, ocorrendo a primeira fermentação. Paralelamente, é realizada a lavagem e cozimento no vapor da batata-doce previamente selecionada e qualificada. Em seguida, a batata-doce cozida e triturada é adicionada ao mosto preliminar, ocorrendo a segunda fermentação. O mosto fermentado resultante da segunda fermentação é então destilado e armazenado (YOSHIZAKI, 2011). O resultado é uma bebida requintada de aroma e paladar característicos dos ingredientes utilizados.

Neste processo, além da produção de etanol, ocorre a formação de compostos secundários, os quais compõem o *bouquet* do destilado, conferindo identidade ao produto, se presentes em quantidades controladas. Os principais compostos secundários são: glicerol, álcool metílico, ácido acético, álcool n-propílico, álcool iso-butílico, álcool iso-amílico, aldeído acético, acetato de etila, furfural e hidroximetilfurfural.

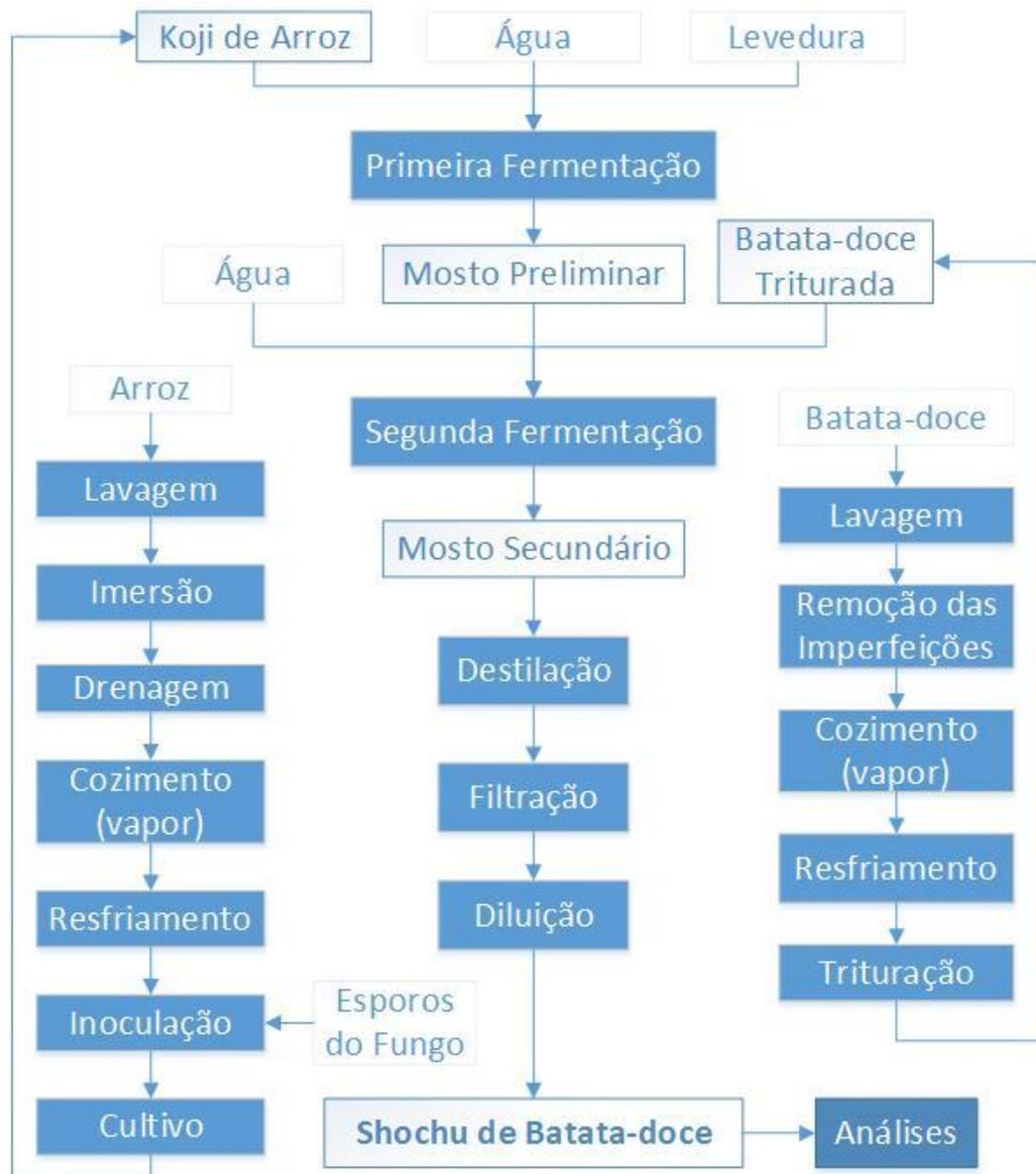


Figura 2.10: Fluxograma de produção do shochu (Fonte: adaptado de YOSHIZAKI, 2011)

2.8.3 Compostos secundários

Existem dois tipos de metabólitos microbianos de interesse para a microbiologia industrial, os metabólitos primários e secundários. O etanol é um metabólito primário típico, produto do metabolismo fermentativo de leveduras. A maioria dos metabólitos secundários são moléculas orgânicas complexas, que requerem um grande número de reações enzimáticas específicas para sua síntese (MADIGAN et al., 2010).

Organolepticamente, as bebidas fermento-destiladas são caracterizadas pela presença de uma pequena fração de metabólitos secundários (aproximadamente 1% da composição) provenientes do processo fermentativo e/ou destilação (NONATO, 2001). Estes compostos são descritos a seguir.

Álcool metílico

O álcool metílico ou metanol que pode ser encontrado no vinho é proveniente da hidrólise das pectinas. É um álcool particularmente indesejável na aguardente. A molécula de pectina é um composto formado pela associação de 300-1000 unidades de ácido galacturônico, que podem ser metiladas (-COOCH₃) ou não metiladas (-COOH) e ligadas com outros polissacarídeos (Figura 2.11) (MAIER et al., 2012).

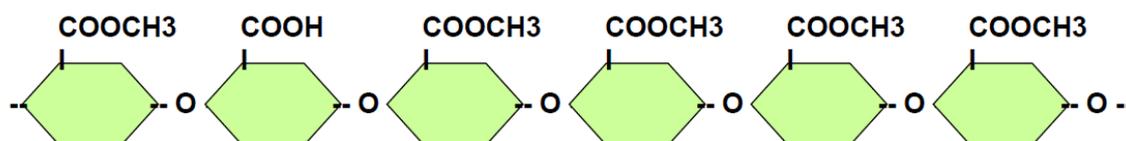


Figura 2.11: Molécula de pectina (Fonte: MAIER et al., 2012)

Dois tipos de enzima são usualmente utilizados para degradação da pectina: as pectinases e as pectina liases. A pectina liase quebra as ligações glicosídicas, não havendo formação de metanol e de ácido galacturônico. Já as pectinases quebram a ligação do metil-éster, dando origem ao metanol e liberando-o para o meio durante o processo de fermentação (MAIER et al., 2012).

A polpa de batata doce contém pectina, que atua como agente espessante e gelificante de alimentos. O conteúdo e a composição de pectina na batata-doce variam com a cultivar, mas geralmente é de 1 a 5% em base úmida (WOOLFE, 1992).

A formação de metanol é indesejável devido a sua alta toxicidade. Deve-se evitar, portanto, uma fermentação conduzida na presença de frutas ricas em pectina, como laranja, maçã, abacaxi e outras, pelo fato de aumentarem acentuadamente a formação de metanol (CARDOSO, 2001).

No organismo, o metanol é oxidado a ácido fórmico e posteriormente a CO₂, provocando uma acidose grave (diminuição do pH sanguíneo), afetando o sistema respiratório e podendo levar ao coma e até mesmo à morte (MAIA, 1994). Sua ingestão, mesmo em quantidades reduzidas, em longos períodos de consumo, pode ocasionar cegueira e a morte (WINDHOLTZ, 1976).

Acidez volátil

A acidez volátil é uma pequena fração da acidez total, formada como subproduto das fermentações. O principal ácido volátil do vinho é o ácido acético (VENTURINI FILHO, 2016).

Os ácidos orgânicos voláteis contribuem para o aroma das bebidas destiladas, devido ao seu aroma característico, e são fixadores de vários compostos aromáticos. Juntamente com os álcoois superiores, conferem corpo a bebida (LÉAUTÉ, 1990).

Segundo Maia (1994), *Sacharomyces cerevisiae* na presença de oxigênio pode converter até 30% do açúcar do mosto em ácido acético; em anaerobiose, essa levedura produz apenas pequenas quantidades de ácido acético.

A acidez de uma bebida destilada é de grande importância, constituindo um fator de qualidade, uma vez que durante sua produção os ácidos reagem com os álcoois presentes, aumentando a formação dos ésteres (Figura 2.13), que são um dos constituintes responsáveis pelo aroma. O excesso de acidez promove sabor indesejado e ligeiramente “agressivo” em aguardente de cana, depreciando a qualidade da bebida (CHERUBIN, 1998).

Álcoois superiores

Os vinhos contêm também pequenos volumes de moléculas de álcool constituídas de três ou mais carbonos. Esses compostos, em baixas concentrações, podem contribuir positivamente para a qualidade sensorial do vinho. Em teores excessivamente elevados, porém, podem aportar notas desagradáveis. A formação dos álcoois superiores na fermentação é favorecida pela aeração em excesso (fermentação em recipientes abertos), temperaturas elevadas e predominância de certas cepas de levedura (VENTURINI FILHO, 2016).

O processo de formação dos álcoois superiores ocorre durante o processo fermentativo, através do metabolismo de aminoácidos e proteínas presentes no mosto, e também como produto secundário do metabolismo de carboidratos, através de reações secundárias (Figura 2.12). Estas rotas ocorrem simultaneamente na fermentação, podendo ainda surgir da redução de aldeídos a álcoois superiores através das leveduras (BERRY, 1995).

Na constituição de compostos de sabor das bebidas destiladas, os álcoois superiores constituem o maior grupo dentre os compostos voláteis sob o aspecto quantitativo, influenciando significativamente nas características do sabor das bebidas. Conferem corpo à bebida, além de alguns esterificarem durante o envelhecimento, formando ésteres aromaticamente mais agradáveis (JANZANTTI, 2004).

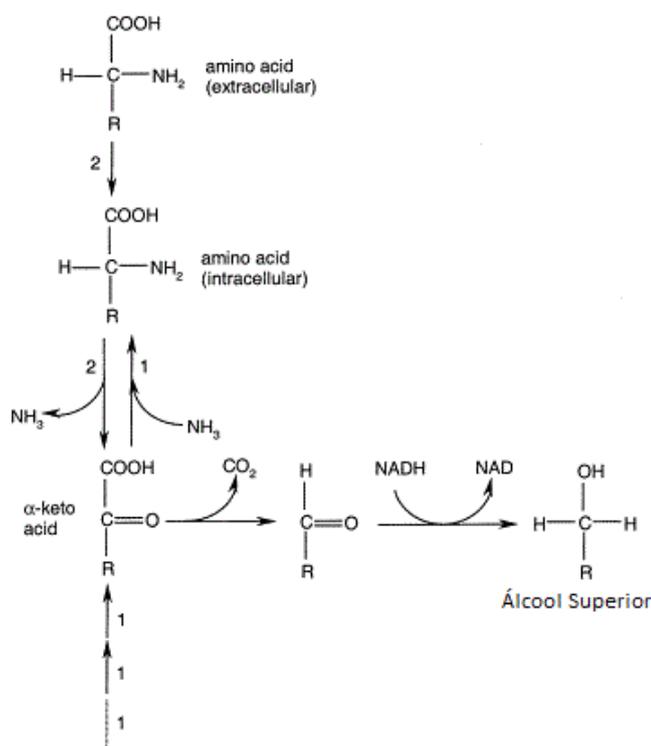


Figura 2.12: Formação de álcoois superiores (Fonte: SLUIS et al., 2001)

Aldeídos

A porção mais volátil das bebidas alcoólicas são preponderantemente formadas por compostos carboxílicos tais como diacetil e aldeídos. Os compostos carboxílicos, juntamente com os outros compostos voláteis, são importantes para o sabor característico de bebidas alcoólicas (OLIVEIRA, 2001).

Os aldeídos são coprodutos normais da fermentação alcoólica e a formação desse tipo de composto é resultado da ação de leveduras durante os estágios preliminares do processo fermentativo (Figura 2.7). Por isso, um grande número de aldeídos tem sido identificado nas bebidas alcoólicas, mas o principal aldeído relacionado à fermentação alcoólica é o acetaldeído (MAIA, 1994).

A toxicidade relacionada aos aldeídos é amplamente conhecida e sua presença em bebidas alcoólicas é frequentemente relacionada à náusea, vômito, diminuição da pressão sanguínea, aceleração cardíaca e dor de cabeça (LABIANCA, 1974).

Ésteres

Os ésteres representam o maior grupo de compostos de sabor em bebidas destiladas, sendo formados durante todo o processo na fermentação, destilação e no envelhecimento da bebida (NYKÄNEN, 1991).

Por serem compostos voláteis que concedem um odor agradável, possuem grande importância para o aroma das bebidas alcoólicas, porém, as propriedades particulares do aroma raramente podem ser associadas a um éster específico. Estes compostos contribuem no chamado *bouquet* da bebida (NYKÄNEN, 1986).

O principal éster encontrado na cachaça é o acetato de etila, obtido pela reação entre etanol e ácido acético, provenientes do processo de fermentação (ROSE, 1970; PIGOTT, 1989) (Figura 2.13).

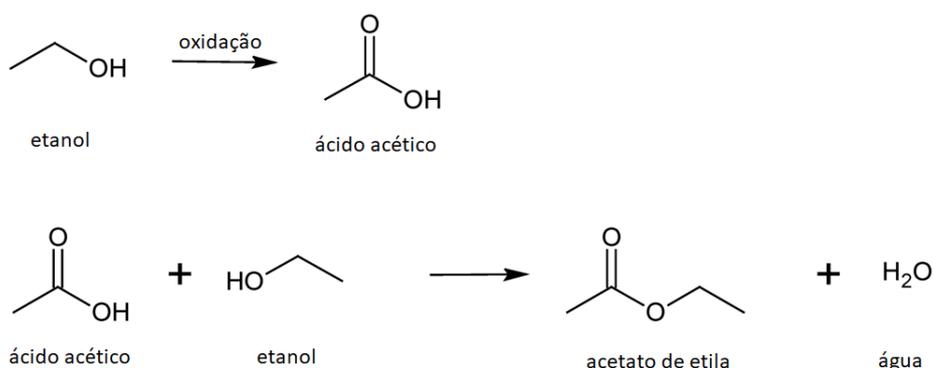


Figura 2.13: Formação de acetato de etila

Quando presente em pequenas quantidades, este é responsável pela incorporação de aroma agradável de frutas no destilado. Por outro lado, em grandes quantidades, confere à bebida um sabor enjoativo e indesejado (WINDHOLTZ, 1976).

A falta de aeração ou nitrogênio pode produzir um aumento na formação de ésteres. Estudos indicaram que a maioria dos ésteres é produzida nos últimos estágios da fermentação, ao contrário dos álcoois que são produzidos abundantemente no início (BERRY, 1995).

Álcoois

O etanol ou álcool etílico é o mais importante álcool dos vinhos. No plano sensorial, apresenta gosto levemente adocicado, auxiliando também no volume/estrutura. Além disso, é importante para a estabilidade química da bebida (VENTURINI FILHO, 2016).

O glicerol é o segundo álcool em importância nos vinhos. No aspecto sensorial, tem gosto adocicado e é viscoso, contribuindo para a untuosidade do vinho (VENTURINI FILHO, 2016). Um vinho untuoso é um vinho aveludado, sedoso e viscoso. O glicerol é sintetizado pela redução da diidroxiacetona fosfato a glicerol-3-fosfato, uma reação catalisada pela enzima glicerol-3-fosfato desidrogenase, seguida pela defosforilação do glicerol-3-fosfato pela glicerol-3-fosfato fosfatase (Figura 2.14) (MELO, 2006).

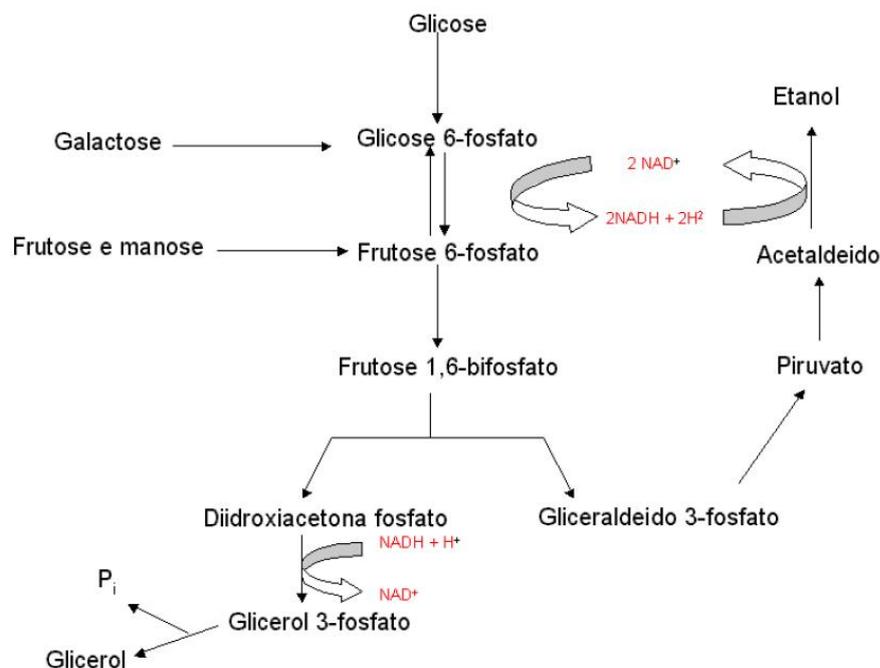


Figura 2.14: Metabolismo central de produção de etanol e glicerol a partir da glicose (Fonte: MELO, 2006)

Furfural e hidroximetilfurfural

Os aldeídos furânicos, furfural e 5-hidroximetil-furfural formam-se a partir da hidrólise de pentoses e hexoses em meio ácido. As pentoses formam furfural como principal produto de degradação, enquanto as hexoses formam 5-HMF (Figura 2.15). Outros fatores, como o envelhecimento da bebida sob condições irregulares e a adição de caramelo também podem contribuir para o aumento no teor destes componentes (MAIA, 1994). Quando em altas concentrações, são considerados indicadores de degradação de alimentos e bebidas. Entretanto, quando presentes em baixas concentrações, compõem o aroma de algumas

bebidas como brandies (conhaques) e vinhos envelhecidos em barris de madeira (AZEVEDO, 2007).

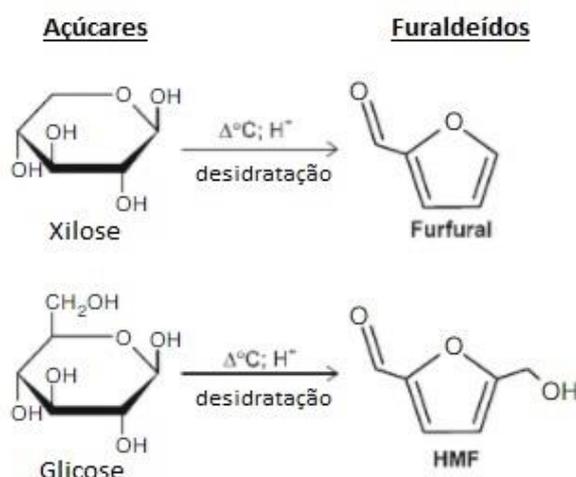


Figura 2.15: Representação esquemática da formação de furfural e HMF a partir de xilose e glicose (Fonte: ALMEIDA et al., 2009)

A toxicidade desses compostos furânicos em seres humanos ainda não é bem conhecida, com exceção do furfural, para o qual já está estabelecido o valor IDLH (*Immediately Dangerous to Life or Health Air Concentration*) que é de 100,00 ppm (LO COCO, 1996). A literatura sugere que o contato prolongado ou repetitivo com o furfural possa causar dermatites, irritação da mucosa e trato respiratório, além de afetar o sistema nervoso central. Todos esses dados são baseados em testes realizados com animais de laboratório, não havendo estudos conclusivos sobre os efeitos desses compostos sobre humanos (AZEVEDO, 2007).

Coeficiente de congêneres

O coeficiente de congêneres (componentes voláteis "não álcool") é a soma de acidez volátil, aldeídos, ésteres, álcoois superiores, furfural e hidroximetilfurfural (VENTURINI FILHO, 2016). São compostos secundários que, em excesso, são responsáveis pelos sabores desagradáveis presentes nas bebidas e pelos efeitos negativos (toxicológicos) de sua ingestão.

As bebidas alcoólicas apresentam uma ampla variação de "flavor", sendo que os compostos responsáveis pelo odor e sabor dessas bebidas são álcoois, aldeídos, ácidos orgânicos e ésteres, compostos denominados congêneres (BRASIL, 1997).

2.8.4 Legislação brasileira para o shochu

A fim de assegurar os padrões de identidade e de qualidade do destilado, bem como a segurança dos consumidores, os limites dos componentes do shochu são previstos na legislação brasileira, regulada pelo MAPA (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento). Estes valores estão mostrados na

Tabela 2.2.

Tabela 2.2: Legislação brasileira para o shochu (Fonte: MAPA, 2011)

Componente	Mínimo	Máximo
Álcool metílico [mg/100 mL de álcool anidro]	-	20
Acidez volátil, em ácido acético [mg/100 mL de álcool anidro]	-	100
Álcoois superiores (álcool n-propílico + álcool iso-butílico + álcool iso-amílico) [mg/100 mL de álcool anidro]	-	200
Aldeídos, em aldeído acético [mg/100 mL de álcool anidro]	-	20
Coefficiente de congêneres* [mg/100 mL de álcool anidro]	200	500
Ésteres, em acetato de etila [mg/100 mL de álcool anidro]	-	200
Gradação alcoólica [% v.v ⁻¹ a 20°C]	15	35
Furfural + hidroximetilfurfural [mg/100 mL de álcool anidro]	-	5
Teor de açúcar [g/L]	-	6

*O coeficiente de congêneres é a soma de acidez volátil, aldeídos, ésteres totais, álcoois superiores, furfural e hidroximetilfurfural.

2.8.5 Processos alternativos de produção de bebidas alcoólicas amiláceas

Na literatura, há relatos de novas alternativas visando melhorias no processo de produção de bebidas alcoólicas, como utilização de células de leveduras imobilizadas na produção de vinhos (GENISHEVA et al., 2014) e modificações genéticas em leveduras para melhorar as propriedades fermentativas da cerveja (LIU et al., 2008). Além disso, existem estudos buscando alternativas mais econômicas de adjuntos de malte para o processo produtivo de cerveja (BOGDAN et al., 2017) e de produção de novas bebidas alcoólicas, como por exemplo cerveja sem glúten (KERPES et al., 2017), aguardente de “liquor” de laranja utilizando fermento de descarte da indústria cervejeira e bebidas fermentadas e destiladas a partir do soro de leite (VENTURINI FILHO, 2011).

No caso de bebidas alcoólicas amiláceas, foram encontrados na literatura relatos recentes de processos alternativos de produção de vinho de arroz chinês, com novas técnicas de pré-tratamento substituindo a etapa de cozimento do arroz (WEI et al., 2017; JIAO et al, 2017), utilização de diferentes microrganismos, imobilizados ou não, otimização da etapa fermentativa e reformas na tecnologia de esterilização (JIAO et al, 2017). Wei et al. (2017) conclui que, em comparação com a tecnologia de fabricação tradicional, as técnicas de pré-tratamento que substituem a etapa de cozimento do arroz economizam recursos hídricos e reduzem a poluição ambiental. Jiao et al. (2017) afirma que as inovações trazem desafios e oportunidades para o mercado de vinho de arroz chinês, não só por estar associado a saúde, nutrição, segurança e palatabilidade, como também pela possibilidade de produção em larga escala em virtude da economia de energia e tempo, conveniência, alta eficiência, sanitização e higiene.

Dessa forma, percebe-se a importância de processos alternativos de produção de bebidas alcoólicas com maior tecnologia aplicada e eliminação de etapas rudimentares,

buscando promover maior rendimento da fermentação alcoólica, redução de custos e de tempo de produção, além de fornecer opções de consumo diferenciadas, possibilitando benefícios tanto para a indústria quanto para o consumidor final.

Capítulo 3 – Materiais e Métodos

Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Controle e Integração de Processos (LACIP) do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Todos os experimentos e análises foram realizados em triplicata, sendo divididos em duas etapas:

1ª) Produção e análise de destilado de batata-doce baseado nas técnicas convencionais de produção de shochu;

2ª) Produção e análise de destilado de batata-doce utilizando nova rota de produção.

3.1 Reagentes e materiais

Os reagentes utilizados nos experimentos foram os seguintes: dextrose anidra P.A., glicerina P.A., acetato de etila UV/HPLC e álcool n-propílico P.A. da Dinâmica Química Contemporânea Ltda; D-frutose puríssima (levulose), ácido clorídrico P.A., hidróxido de sódio micropérolas P.A. e álcool metílico P.A. seco (metanol) da Vetec Química Fina; álcool etílico absoluto P.A e metabissulfito de potássio P.A. da Synth; ácido acético glacial 99,8% P.A., álcool isobutílico P.A., álcool iso-amílico P.A., acetaldeído anidro puríssimo P.A. e furfural P.A. da Neon; 5-(Hidroximetil)furfural da Sigma-Aldrich; peptona bacteriológica e extrato de levedura da KASVI. As vidrarias de laboratório utilizadas foram previamente esterilizadas em autoclave a 1 bar e 121°C por 15 minutos.

3.2 Caracterização da matéria-prima

As cultivares de batatas-doces utilizadas foram espécies similares à BRS Amélia (casca rosada e polpa alaranjada), BRS Cuia (casca creme e polpa creme) e BRS Rubissol (casca púrpura e polpa creme), as quais foram adquiridas em mercado local na cidade de Porto Alegre, RS.

A caracterização das batatas-doces foi feita pela determinação do teor de umidade e do teor de açúcares redutores totais das amostras.

A análise de umidade das amostras de batata-doce foi realizada por método de secagem direta em estufa a 105°C até peso constante (IAL, 2008).

A quantificação de açúcares redutores totais da batata-doce foi feita por meio de hidrólise ácida seguida de análise de cromatografia líquida de alta eficiência, segundo Schweinberger (2016). Em aproximadamente 2 g de batata-doce fresca, triturada em processador e homogeneizada em peneira de 2 mm, foram adicionados 25 mL de água destilada e 1 mL de ácido clorídrico e aquecidos em autoclave a 1 bar e 121°C durante 2 horas. Em seguida, neutralizou-se com solução de hidróxido de sódio 10% (v/v) para pH entre 3,5-4,0, diluiu-se e filtrou-se. As amostras coletadas foram congeladas para posterior análise cromatográfica.

3.3 Produção e análise de destilado de batata-doce baseado nas técnicas convencionais de produção de shochu

A levedura utilizada no processo foi a Levedura Seleccionada *Saccharomyces cerevisiae* Angel Thermal Resistance Alcohol Yeast®, fornecida pela LNF Latino America®.

O processo de produção de shochu foi baseado nos procedimentos e proporções utilizados por Yoshizaki et al. (2011) (Figura 2.10).

Preparou-se o meio de cultivo YPD líquido (2% de dextrose (D-glicose), 2% de peptona, 1% de extrato de levedura), o qual foi autoclavado a 1 bar e 121°C por 15 minutos. A 100 mL de meio YPD foi adicionado 0,1 g de levedura, e incubou-se em incubadora shaker refrigerada Novatecnica a 30°C e 150 rpm por 24 horas. Após esse período, retirou-se uma amostra para determinar a concentração de células em espectrofotômetro PG Instruments Ltd T80+, no comprimento de onda de 500 nm, quantificada através de curva analítica previamente construída, e resultando em concentração de $4,66 \times 10^7$ células/mL.

O *koji* utilizado nos experimentos foi adquirido da Gem Culture® (EUA). Conforme o fabricante, seu preparo ocorreu da seguinte forma: arroz branco polido foi imerso em água por 1 hora, e o excesso de líquido foi drenado por 1 hora. O arroz foi cozido no vapor por 1 hora, e então resfriado até 40°C antes da inoculação com os esporos do fungo *Aspergillus oryzae*. Após a inoculação, o arroz foi cultivado sob condições de temperatura e umidade apropriadas, a 37°C por 40 horas. Os teores de umidade e açúcares redutores do *koji* também foram quantificados, conforme método descrito para a batata-doce (seção 3.2).

O *koji* de arroz (40 g) foi adicionado a 48 mL de água e 0,8 mL de meio de cultivo da levedura e fermentado em shaker por 5 dias a 30°C e 150 rpm (primeira fermentação). Batata-doce (200 g) foi cozida no vapor por 1h, resfriada e triturada em processador. A batata-doce triturada foi adicionada ao mosto primário com 112 mL de água (mosto secundário). O mosto secundário foi fermentado em shaker por 9 dias a 30°C e 160 rpm (segunda fermentação) (Figura 3.1) (YOSHIZAKI, 2011).



Figura 3.1: Fermentação em shaker – técnica convencional

As amostras coletadas dos fermentados foram centrifugadas a 3500 rpm, durante 10 minutos, com tempo de aceleração e frenagem de 60s. Os sobrenadantes foram recolhidos, filtrados com membrana de nylon de 0,20 μm e congelados. Anteriormente às análises cromatográficas, todas as amostras foram colocadas por 10 minutos em banho de ultrassom, a fim de eliminar bolhas.

Considerando-se a relação estequiométrica da reação de fermentação, a razão da massa de *koji* adicionado pelo volume de diluição em água (x_k), a razão da massa de batata-doce adicionada pelo volume de diluição em água (x_{bd}), o teor de umidade do *koji* (x_{uk}), o teor de umidade da batata-doce (x_{ubd}), a água consumida na reação de hidrólise e sua estequiometria, o teor de açúcares redutores totais do *koji* (ART_k), o teor de açúcares redutores totais da batata-doce (ART_{bd}) e a densidade do etanol como sendo 0,789 kg.L^{-1} , o teor de etanol teórico formado na fermentação ($x_{et,teórico}$) pode ser calculado pela seguinte equação, resultante da dedução do balanço de massa, baseada em Schweinberger (2016):

$$x_{et,teórico}(\%, v. v^{-1}) = \frac{92. [(ART_{bd} \cdot x_{bd}) + (ART_k \cdot x_k)]}{142,02 + 1,4202. [(x_{ubd} \cdot x_{bd}) + (x_{uk} \cdot x_k)] + 0,778. [(ART_{bd} \cdot x_{bd}) + (ART_k \cdot x_k)]} \quad (3.1)$$

A dedução da equação (3.1) encontra-se no Apêndice I.

O shochu de batata-doce foi obtido por destilação única do mosto secundário até atingir graduação alcoólica de 37%, conforme método original, em aparato de destilação mostrado na Figura 3.2.

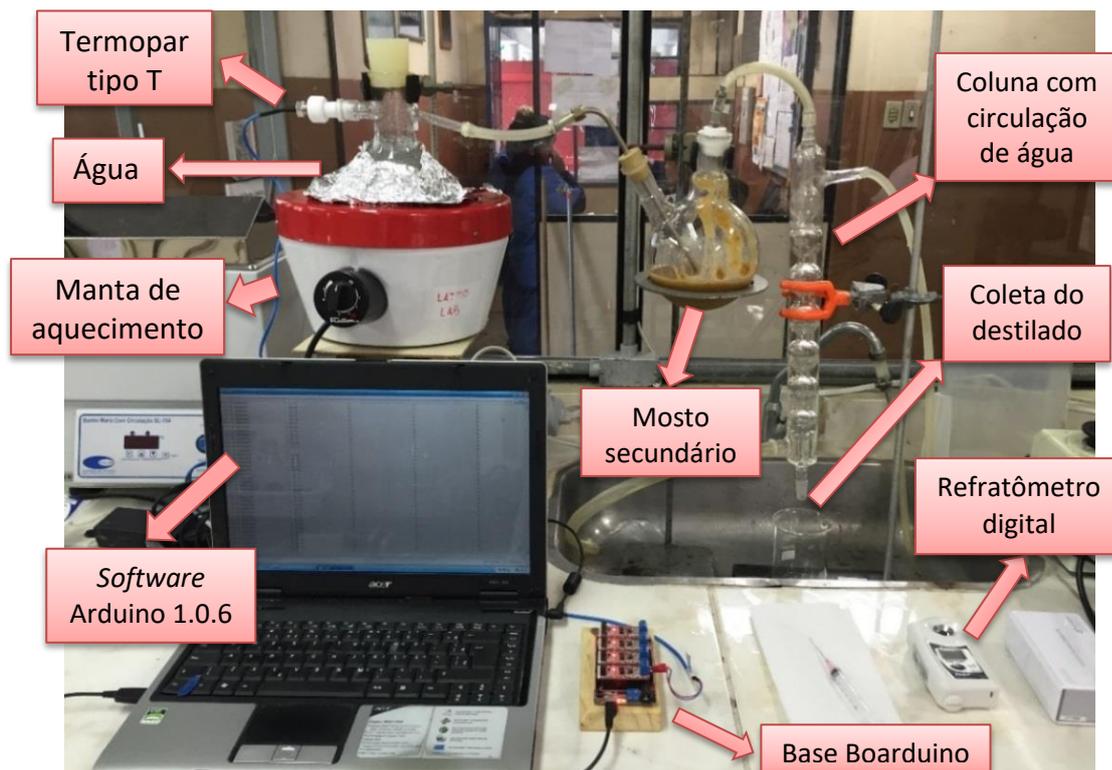


Figura 3.2: Aparato de destilação por arraste a vapor

O mosto secundário foi destilado usando vapor gerado por água em um balão redondo aquecido por manta de aquecimento. Em experimento teste, a temperatura do sistema havia sido controlada por uma câmera térmica portátil. Já nos experimentos seguintes, a temperatura do vapor foi medida por meio de termopar tipo T com isolamento mineral rosqueado na lateral do balão, e acompanhada durante a destilação por programação no *software* Arduino 1.0.6. O termopar foi conectado à Base Boarduino (produzida pela Circuitar® com micro controlador ATmega328), com 4 *Nanoshields Thermocouple* (fabricados pela Circuitar®), conectada ao computador via cabo micro-USB.

O destilado foi condensado e coletado. O término da destilação ocorre quando o conteúdo de álcool no destilado alcança aproximadamente 37%. O controle do teor alcoólico do destilado foi feito por meio de refratômetro digital portátil, e conferido por curva analítica de etanol previamente construída, a qual encontra-se no Apêndice II. O destilado foi filtrado com papel filtro qualitativo e diluído até um teor alcoólico de 25%. Amostras de shochu foram armazenadas a temperatura ambiente para análise.

A determinação de glicose, frutose, etanol, glicerol, ácido acético, acetaldeído, metanol, furfural e hidroximetilfurfural foi efetuada através de cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) utilizando-se o cromatógrafo Agilent Technologies 1260 Infinity, equipado com coluna Agilent Hi-Plex H, conforme métodos aplicados por Ball et al. (2011), contendo como fase móvel ácido sulfúrico 0,005M isocrático. A temperatura da coluna foi de 60°C, o detector utilizado foi o RID (*Refractive Index Detector*) a 55°C, a vazão da fase móvel foi de 0,7 mL.min⁻¹ e o volume de amostra injetado foi de 20 µL. O tempo total de corrida foi de 60 minutos e os tempos de retenção dos compostos de interesse foram os seguintes: 9,5 min para glicose, 10,2 min para frutose, 13,3 min para glicerol, 15,3 min para ácido acético, 18,2 min para acetaldeído, 18,5 min para metanol, 20,1 min para etanol, 31,0 min para

hidroximetilfurfural e 47,9 min para furfural. A quantificação foi realizada por meio de curvas analíticas previamente construídas para cada um dos componentes citados. As curvas analíticas encontram-se no Apêndice II.

A determinação de álcool n-propílico, álcool iso-butílico, álcool iso-amílico e acetato de etila foi realizada conforme método empregado por Vilela et al. (2007), através de cromatografia gasosa no cromatógrafo SHIMADZU GC-2014, injeção manual, detector de ionização em chama (FID), coluna Elite-WAX com fase estacionária polietileno glicol (30 m x 0,25 mm x 0,25 mm). A temperatura foi de 150°C para o injetor e para o detector. O programa de temperatura da coluna utilizado foi de 60°C durante 2,5 minutos, aumentando a uma taxa de 2°C/min até 80°C, em que permaneceu por 2 minutos. O volume de amostra injetado foi de 1 µL e a taxa de *split* foi de 1:30. Nitrogênio foi utilizado como gás de arraste; hidrogênio e ar sintético foram utilizados para a formação da chama. A pressão foi de 103,4 kPa e a velocidade linear foi de 33,5 cm.s⁻¹. Os tempos de retenção para o acetato de etila, álcool n-propílico, álcool iso-butílico e álcool iso-amílico foram, respectivamente, 2,3 min, 3,5 min, 4,6 min e 7,5 min. A quantificação foi realizada por meio de curvas analíticas previamente construídas para cada um dos componentes citados. As curvas analíticas encontram-se no Apêndice II.

3.4 Produção e análise de destilado de batata-doce utilizando nova rota de produção

Sabe-se que o *koji*, obtido pelo crescimento de *Aspergillus sp.* sobre cereais cozidos, atua como uma fonte de enzimas para converter os constituintes vegetais complexos em constituintes mais simples, objetivando a hidrólise do amido (BORZANI et al., 2001). Dessa forma, estudou-se substituir o *koji* pela enzima Stargen 002, mistura comercial da marca Genencor fabricada pela DuPont, contendo alfa-amilase de *Aspergillus kawachi* expressa em *Trichoderma reesei* e glucoamilase de *T. reesei*. Essa enzima foi utilizada a fim de efetuar a hidrólise do amido da batata-doce de forma semelhante ao uso do *koji*, procurando otimizar o processo reduzindo o tempo necessário para a fermentação, diminuindo o risco de contaminação e aumentando a efetividade. A enzima pectinase Pectinex Ultra AFP, fornecida pela LNF Latino America, foi utilizada para a redução da viscosidade do meio.

Foram testados três tipos de levedura: Levedura Seleccionada *Saccharomyces cerevisiae* Angel Thermal Resistance Alcohol Yeast®, *S. cerevisiae* var. *bayanus* Lalvin DV10®, e *S. cerevisiae* var. *bayanus* Lalvin EC1118®, fornecidas pela LNF Latino America.

A Angel Thermal Resistance Alcohol Yeast® é uma cepa de levedura *Saccharomyces cerevisiae* sob a forma seca, estável e altamente concentrada, que foi selecionada de um processo em batelada para fabricação etanol com reciclo total de células e teores alcoólicos de até 15% (v/v). Suas principais características são a alta resistência a mudanças de pH, a longas paradas na fermentação e ao processo de reciclo. Também apresenta baixa formação de espuma, alta capacidade de implantação e predominância e elevado rendimento fermentativo (LNF LATINO AMERICA, 2017).

A Lalvin EC1118®, muito usada em todo o mundo, é uma levedura isolada na região de Champagne. Sua utilização foi validada pelo CIVC (*Comité Interprofessionnel du Vin de Champagne*). Tem aptidão fermentativa notável numa larga gama de condições, velocidade

de fermentação rápida, tolerância ao álcool de até 18% (v/v), e temperatura de fermentação de 10 a 30°C (LNF LATINO AMERICA, 2017).

A Lalvin DV10® foi selecionada na região de Champagne por Martin Vialatte Oenologie. É excelente na fermentação alcoólica mesmo em condições difíceis (pH baixo, pressões elevadas, etc), como na produção de espumantes. Nas zonas quentes, a produção de acidez volátil é inferior à da EC-1118. Destaca-se pelas suas características aromáticas (relação ésteres/álcoois superiores muito favorável). Não há produção de SO₂ nem de H₂S. Atua em uma ampla gama de temperaturas de fermentação (15-32°C) (LNF LATINO AMERICA, 2017).

O processo fermentativo foi realizado conforme Schweinberger (2016), com alteração na temperatura de 34°C para 30°C, em função da temperatura máxima suportada pelas leveduras de espumante (LALVIN DV-10®: 15-32°C, LALVIN EC-1118®: 10-30°C). Batata-doce foi cozida no vapor até atingir 76°C, resfriada e triturada em processador. Foram preparadas solução tampão pH 4 de ácido cítrico e citrato de sódio e solução de tetraciclina hidrocloreto purex 3,4 g.L⁻¹. A 240 g de batata-doce triturada foram adicionados 140 mL de solução tampão, 20 mL de solução de antibiótico, 240 µL de Stargen 002, 24 µL de Pectinex Ultra AFP e 0,8 g de levedura. O mosto foi fermentado em shaker a 30°C e 160 rpm durante 24 horas. Esse procedimento está esquematizado na Figura 3.3. As amostras coletadas de fermentados foram centrifugadas a 3500 rpm, durante 10 minutos, com tempo de aceleração e frenagem de 60s. Os sobrenadantes foram recolhidos, filtrados com membrana de nylon de 0,20 µm e congelados.

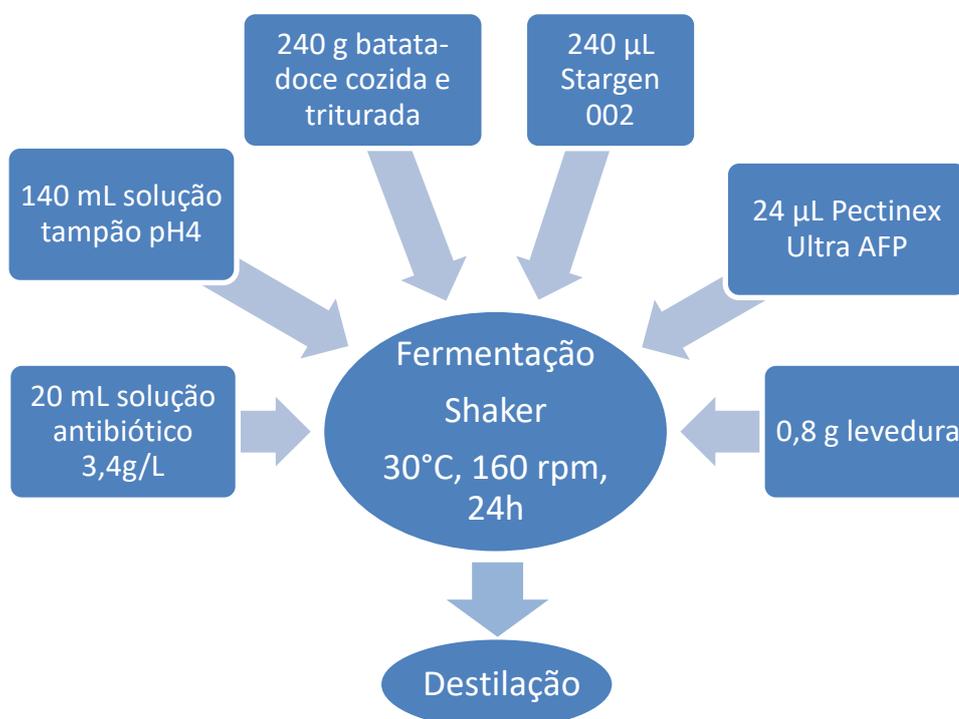


Figura 3.3: Procedimento experimental para produção de destilado de batata-doce

A destilação foi realizada utilizando um aparato de destilação fracionada em batelada, com capacidade para 1 L de fermentado, equipado com coluna de 24x600 mm recheada com anéis de Raschig de 7x15 mm (Figura 3.4). Colunas recheadas são utilizadas quando uma maior separação dos componentes é necessária. A altura e o recheio propiciam resistência

ao escoamento e gradiente de temperatura, necessários para a condensação e refluxo de destilado. Ainda, o recheio possibilita alta área de contato entre o líquido e o vapor, facilitando a transferência de calor e de massa.

A temperatura no balão foi monitorada por meio de termopar tipo T com isolamento mineral rosqueado na lateral do balão, e acompanhada durante a destilação por programação no *software* Arduino 1.0.6. Além disso, foi acompanhada a temperatura no topo da coluna utilizando-se um termômetro. O destilado foi condensado em condensador reto com circulação de água a temperatura ambiente e coletado ao final do sistema.

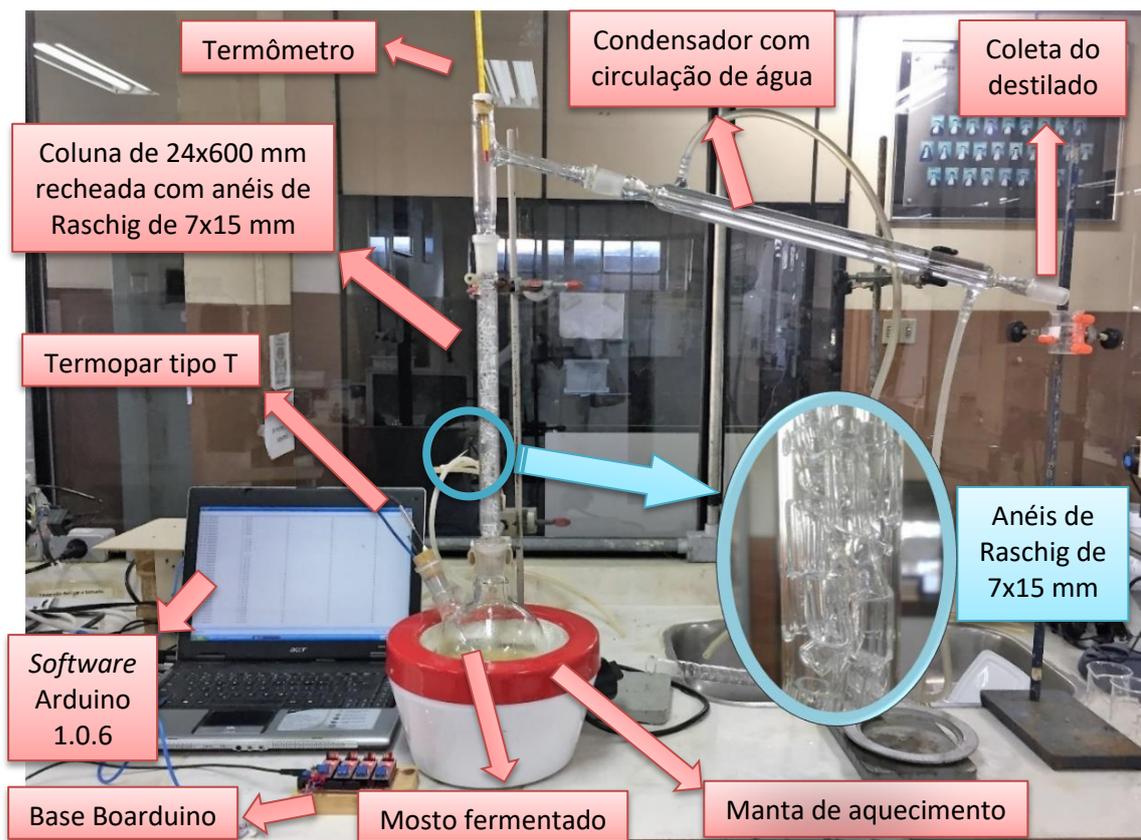


Figura 3.4: Aparato de destilação com coluna com recheio de anéis de Raschig

O monitoramento do teor alcoólico do destilado foi feito por meio de refratômetro digital portátil, e conferido por uma curva analítica de etanol previamente construída, a qual pode ser visualizada no Apêndice II.

Sabe-se que, para cachaça, a fração cabeça corresponde ao recolhimento de 5%, o coração representa 80% e a cauda corresponde à 15% do volume total do destilado (OLIVEIRA et al., 2005). Foram separadas três frações de destilado, de acordo com o teor alcoólico das mesmas: cabeça (até 50% v/v), coração (de 50 a 38% v/v) e cauda (de 38 a 10% v/v) (Venturini Filho, 2016).

As amostras foram diluídas e filtradas para posterior análise. Anteriormente às análises cromatográficas, todas as amostras permaneceram por 10 minutos em banho de ultrassom, a fim de eliminar bolhas.

O teor de etanol teórico formado na fermentação ($x_{et,teórico}$) pode ser calculado pela equação (3.2), resultante de igualar os termos relacionados ao *koji* a zero na equação (3.1):

$$x_{et,teórico}(\%, v. v^{-1}) = \frac{92. (ART_{bd} \cdot x_{bd})}{142,02 + 1,4202. (x_{ubd} \cdot x_{bd}) + 0,778. (ART_{bd} \cdot x_{bd})} \quad (3.2)$$

Sendo $x_{et,exp}$ o teor de etanol experimental formado na fermentação, o rendimento experimental da fermentação (Y_{exp}) é calculado pela equação (3.3):

$$Y_{exp} = \frac{x_{et,exp}}{x_{et,teórico}} \times 100 \quad (3.3)$$

A determinação de glicose, frutose, etanol, glicerol, ácido acético, acetaldeído, metanol, furfural e hidroximetilfurfural foi efetuada através de cromatografia líquida de alta eficiência utilizando-se o cromatógrafo líquido Agilent Technologies 1260 Infinity II, conforme método semelhante ao descrito em 3.1, porém com as seguintes alterações: injeção manual; fase móvel utilizada água mili-Q isocrático e a vazão da fase móvel de $0,6 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$. Os tempos de retenção dos compostos de interesse são: 10,7 min para glicose, 11,5 min para frutose, 15,3 min para glicerol, 17,13 min para ácido acético, 20,2 min para acetaldeído, 21,6 min para metanol, 25,0 min para etanol, 33,0 min para hidroximetilfurfural e 53,54 min para furfural. Tais alterações ocorreram em função da aquisição de um novo HPLC e da necessidade de adequação do método ao mesmo. A quantificação foi realizada por meio de novas curvas analíticas construídas para cada um dos componentes citados. As curvas analíticas encontram-se no Apêndice II. A determinação de álcool n-propílico, álcool iso-butílico, álcool iso-amílico e acetato de etila foi realizada através de cromatografia gasosa conforme método descrito em 3.1.

3.4.1 Identificação de problemas e novos testes para melhoria do processo

A fim de se investigar as possíveis causas de presença de compostos indesejados no fermentado e no destilado, foi realizado um teste sem a adição da pectinase, utilizando as mesmas condições descritas em 3.2.

Buscando utilizar uma melhor alternativa de agente antimicrobiano no processo, substituiu-se o antibiótico tetraciclina pelo metabissulfito de potássio (20 mL de solução 0,15 g/L de metabissulfito de potássio). Além disso, foi realizada uma etapa extra de trituração anteriormente ao cozimento para promover uma melhor desintegração da batata-doce na tentativa de obter maiores rendimentos da fermentação alcoólica.

3.4.2 Espectroscopia de infravermelho

Buscando identificar semelhanças e diferenças entre os destilados produzidos e o shochu comercial, foi realizada análise de infravermelho. A região do infravermelho do espectro eletromagnético é dividida por conveniência em três sub-regiões de acordo com o intervalo de comprimento de onda: NIR (*near infrared region*, $\sim 14000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$), MIR (*mid infrared region*, $\sim 4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$) e FIR (*far infrared region*, $\sim 400\text{-}10 \text{ cm}^{-1}$). O MIR é utilizado para estudar vibrações fundamentais e estruturas rotacionais-vibracionais associadas. Essa é a região mais amplamente utilizada para estudar grupos orgânicos funcionais, como as moléculas componentes de bebidas alcoólicas (BUGLASS et al., 2011). O espectro MIR foi

coletado na região de infravermelho médio de 4000-650 cm^{-1} , usando o espectrômetro PerkinElmer Frontier FT-NIR, equipado com o módulo de análise UATR (*Universal Attenuated Total Reflectance*). Os espectros de transmitância foram registrados a uma resolução espectral de 16 cm^{-1} . Cada espectro foi resultado médio de 16 varreduras.

Para melhor interpretação dos resultados obtidos para os diversos compostos analisados nas amostras de destilado de batata-doce, foi efetuado tratamento quimiométrico utilizando análise de componentes principais (PCA) com o auxílio do *software* Python 2.7 através da ferramenta de fonte aberta *scikit-learn*.

Capítulo 4 – Resultados e Discussão

4.1 Resultados referentes à produção e análise de destilado de batata-doce baseado nas técnicas convencionais de produção de shochu

Os resultados de caracterização da batata-doce e do *koji* estão mostrados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1: Caracterização da batata-doce e do *koji*

	Umidade (%)	ART (%)
Batata-doce de casca rosada e polpa alaranjada	74,38±0,14	20,57±0,49
Batata-doce de casca creme e polpa creme	67,95±0,38	30,42±1,54
Batata-doce de casca púrpura e polpa creme	69,67±0,12	27,44±0,36
Koji	8,57±0,21	81,30±3,69

A batata-doce de casca creme e polpa creme foi a que apresentou maior teor de açúcares redutores totais (ART) (30,42±1,54%), seguida pela batata-doce de casca púrpura e polpa creme (27,44±0,36%) e por fim a batata-doce de casca rosada e polpa alaranjada (20,57±0,49%). Observa-se uma relação inversamente proporcional entre o teor de ART e o teor de umidade. Esses resultados foram semelhantes aos obtidos por Schweinberger (2016). Já o *koji* possui baixo teor de umidade (8,57±0,21%) e grande quantidade de açúcares (81,30±3,69%). Da mesma forma, Kodama e Yoshizaka (1977) relatam um alto teor de açúcares de 90,4% no *koji* de arroz.

Os resultados do acompanhamento da primeira etapa fermentativa podem ser visualizados na Figura 4.1.

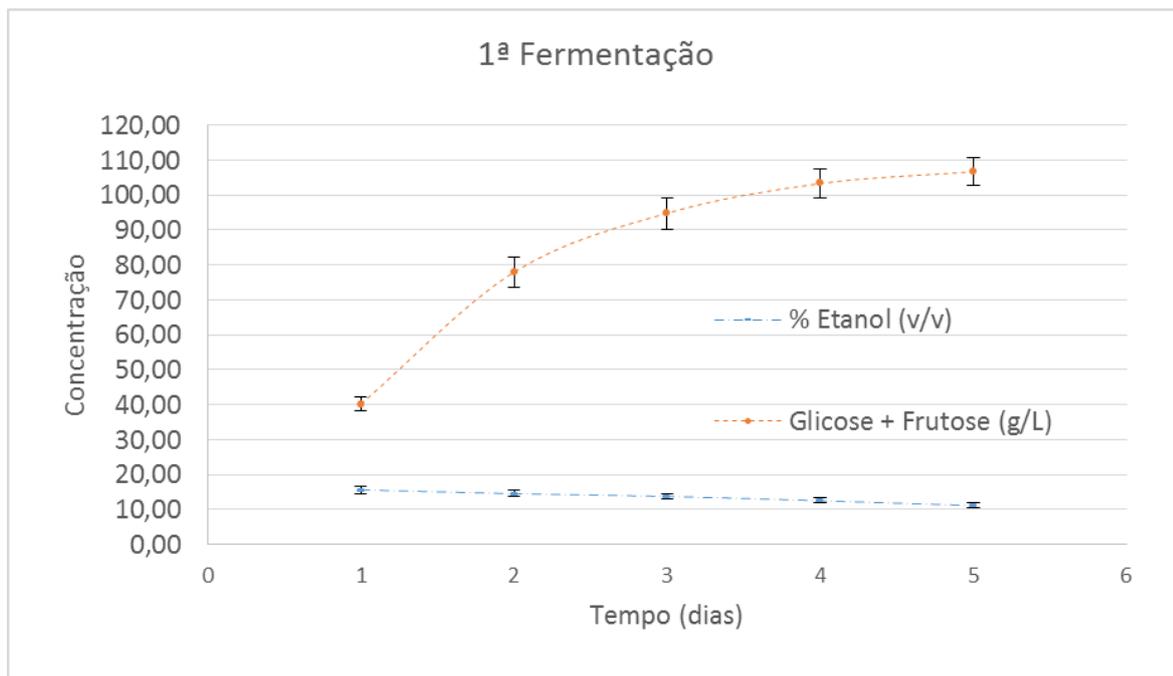


Figura 4.1: Acompanhamento da 1ª etapa fermentativa para o *koji*

Nesta etapa, ocorre a hidrólise enzimática do amido do *koji* de arroz, causada pelas enzimas α -amilase e glucoamilase, produzidas pelo fungo *A. oryzae*, acarretando no aumento da concentração de glicose e frutose no meio. Ao final do 5º dia, a concentração de açúcares atingiu $106,71 \text{ g.L}^{-1}$. Ao mesmo tempo, parte dos açúcares é convertida pela levedura em etanol, mantendo o teor de etanol entre 12-15% ao longo do processo.

Os resultados comparativos da segunda etapa fermentativa para cada tipo de batata-doce estão mostrados nas Figura 4.2 e Figura 4.3. Constatou-se que ocorreu contaminação nas amostras do dia 1, o que inviabilizou as análises referentes a este dia.

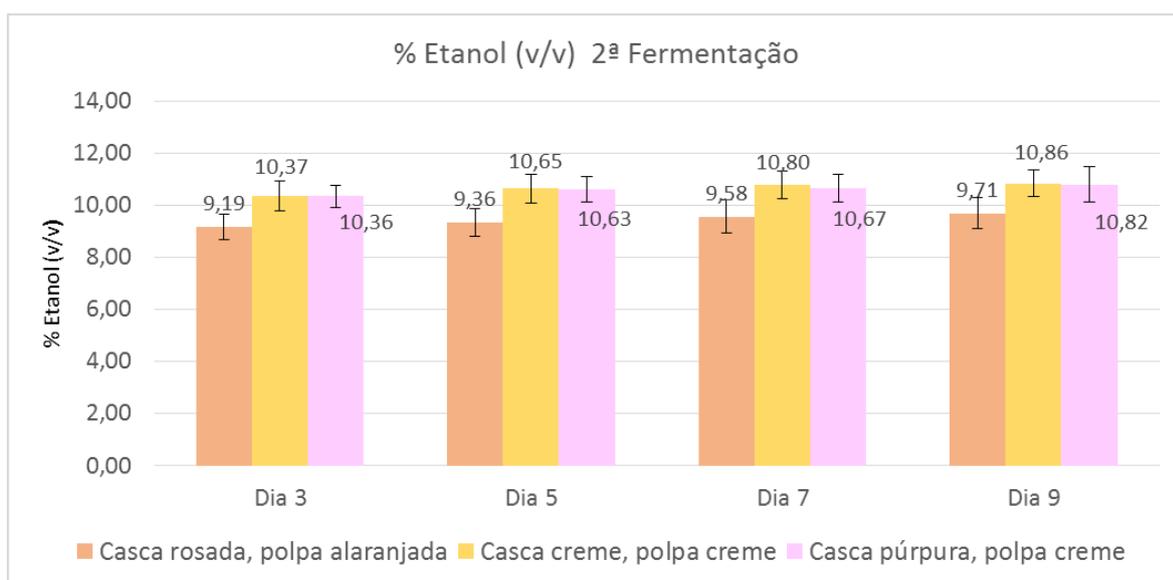


Figura 4.2: Comparação da produção de etanol na 2ª fermentação para os diferentes tipos de batata-doce

Da Figura 4.2 observa-se que a produção de etanol teve resultados semelhantes para as batatas-doces de casca creme e polpa creme e de casca púrpura e polpa creme, e foi menor na fermentação da batata-doce de casca rosada e polpa alaranjada, o que já era esperado, visto que o teor de ART desta é menor do que das as batatas-doces de casca creme e polpa creme e de casca púrpura e polpa creme (Tabela 4.1).

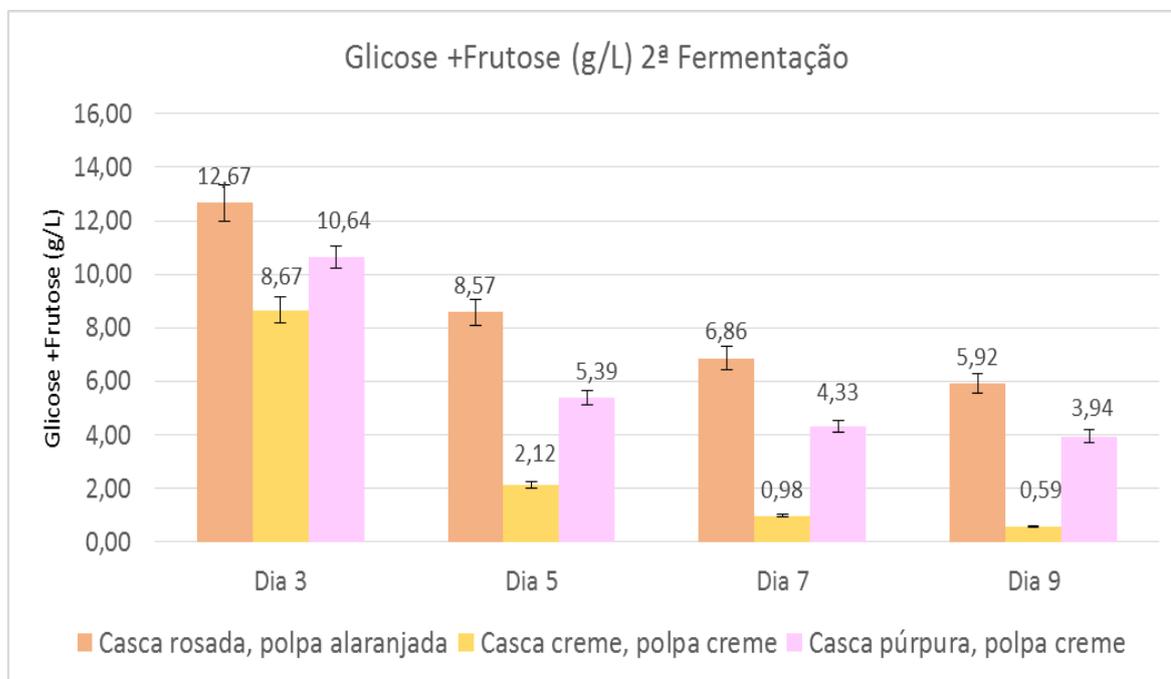


Figura 4.3: Comparação do consumo de açúcares redutores na 2ª fermentação para os diferentes tipos de batata-doce

Nesta segunda etapa, a fermentação ocorre de forma mais acentuada, havendo o consumo de açúcares redutores e uma maior produção de etanol. A partir da equação (3.1) calcula-se o teor de etanol teórico que deveria ter sido formado ($x_{et,teórico}$), e, assim é possível calcular o rendimento experimental da fermentação (Y_{exp}) (equação (3.3)), vide Tabela 4.2.

Tabela 4.2: Rendimento teórico e experimental da fermentação pela técnica de produção convencional do shochu

	$x_{et,exp}$ (% v.v ⁻¹)	$x_{et,teórico}$ (% v.v ⁻¹)	Y_{exp} (%)
Batata-doce de casca rosada e polpa alaranjada	9,68±0,11	22,77	42,51
Batata-doce de casca creme e polpa creme	10,84±0,16	26,77	40,59
Batata-doce de casca púrpura e polpa creme	10,83±0,14	25,59	42,32

Dessa forma, tem-se que os três tipos de batata-doce resultaram em rendimento da fermentação alcoólica semelhantes, com valores em torno de 40%. Entretanto, o rendimento foi abaixo do esperado, o que pode ter sido causado pela formação de outros compostos durante a fermentação em detrimento à formação de etanol, como o ácido acético, que atingiu concentração média de $3,78 \text{ g.L}^{-1}$ ao final dos processos fermentativos. A acidez volátil acima de $0,48 \text{ g.L}^{-1}$, expressa em ácido acético, pode sugerir a ocorrência de doenças bacterianas no vinho (BORZANI et al., 2001), que podem ser atribuídas à contaminação do mosto fermentativo por bactérias acéticas, fazendo com que parte do substrato sofra fermentação acética, elevando assim a acidez e diminuindo o rendimento da produção de etanol (MAIA, 1994), o que explica o baixo rendimento experimental obtido na fermentação alcoólica.

O glicerol, principal subproduto da fermentação em *S. cerevisiae* (MELO, 2006), apresentou concentração média de $8,16 \text{ g.L}^{-1}$ ao final da segunda etapa fermentativa. Este desempenha um importante papel no aroma de vinhos (GUIMARÃES, 2006), e está dentro das proporções normalmente produzidas na fermentação alcoólica de 5 a 10 g.L^{-1} (BORZANI et al., 2001).

Após a destilação, foi possível sentir que o destilado resultante do teste preliminar apresentou cheiro de queimado. Isto se deve ao aquecimento excessivo durante o processo de destilação, principalmente na presença de quantidades elevadas de partículas sólidas (VENTURINI FILHO, 2016). Como a temperatura do sistema estava sendo medida por câmera térmica portátil, o controle da temperatura foi dificultado pelas medidas pontuais sem levar em consideração a heterogeneidade do sistema, ficando esta muito elevada, causando o cheiro de queimado do destilado. Em função disso, nos experimentos posteriores foi instalado um termopar para medir a temperatura do vapor no interior do balão, medida a cada meio segundo, e, por meio deste controle e de um aquecimento mais suave, foi possível manter a temperatura do vapor entre $95\text{-}100^\circ\text{C}$, produzindo, assim, destilados sem cheiro de queimado.

Os resultados das análises por cromatografia gasosa e cromatografia líquida de alta eficiência referentes aos destilados de diferentes tipos de batata-doce em relação aos componentes limitados pela legislação podem ser visualizados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3: Resultados das análises cromatográficas dos destilados de diferentes tipos de batata-doce via método tradicional

Componente	Batata-doce de casca rosada e polpa alaranjada	Batata-doce de casca creme e polpa creme	Batata-doce de casca púrpura e polpa creme	Mínimo Legislação	Máximo Legislação
Álcool metílico [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	-	20
Acidez volátil, em ácido acético [mg/100 mL de álcool anidro]	344,75±31,29	178,71±126,70	308,64±15,44	-	100
Alcoois superiores (álcool n-propílico + álcool iso-butílico + álcool iso-amílico) [mg/100 mL de álcool anidro]	138,15±4,35	159,60±38,64	129,03±14,92	-	200
Aldeídos, em aldeído acético [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	-	20
Coefficiente de congêneres [mg/100 mL de álcool anidro]	659,09±35,59	533,27±48,78	592,19±11,22	200	500
Ésteres, em acetato de etila [mg/100 mL de álcool anidro]	175,75±14,82	134,02±3,90	154,38±10,02	-	200
Gradação alcoólica [% v/v a 20°C]	20,80±0,38	20,75±0,59	20,08±0,51	15	35
Furfural + hidroximetilfurfural [mg/100 mL de álcool anidro]	0,41±0,09	0,36±0,17	0,14±0,10	-	5
Teor de açúcar [g/L]	0,04±0,01	0,12±0,10	0,11±0,07	-	6

* ND = não detectado

Os componentes álcool metílico e aldeídos ficaram abaixo do limite de detecção do equipamento.

O somatório de alcoois superiores, os ésteres, a gradação alcoólica, o somatório de furfural e hidroximetilfurfural e o teor de açúcar encontram-se dentro dos limites estipulados pela legislação para os destilados dos três tipos de batata-doce.

A quantificação de ácido acético mostrou-se muito acima do limite máximo das normas vigentes (100 mg/ 100 mL de álcool anidro), fato este que pode ser atribuído a grande quantidade de ácido acético no mosto fermentado, ocasionado pela fermentação acética. Em função do alto valor de acidez volátil, o coeficiente de congêneres também ficou acima do limite da legislação.

4.2 Resultados referentes à produção e análise de destilado de batata-doce utilizando nova rota de produção

4.2.1 Com pectinase

Em função da batata-doce de casca creme e polpa creme ter sido a que apresentou maior quantidade de açúcares fermentescíveis, os quais podem resultar em maior rendimento da fermentação alcoólica, esta foi a escolhida para os experimentos subsequentes.

Batatas-doces de diferentes safras apresentam diferenças em sua composição. Kolbe et al. (1997) afirma que o tamanho da batata-doce afeta seu conteúdo de componentes orgânicos e inorgânicos, incluindo água, amido, açúcares e ácidos orgânicos. Por esse motivo, a análise de umidade e a hidrólise ácida da batata-doce foram repetidas em todos os experimentos. No experimento em questão, o teor de açúcares redutores totais foi de $26,93 \pm 0,86\%$ e o teor de umidade foi de $68,16 \pm 0,38\%$.

Utilizando a equação (3.2), calcula-se o teor de etanol teórico formado e, em seguida o rendimento experimental da fermentação (equação (3.3)). Os resultados estão mostrados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4: Rendimento teórico e experimental da fermentação pela nova rota de produção

Levedura	$x_{et,exp}$ (% v.v ⁻¹)	$x_{et,teórico}$ (% v.v ⁻¹)	Y_{exp} (%)
Angel Thermal Resistance Alcohol	$8,59 \pm 0,10$	11,66	73,65
Lalvin DV10	$8,21 \pm 0,11$	11,66	70,39
Lalvin EC1118	$7,85 \pm 0,09$	11,66	67,31

O rendimento experimental da fermentação alcoólica foi maior utilizando a levedura Angel Thermal Resistance Alcohol (73,65%), seguida da Lalvin DV10 (70,39%) e por último a Lalvin EC1118 (67,31%). Observa-se que os valores obtidos de rendimento foram maiores do que os obtidos com o uso das técnicas convencionais de produção de shochu no item 4.1, o que indica que a rota alternativa de produção de destilados de batata-doce é mais eficiente do que o processo convencional do shochu. Este fato se deve à formação de menos subprodutos da fermentação, como o glicerol (não detectado pelo HPLC), e à não ocorrência de contaminação por bactérias acéticas, verificada pela ausência de ácido acético no fermentado, o possibilitou um maior rendimento da fermentação alcoólica. Adicionalmente, demanda menos etapas e é mais rápida, levando apenas 1 dia, enquanto o método tradicional levava 14 dias.

Utilizando-se o novo sistema de destilação instalado, mostrado na Figura 3.4, observou-se a ocorrência de gradiente de temperatura na coluna, o que permitiu o mecanismo de enriquecimento do vapor nos componentes mais voláteis.

Os cortes do destilado desejados, com cabeça (até 50% v/v etanol), coração (de 50 a 38% v/v etanol) e cauda (de 38 a 10% v/v etanol), foram realizados com sucesso. Santiago et al. (2016) também realizou os cortes das frações em concentrações de etanol similares.

Os resultados das análises cromatográficas dessas três frações estão mostrados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5: Resultados das análises cromatográficas dos destilados de batata-doce produzidos pela nova rota

Componente	Levedura								
	Angel Thermal Resistance Alcohol			Lalvin DV10			Lalvin EC1118		
	Cabeça	Coração	Cauda	Cabeça	Coração	Cauda	Cabeça	Coração	Cauda
Álcool metílico [mg/100 mL de álcool anidro]	239,88 ±13,75	384,40 ±20,37	579,32 ±28,54	347,00 ±19,82	302,64 ±17,25	396,38 ±26,73	293,63 ±15,56	380,89 ±18,36	485,15 ±32,96
Acidez volátil, em ácido acético [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Álcool n-propílico [mg/100 mL de álcool anidro]	24,71 ±2,28	27,48 ±1,47	25,54 ±1,59	34,42 ±1,83	31,14 ±2,04	36,05 ±1,98	33,46 ±2,61	33,70 ±1,75	35,80 ±1,96
Álcool iso-butílico [mg/100 mL de álcool anidro]	20,49 ±1,42	40,25 ±2,19	46,16 ±2,86	22,33 ±1,18	44,88 ±2,51	42,46 ±2,29	15,53 ±1,07	18,76 ±1,12	29,70 ±2,09
Álcool iso-amílico [mg/100 mL de álcool anidro]	102,67 ±5,75	112,13 ±6,22	118,84 ±7,93	119,55 ±8,07	108,42 ±6,68	111,23 ±6,96	102,24 ±7,54	113,52 ±6,11	108,56 ±6,53
Alcoois superiores (álcool n-propílico + álcool iso-butílico + álcool iso-amílico) [mg/100 mL de álcool anidro]	147,87 ±11,89	179,86 ±13,57	190,54 ±15,82	176,30 ±14,63	184,44 ±16,31	189,74 ±15,76	151,23 ±12,70	165,98 ±14,95	174,06 ±15,49
Aldeídos, em aldeído acético [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Coefficiente de congêneres [mg/100 mL de álcool anidro]	275,94 ±21,49	314,57 ±28,94	341,94 ±31,80	297,49 ±27,37	330,51 ±32,35	344,29 ±33,39	288,47 ±26,83	305,10 ±28,67	318,03 ±30,48
Ésteres, em acetato de etila [mg/100 mL de álcool anidro]	128,07 ±7,43	134,71 ±8,02	151,4 ±9,69	121,19 ±7,88	146,07 ±7,45	154,55 ±8,96	137,24 ±8,78	139,12 ±8,24	143,97 ±9,71
Gradação alcoólica [% v/v a 20°C]	66,99 ±3,75	38,88 ±2,02	22,83 ±1,28	60,14 ±3,11	40,77 ±2,13	23,78 ±1,24	71,63 ±3,87	39,31 ±2,72	16,26 ±1,09
Furfural + hidroximetilfurfural [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Teor de açúcar [g/L]	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*

* ND = não detectado.

O componente álcool metílico apresentou difícil separação, estando distribuído por todas as frações do destilado. Blinder et al. (1988) afirma que a quantidade de metanol pode aumentar devido a condições inadequadas de armazenamento e também pela presença de pectinases e outras enzimas.

Badolato e Duran (2000) relatam que, em pequenas quantidades, o metanol pode causar dor de cabeça, tontura, náusea e vômito. O consumo de 20 mL pode causar cegueira enquanto 60 mL é geralmente letal se não for tratado. Pequenas quantidades de metanol podem estar presentes em bebidas alcoólicas, formadas como produto secundário do processo fermentativo. Sendo o limite da legislação brasileira para o metanol igual a vinte miligramas por cem mililitros de álcool anidro, observa-se que o teor de metanol está acima deste limite para todas as frações dos destilados, nos resultados de todas as leveduras. Isto torna o destilado impróprio para consumo, devido à alta toxicidade do metanol, que pode ser prejudicial à saúde.

Todos os outros compostos estão dentro dos limites previstos pela legislação.

Os resultados obtidos para as três diferentes leveduras não apresentaram diferenças significativas em relação aos compostos controlados pelas normas vigentes.

Na fração cabeça, a primeira a sair do destilador, espera-se que estejam presentes em maior concentração os componentes mais voláteis, entre eles os ésteres e os aldeídos. O composto aldeído acético ficou abaixo do limite de detecção do equipamento, enquanto que para os ésteres, observou-se comportamento contrário ao esperado. Maiores concentrações de acetato de etila foram registrados na fração da cauda, seguida pelo coração, e por último, a cabeça. Dessa forma, não ocorreu uma separação eficiente dos compostos. Se tratando de uma mistura complexa, ocorrem desvios da idealidade, e as condições necessárias para que se obtenha a separação adequada dos compostos vão além da avaliação dos pontos de ebulição e da resolução que o aparato de destilação oferece.

Já na fração cauda, a última a deixar o alambique, devem permanecer os compostos menos voláteis que o álcool etílico, entre eles os ácidos orgânicos e os álcoois superiores. O ácido acético ficou abaixo do limite de detecção do equipamento, enquanto que os álcoois superiores apresentaram comportamento conforme esperado, estando em maiores concentrações nas frações da cauda. Entre os álcoois superiores, o que esteve em maior quantidade foi o álcool iso-amílico. Em análise sensorial realizada por Yuan et al. (2015), foi relatado que amostras de shochu com maior quantidade de álcool iso-amílico apresentaram sabor mais amargo.

4.2.2 *Sem pectinase*

Buscando identificar as possíveis causas para o alto teor de metanol apresentado no experimento do item 4.2.1, e, sabendo que a quantidade de metanol de um vinho é maior quando ocorre adição de enzimas pectinolíticas no início da fermentação (VENTURINI FILHO, 2016), decidiu-se testar o experimento referente à produção e análise de destilado de batata-doce utilizando nova rota de produção sem a adição da pectinase.

Neste experimento, a hidrólise ácida da batata-doce resultou em teor de açúcares redutores de $31,66 \pm 0,24\%$ e o teor de umidade foi de $66,25 \pm 0,08\%$. Pela equação (3.2),

calculou-se o teor de etanol teórico formado (x_{et}) e, após, o rendimento experimental da fermentação (Y_{exp}) (equação (3.3)). Os resultados estão mostrados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6: Rendimento teórico e experimental da fermentação pela nova rota de produção sem pectinase

Levedura	$x_{et,exp}$ (% v.v ⁻¹)	$x_{et,teórico}$ (% v.v ⁻¹)	Y_{exp} (%)
Angel Thermal Resistance Alcohol	6,28±0,06	13,65	46,01
Lalvin DV10	5,66±0,09	13,65	41,47
Lalvin EC1118	5,97±0,08	13,65	43,74

O rendimento da fermentação alcoólica foi semelhante utilizando os três tipos de levedura, sendo ligeiramente maior para a Angel Thermal Resistance Alcohol (46,01%), seguido da Lalvin EC1118 (43,74%), e por último a Lalvin DV10 (41,47%). Estes valores foram menores do que os obtidos no experimento realizado com a adição da pectinase. Leonel e Cereda (1999) e Schweinberger (2016) concluíram que o uso de pectinase como enzima complementar às amilases no processo de hidrólise-sacarificação proporciona melhores rendimentos ao processo. Estes resultados indicam que a alta viscosidade do meio e a desintegração incompleta dos pedaços de batata-doce, ocasionadas pela ausência da pectinase, prejudicam o andamento do processo fermentativo, causando diminuição do rendimento da fermentação alcoólica.

A separação de cabeça, coração e cauda foram realizadas tal qual descrito no item 4.2. Os resultados das análises cromatográficas estão apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7: Resultados das análises cromatográficas dos destilados de batata-doce produzidos pela nova rota sem pectinase

Componente	Levedura								
	Angel Thermal Resistance Alcohol			Lalvin DV10			Lalvin EC1118		
	Cabeça	Coração	Cauda	Cabeça	Coração	Cauda	Cabeça	Coração	Cauda
Álcool metílico [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Acidez volátil, em ácido acético [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Álcool n-propílico [mg/100 mL de álcool anidro]	14,85 ±1,02	16,66 ±0,90	18,51 ±1,14	17,40 ±1,13	23,05 ±1,25	31,40 ±1,73	20,50 ±1,19	23,24 ±1,36	34,14 ±1,98
Álcool iso-butílico [mg/100 mL de álcool anidro]	23,53 ±1,41	31,90 ±1,84	32,37 ±2,07	22,99 ±1,52	31,48 ±1,95	34,97 ±2,20	25,57 ±1,74	30,49 ±2,11	37,73 ±2,63
Álcool iso-amílico [mg/100 mL de álcool anidro]	94,16 ±6,59	106,27 ±7,42	115,00 ±7,93	93,02 ±6,60	111,49 ±7,81	119,51 ±8,36	91,73 ±6,42	103,64 ±7,56	110,43 ±8,05
Alcoois superiores (álcool n-propílico + álcool iso-butílico + álcool iso-amílico) [mg/100 mL de álcool anidro]	132,54 ±10,61	154,83 ±12,39	165,88 ±13,27	133,41 ±10,94	166,02 ±13,78	185,88 ±16,73	137,80 ±12,55	157,37 ±14,12	182,30 ±16,77

Aldeídos, em aldeído acético [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*								
Coefficiente de congêneres [mg/100 mL de álcool anidro]	298,29 ±32,76	308,57 ±26,23	320,18 ±25,99	303,25 ±28,51	276,69 ±28,22	287,19 ±29,58	308,66 ±33,36	322,67 ±29,25	290,68 ±31,94
Ésteres, em acetato de etila [mg/100 mL de álcool anidro]	165,75 ±9,28	153,74 ±8,46	154,30 ±8,94	169,77 ±9,85	109,33 ±5,76	100,96 ±5,25	170,86 ±9,40	165,30 ±8,77	108,38 ±6,01
Gradação alcoólica [% v/v a 20°C]	68,43 ±3,69	38,99 ±2,07	15,64 ±0,91	57,41 ±3,23	36,84 ±1,95	21,14 ±1,12	53,63 ±2,86	34,46 ±1,83	17,65 ±0,95
Furfural + hidroximetilfurfural [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	0,17 ±0,02	1,34 ±0,08	0,35 ±0,03	ND*	ND*	ND*
Teor de açúcar [g/L]	ND*	ND*	ND*	0,15 ±0,02	0,22 ±0,04	0,11 ±0,01	ND*	ND*	ND*

* ND = não detectado.

Todos os compostos analisados mostraram-se dentro dos limites das normas vigentes. Novamente, os resultados obtidos para as três diferentes leveduras não apresentaram diferenças significativas em relação aos compostos controlados pela legislação.

Percebe-se que houve a formação de pequeno teor de furfural e hidroximetilfurfural utilizando-se a levedura Lalvin DV10, o que ocorreu devido à presença de pequenas quantidades de açúcares residuais. Este fato é confirmado por Venturini Filho (2016), que afirma que açúcares não fermentados podem formar furfural, influenciando negativamente o aroma e o paladar do destilado.

O componente álcool metílico ficou abaixo do limite de detecção do equipamento. Como as condições experimentais foram idênticas à do item 4.2, com exceção da adição da pectinase, conclui-se que esta enzima é a responsável pela formação do metanol em alta concentração nos resultados anteriores, ocasionada pela hidrólise das pectinas. Os resultados encontrados estão de acordo com os apresentados por Zhang et al. (2011), que verificou que o uso de enzima pectinase aumentou significativamente as concentrações de metanol de destilados de maçã.

Com metabissulfito de potássio

Neste experimento, a hidrólise ácida da batata-doce resultou em teor de açúcares redutores de $28,86 \pm 0,78\%$ e o teor de umidade foi de $66,10 \pm 0,18\%$. Pela equação (3.2), calculou-se o teor de etanol teórico formado (x_{et}) e, após, o rendimento experimental da fermentação (Y_{exp}) (equação (3.3)). Os resultados estão mostrados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8: Rendimento teórico e experimental da fermentação pela nova rota de produção sem pectinase e com metabissulfito de potássio em vez de antibiótico

Levedura	$x_{et,exp}$ (% v.v ⁻¹)	$x_{et,teórico}$ (% v.v ⁻¹)	Y_{exp} (%)
Angel Thermal Resistance Alcohol	6,78±0,03	12,58	53,88
Lalvin DV10	6,50±0,04	12,58	51,65
Lalvin EC1118	6,89±0,05	12,58	54,75

O rendimento da fermentação alcoólica foi semelhante utilizando os três tipos de levedura, sendo ligeiramente maior para a Lalvin EC1118 (54,75%), seguido pela Angel Thermal Resistance Alcohol (53,88%), e por último a Lalvin DV10 (51,65%). Estes valores foram cerca de 10% maiores do que os obtidos na seção 4.2.2, o que mostra que a etapa de trituração extra promoveu uma melhor desintegração da batata-doce, permitindo o aumento do rendimento da fermentação alcoólica.

A separação de cabeça, coração e cauda foram realizadas tal qual descrito na seção 4.2. Os resultados das análises cromatográficas estão apresentados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9: Resultados das análises cromatográficas dos destilados de batata-doce produzidos pela nova rota sem pectinase e com metabissulfito de potássio

Componente	Levedura								
	Angel Thermal Resistance Alcohol			Lalvin DV10			Lalvin EC1118		
	Cabeça	Coração	Cauda	Cabeça	Coração	Cauda	Cabeça	Coração	Cauda
Álcool metílico [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Acidez volátil, em ácido acético [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	1,00 ±0,04	0,61 ±0,02	0,76 ±0,03	1,03 ±0,04	ND*	1,13 ±0,05	ND*	0,17 ±0,01
Álcool n-propílico [mg/100 mL de álcool anidro]	37,08 ±1,67	23,38 ±1,40	54,62 ±2,79	75,92 ±4,25	50,48 ±2,62	78,41 ±4,49	89,44 ±5,72	53,13 ±3,35	91,56 ±5,16
Álcool iso-butílico [mg/100 mL de álcool anidro]	24,01 ±1,25	14,88 ±0,86	27,52 ±1,58	19,10 ±1,31	10,33 ±0,52	30,65 ±1,66	19,09 ±1,01	13,05 ±0,70	25,78 ±1,73
Álcool iso-amílico [mg/100 mL de álcool anidro]	83,45 ±4,91	56,24 ±3,27	97,87 ±5,97	51,83 ±3,11	36,44 ±2,33	81,84 ±4,62	57,07 ±3,20	41,81 ±2,46	71,67 ±4,73
Alcoois superiores (álcool n-propílico + álcool iso-butílico + álcool iso-amílico) [mg/100 mL de álcool anidro]	144,54 ±8,67	94,50 ±5,86	180,01 ±11,34	146,85 ±9,52	97,25 ±5,64	190,90 ±10,45	165,60 ±9,77	107,99 ±6,80	189,01 ±12,14
Aldeídos, em aldeído acético [mg/100 mL de álcool anidro]	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*	ND*
Coefficiente de congêneres [mg/100 mL de álcool anidro]	280,85 ±16,85	244,11 ±14,06	378,83 ±19,46	339,58 ±15,29	277,44 ±14,37	388,14 ±20,15	340,90 ±18,61	272,16 ±13,84	387,97 ±19,06

Ésteres, em acetato de etila [mg/100 mL de álcool anidro]	135,38 ±8,19	148,33 ±8,31	198,15 ±10,48	191,97 ±11,90	178,81 ±9,66	197,24 ±10,24	173,67 ±9,52	163,83 ±9,15	198,59 ±12,03
Gradação alcoólica [% v/v a 20°C]	54,62 ±2,89	36,61 ±1,94	12,56 ±0,68	58,60 ±3,28	29,99 ±1,71	13,52 ±0,74	54,84 ±3,64	32,65 ±1,95	14,03 ±0,83
Furfural + hidroximetilfurfural [mg/100 mL de álcool anidro]	0,93 ±0,04	0,28 ±0,01	0,06 ±0,03	ND*	0,35 ±0,02	ND*	0,50 ±0,03	0,34 ±0,02	0,20 ±0,01
Teor de açúcar [g/L]	0,01 ±0,00	0,01 ±0,00	0,01 ±0,00	0,01 ±0,00	0,01 ±0,00	ND*	0,03 ±0,01	0,05 ±0,01	ND*

Todos os compostos analisados mostraram-se dentro dos limites das normas vigentes. Novamente, os resultados obtidos para as três diferentes leveduras não apresentaram diferenças significativas em relação aos compostos controlados pela legislação.

Percebe-se que a formação de acidez volátil em ácido acético foi baixa ou não detectada, o que indica que não houve contaminação bacteriana no meio. Dessa forma, tem-se que o metabissulfito de potássio é agente antimicrobiano eficaz e pode ser usado no lugar do antibiótico tetraciclina.

4.2.3 Análise de Infravermelho

A bebida que se propõe neste trabalho, inspirada no shochu, consiste no coração do destilado, e é denominada “Tchêchu”. A fim de identificar as semelhanças e diferenças entre a composição das duas bebidas alcoólicas, análises de FTIR foram realizadas. O resultado da sobreposição do espectro MIR das duas bebidas para cada fração coletada pode ser visualizado nas Figuras 4.4, Figura 4.5 e Figura 4.6.

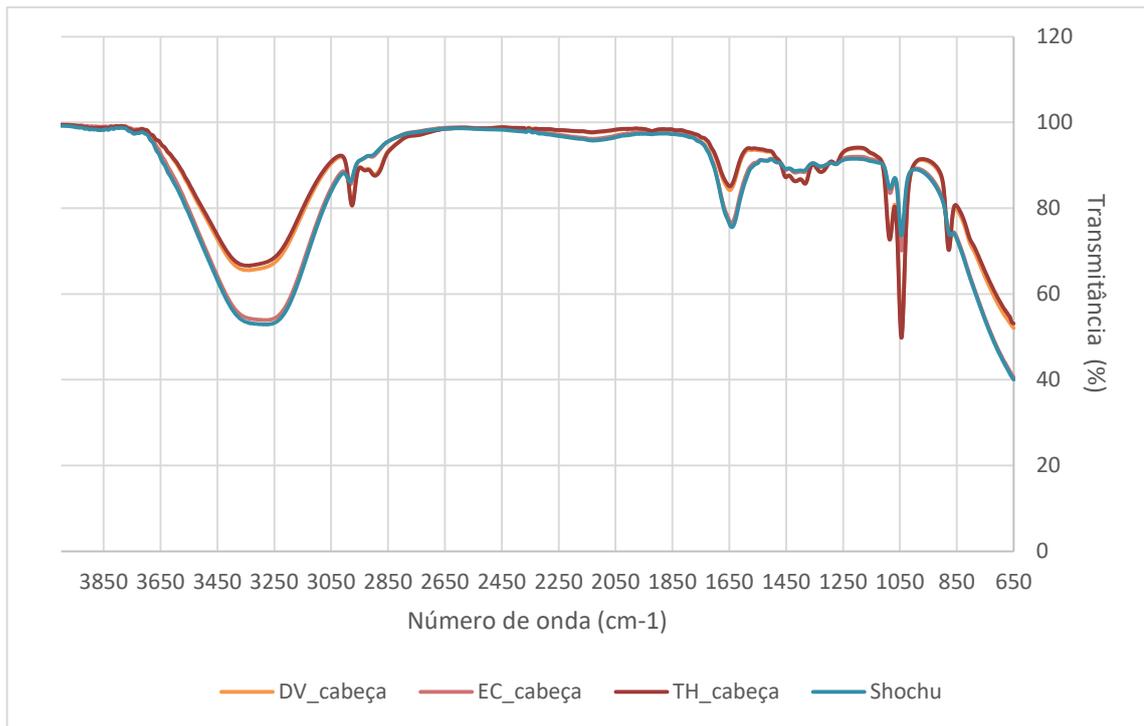


Figura 4.4: Espectro FTIR das frações de cabeça dos destilados de batata-doce para os três tipos de levedura em comparação com o shochu comercial

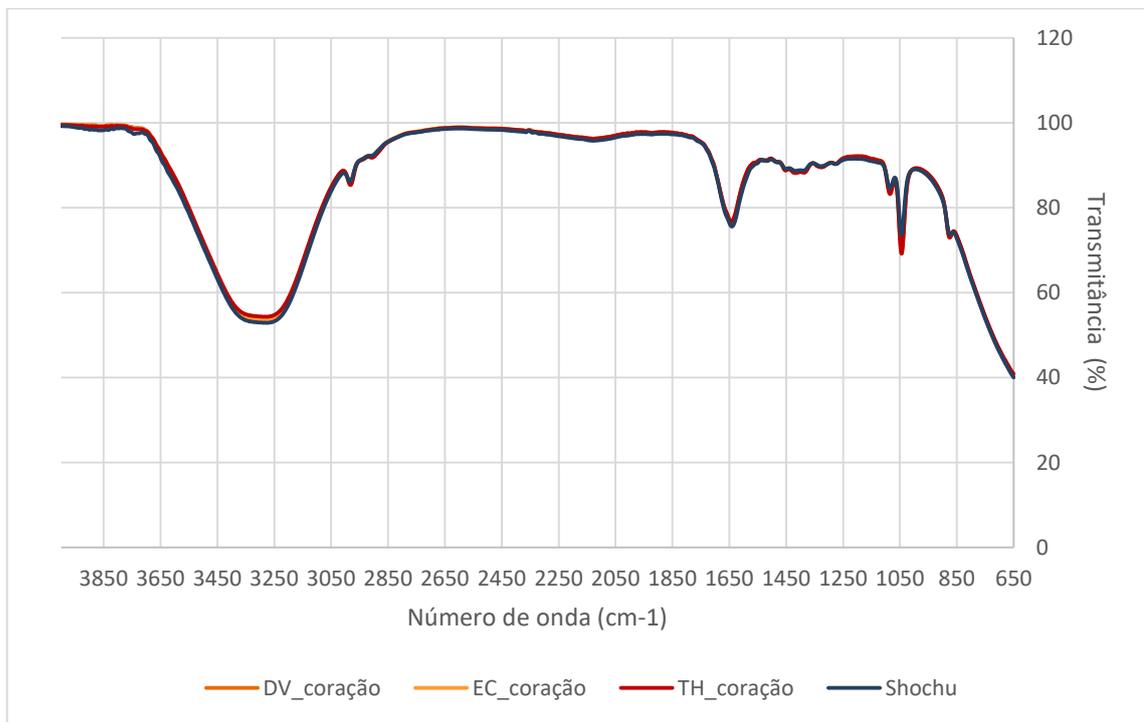


Figura 4.5: Espectro FTIR das frações de coração dos destilados de batata-doce para os três tipos de levedura em comparação com o shochu comercial

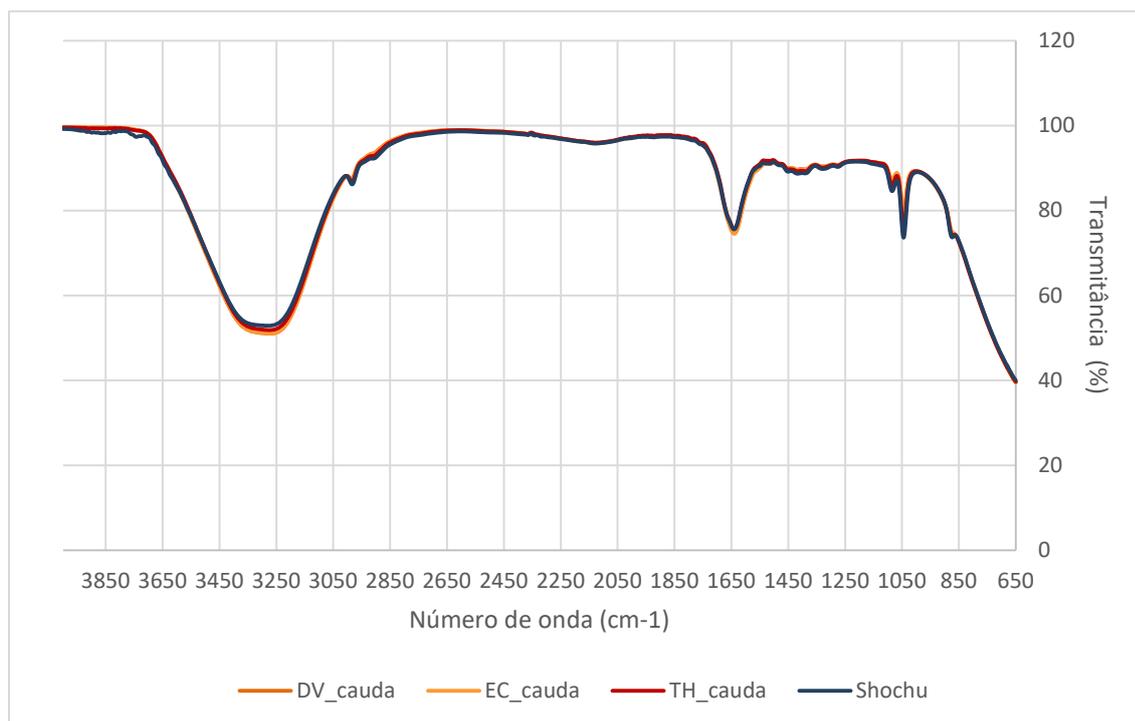


Figura 4.6: Espectro FTIR das frações de cauda dos destilados de batata-doce para os três tipos de levedura em comparação com o shochu comercial

Nas Figuras 4.4, Figura 4.5 e Figura 4.6 estão sobrepostas as frações de cabeça, coração e cauda, respectivamente, dos destilados de cada tipo de levedura. TH, DV e EC se referem, respectivamente, às leveduras *Thermal Resistance Alcohol Yeast*, LALVIN DV-10 e LALVIN EC-1118. Em todas estas figuras, é feita a comparação com amostra de shochu comercial de batata-doce.

O espectro FTIR dos destilados de batata-doce foi dominado pelas bandas de absorção do álcool e da água. As bandas de estiramento O-H podem ser observadas nos intervalos de 3550-3100 cm⁻¹ e 1750-1550 cm⁻¹. A banda de estiramento C-O pode ser visualizada no intervalo de 1100-1000 cm⁻¹, e no intervalo 2980-2850 cm⁻¹ tem-se banda de estiramento C-H. As bandas de C-O, C-C, CH₂, CH₃, C-OH, C-H e C≡N podem ser observadas no intervalo 1450-1150 cm⁻¹. A banda em 860 cm⁻¹ é atribuída a dobramentos C-H fora do plano (SEN et al., 2016).

Observa-se que todas as amostras se sobrepõem apresentando picos nas mesmas bandas de absorção, somente com variação de intensidade, em que as frações de cabeça dos destilados feitos com as leveduras LALVIN DV10 e *Thermal Resistance Alcohol Yeast* foram as que apresentaram maior variação de intensidade. Todas as outras amostras apresentaram picos com intensidades semelhantes ao shochu. Dessa forma, pode-se concluir que a composição do destilado de batata-doce produzido pela rota alternativa sem adição de pectinase se assemelha à composição do shochu comercial, com relação aos componentes identificados pela análise FTIR.

Os dados resultantes do espectro FTIR foram analisados por meio de análise PCA, a qual permitiu ver os *clusters* das amostras, ou seja, quais são as amostras que se agrupam conforme as semelhanças espectrais, e quais são as que não se agrupam (os *outliers*). O

gráfico normalizado da análise dos componentes principais pode ser visualizado na Figura 4.7.

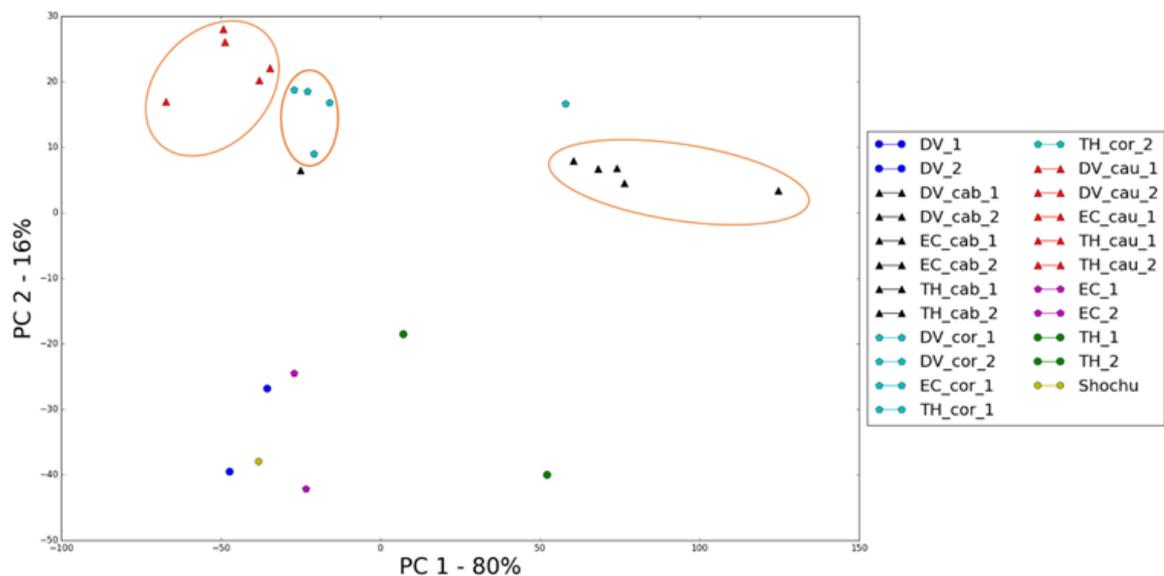


Figura 4.7: Valores PC1 vs. PC2 do PCA normalizado do espectro MIR das amostras de destilado para os três tipos de levedura em comparação com o shochu comercial

Na Figura 4.7 observa-se que, do PCA, 80% da variabilidade dos dados pode ser descrita com apenas uma componente principal, a PC1, a qual está associada com etanol (correlacionada) e água (não correlacionada), com as amostras contendo maiores teores de etanol apresentando maiores valores de PC1. A componente PC2, a qual descreve 16% da variação dos dados, está associada com variações nos picos decorrentes de mudanças na composição etanol-água e na ligação de hidrogênio. PC1 e PC2 juntos descrevem 96% da variabilidade dos espectros. Resultados semelhantes foram relatados por Nordon et al. (2005). Com a análise gráfica também foi possível verificar alguns agrupamentos de amostras relativas às frações de coleta de destilado no processo. Além disso, verifica-se que as amostras de coração do produto acabado que utilizaram as leveduras Lalvin DV10 e Lalvin EC1118 foram as que mais se aproximaram do shochu comercial.

Capítulo 5 – Avaliação Preliminar do Potencial Econômico do “Tchêchu”

5.1 Mercado brasileiro de bebidas

Entre as transformações pelas quais tem passado a economia brasileira, a abertura e liberalização dos mercados, ocorrida no início dos anos 1990, tiveram importância fundamental na reestruturação do setor de alimentos e bebidas ao expor a produção doméstica à concorrência internacional. Este processo provocou profundas alterações no setor agroalimentar brasileiro. O segmento de distribuição identificou os níveis crescentes de exigências dos consumidores em termos de qualidade, variedade e preços dos mais diversos segmentos de alimentos e bebidas, processo facilitado pela revolução da informática e pelo progresso da comunicação.

Notadamente, o setor de bebidas foi um dos segmentos industriais que se organizou para atender às novas condições de consumo no setor agroalimentar. Além disso, por serem produtos que apresentam elasticidade de renda de demanda positiva, ou seja, o consumo é influenciado positivamente pelo aumento da renda, o segmento foi beneficiado com a implantação do Plano Real, que criou condições para a estabilidade da moeda e recuperação do poder de compra de parte da população (VENTURINI FILHO, 2011).

Em que pese as diferenças entre as categorias de bebidas, algumas características em comum influenciam diretamente o desempenho do setor e o tamanho do mercado. Dentre essas características podem ser citadas as inovações em processos de produção e técnicas de comercialização, a necessidade de canais amplos e eficientes de distribuição, os elevados gastos com propaganda e a escolha das embalagens, que são elementos fundamentais que determinam a dinâmica produtiva do setor (ROSA et al., 2006).

O mercado de bebidas alcoólicas no Brasil é representado por bebidas destiladas (cachaça, whisky e vodka) e fermentadas (cerveja e vinho). Conforme dados divulgados pela Associação Brasileira de Bebidas (ABRABE), baseado nos levantamentos de mercado da ACNielsen e da IWSR, o mercado de bebidas nacional, em relação ao volume, está dividido

entre cerveja (88,8%), seguido pela cachaça (6,6%), ficando o restante do mercado para as demais bebidas (4,6%) (SEBRAE, 2008).

Apesar do domínio da cerveja na participação total do mercado de bebidas alcoólicas, o Brasil produz oficialmente entre 1,2 e 1,3 bilhões de litros de aguardente de cana por ano. É a segunda bebida alcoólica mais consumida no país – cerca de 7 litros por habitante/ano – e o terceiro destilado mais bebido no mundo, atrás apenas da vodca e do soju (SILVEIRA, 2007).

5.2 Shochu x soju

Soju é uma bebida coreana com processo de produção similar ao do shochu, porém de múltipla destilação e feita por grandes corporações. É projetado para ser barato, tanto para o produtor quanto para o consumidor. Muitas vezes aditivos agridoces são incorporados ao produto para ajudar a regular o sabor. Em tempos de escassez de arroz, amidos mais baratos como inhame e tapioca são utilizados (PELLEGRINI, 2014).

Devido a uma brecha fiscal de controle de bebidas americana, muitos estabelecimentos dos EUA que possuem shochu servem-no com o nome de soju. A razão para isso é que o soju, devido ao seu teor alcoólico de nível médio, contorna os parâmetros de uma licença de licor *full-blown* que pode ser proibitivamente caro para os novos empresários. Devido a isso, muitos estabelecimentos optam pela licença menos restritiva que atualmente acomoda algumas bebidas de teor alcoólico médio, como o soju (24% v/v e inferior) (PELLEGRINI, 2014). Este fato sugere que o mercado de shochu no mundo fica mascarado pelo mercado do soju, ou seja, o potencial de mercado do shochu pode ser ainda maior do que os dados apontam.

5.3 Mercado do shochu

O consumo de shochu possui uma fatia significativa do mercado japonês (10,6%), estando a frente de bebidas como o saquê (6,8%) e o whisky (1,3%) (Figura 5.1) (NATIONAL TAX AGENCY, 2013).

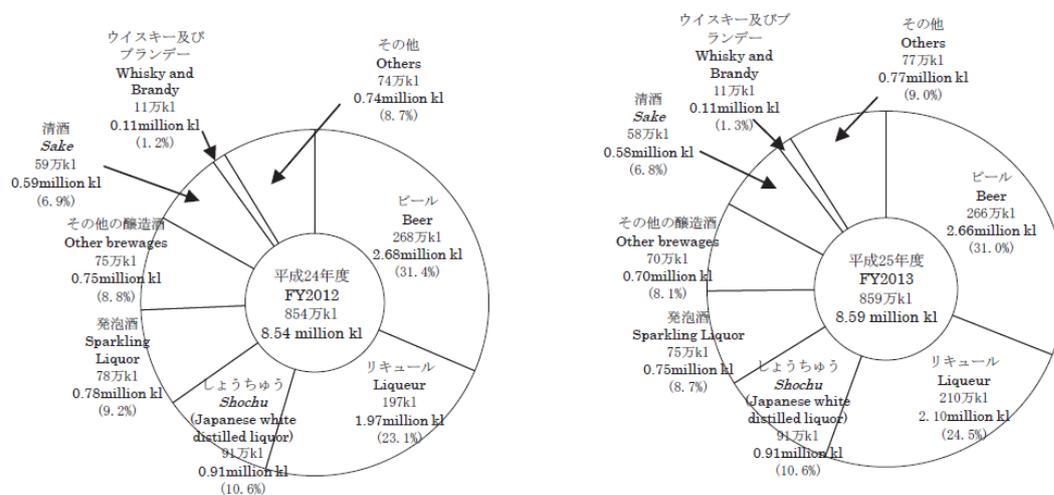


Figura 5.1: Volume de vendas (consumo) por bebida alcoólica no Japão nos anos de 2012 e 2013 (Fonte: NATIONAL TAX AGENCY, 2013)

O ambiente para bebidas alcoólicas no Japão vem mudando em resposta a uma diminuição populacional, a qual vem ocorrendo devido ao declínio da taxa de natalidade e envelhecimento da população, ao aumento da conscientização dos cidadãos sobre saúde e segurança e à diversificação do estilo de vida, resultando na tendência decrescente no consumo de bebidas alcoólicas em geral. Na Figura 5.2, pode-se perceber que nos últimos anos ocorreu uma diminuição no consumo de bebidas como saquê, cerveja e espumantes, enquanto o consumo de shochu se manteve praticamente constante, o que evidencia seu potencial econômico mesmo em frente a um cenário desfavorável.



Figura 5.2: Mudanças no volume tributável de bebidas alcoólicas no Japão (Fonte: NATIONAL TAX AGENCY, 2016)

5.4 Pontos críticos da atividade agroindustrial

A indústria de bebidas é predominantemente uma atividade agroindustrial, pois tem como principais matérias-primas aquelas de origem vegetal, cujas especificidades têm impacto relevante no empreendimento. Por isso, de acordo com Brown (1995), para validar a adequação da análise de projeto de um empreendimento agroindustrial, deve ser levado em consideração o impacto das seguintes características:

- Ciclos longos de produção: devem ser levadas em consideração a quantidade de matéria-prima fornecida, suas oscilações e seu preço no mercado.
- Mercado sazonal: variação na produção agrícola devido às condições climáticas e/ou padrões de consumo, influenciando no preço da matéria-prima.
- Períodos curtos de colheita e processamento: as indústrias que vivenciam períodos de safra e entressafra têm custos fixos por unidade mais altos devido à ociosidade da fábrica.
- Percibilidade da matéria-prima: a capacidade de produção da agroindústria deverá ser adequada à quantidade ofertada pelos seus fornecedores; caso contrário, será necessária a construção de estruturas de armazenamento, que gerará aumento de custos fixos e variáveis.

- Variabilidade qualitativa da matéria-prima: afeta diretamente a padronização do produto, necessária para que se mantenha o padrão de qualidade do produto e o mercado da empresa.

- Níveis de processamento: para que uma empresa se desenvolva economicamente, a estratégia é aumentar o nível de processamento e, assim, agregar valor ao seu produto final. Ao agregar valor, o custo da matéria-prima torna-se menos significativo no preço do produto final. Um estágio mais elaborado de processamento exige maiores investimentos tanto na área tecnológica quanto gerencial.

- Extensão da tecnologia e da escala de processamento: a escala de processamento está diretamente ligada ao emprego de tecnologia, pois o uso de equipamentos sofisticados possibilita maior capacidade de produção, possibilitando reduzir custos variáveis e ofertar maior volume de produtos com padrão de qualidade maior.

Tais características tornam a análise de viabilidade econômica na agroindústria mais complexa do que em outros tipos de indústria, pois variáveis imprevisíveis como o tempo e o clima passam a ser determinantes.

5.5 Análise de projetos de investimentos

O principal instrumento de referência para a aplicação das análises de viabilidade de projetos é o fluxo de caixa. Este consiste em um quadro construído com o objetivo de representar o movimento financeiro de um projeto em períodos de mesma duração, dado um horizonte pré-determinado. O fluxo de caixa é obtido subtraindo-se as saídas das entradas para cada período do projeto.

As técnicas para análise de investimentos podem ser entendidas como metodologias para medir o retorno dos investimentos. Existem diversas metodologias com variados níveis de complexidade e sofisticação. Dentre os métodos disponíveis, destacam-se os seguintes: *payback*, valor presente líquido (VPL ou NPV – *net present value*) e taxa interna de retorno (TIR ou IRR – *internal rate of return*).

Esses métodos são utilizados pelos administradores para avaliar o mérito de alternativas de investimentos e originam-se no reconhecimento da variação do dinheiro do tempo. Este fato evidencia a necessidade de se ter uma taxa de juros para essa análise. A taxa mínima de atratividade (TMA) é a taxa a partir do qual o investidor considera que está obtendo ganhos financeiros. Um enfoque dado à TMA é que esta deve ser o custo de capital investido na proposta em questão. Logo, uma proposta de investimento, para ser atrativa, deve render no mínimo uma taxa de juros igual à TMA (ALMEIDA, 2015).

5.5.1 *Payback*

Payback refere-se ao prazo para que os investimentos realizados sejam integralmente recuperados. O tempo de recuperação deve estar dentro do horizonte definido para o projeto, para que este seja considerado viável.

O *payback* pode ser simples ou descontado. No *payback* simples, não é considerado o valor do dinheiro no tempo. Já no *payback* descontado, é calculado o valor presente do fluxo

de caixa para cada período, considerando-se o custo de capital, aplicando-se uma taxa de desconto.

O cálculo desse indicador é feito por meio do valor acumulado dos fluxos de caixa desde o investimento inicial até cada um dos períodos em análise. O tempo de retorno do capital é identificado no período em que o fluxo de caixa acumulado torna-se positivo.

Este método apresenta a restrição de que, por não considerar o fluxo de caixa após o período de recuperação, pode levar à rejeição de projetos que seriam viáveis ao final do tempo de vida útil dos mesmos. É um indicador de liquidez, não de rentabilidade, e pode ser usado como uma medida rudimentar de risco (BEBER, 2015).

5.5.2 Valor presente líquido

O método do valor presente líquido (VPL) permite estimar o valor líquido do projeto ao final de sua vida útil. Seu cálculo considera o valor investido, o fluxo de caixa no horizonte do projeto e o risco associado ao projeto, por meio da aplicação de uma taxa de desconto correspondente ao custo do capital:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad (5.1)$$

onde FC_t é o valor do fluxo de caixa no período t , i é o custo do capital (TMA) e t é o período, variando de 1 a n .

O projeto deve ser considerado viável quando $VPL > 0$; esse valor representa o quanto a renda do investimento excede a renda esperada, o que significa que a taxa de renda do investimento é maior do que a TMA utilizada. O projeto deve ser rejeitado quando $VPL < 0$; esse valor representa quanto falta para que a renda do investidor alcance a renda desejada, sendo, neste caso, a taxa de renda que o investimento proporciona inferior à TMA utilizada. Quando $VPL = 0$, o projeto pode ser rejeitado ou aceito, pois não oferece nem ganho nem prejuízo, e a taxa de renda do investimento coincidirá exatamente com a TMA utilizada (BEBER, 2015).

5.5.3 Taxa interna de retorno

A taxa interna de retorno (TIR) é um indicador que permite avaliar o retorno do projeto em função do custo de capital. O método consiste em calcular a taxa que anula o valor presente líquido do fluxo de caixa do investimento analisado:

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} = 0 \quad (5.2)$$

Se a TMA é menor que a TIR, o VPL é positivo, portanto o projeto é aceito. O inverso acontece quando a TMA é maior que a TIR; o VPL é menor que zero, indicando a rejeição do projeto. Quando a TMA for igual a TIR, o indicador torna-se indiferente para o julgamento do projeto.

Um projeto deverá ser lucrativo o suficiente para pagar os juros sobre a dívida contraída para financiá-lo, e, também, para gerar uma taxa de retorno superior à esperada sobre o capital investido (BEBER, 2015).

5.6 “Tchêchu”

5.6.1 *Cenário*

No contexto apresentado no item 5.1, percebe-se que a indústria brasileira de bebidas poderá incrementar suas receitas nos próximos anos por meio de canais alternativos. Entre as opções, elencam-se o desenvolvimento de produtos diferenciados e de maior qualidade, com foco em segmentos específicos de consumidores (BNDES, 2014).

Sabe-se que a cultura japonesa está difundida em vários aspectos da vida do brasileiro, em especial na culinária, com alimentos muito consumidos como sushi, sashimi, yakissoba e saquê. Até mesmo o drinque brasileiro mais famoso, a caipirinha, ganhou uma versão japonesa com saquê: a sakerinha.

Assim, levando em consideração a influência da cultura japonesa no Brasil e, sendo o shochu um produto diferenciado muito importante para a economia japonesa, cujo mercado ainda é pouco explorado no Brasil, percebe-se a oportunidade de produção e comercialização de um destilado similar ao shochu no país.

5.6.2 *Produto*

Produto é qualquer coisa que possa ser oferecido a um mercado para satisfazer um desejo ou uma necessidade (KOTLER, 2007). O produto a ser oferecido é o “Tchêchu”, um destilado de batata-doce produzido por um processo alternativo com menor tempo de produção e menor risco de contaminação, se comparado a seu similar, shochu.

A estratégia a ser adotada é a de diferenciação, fornecendo um produto diferenciado com alto padrão de qualidade e alto valor agregado. A comercialização de produtos de qualidade superior tem se demonstrado bastante interessante para a indústria, apoiada na maior poder de compra e no nível de exigência das pessoas. A opção pela estratégia competitiva de diferenciação faz com que a empresa invista mais pesado em imagem, tecnologia, distribuição, pesquisa e desenvolvimento, recursos humanos, pesquisa de mercado e qualidade, com a finalidade de criar diferenciais para o consumidor (LOBATO, 2016).

Para que uma empresa mantenha sua participação no mercado, devem ser selecionadas estratégias desafiantes e específicas, conforme os componentes do composto mercadológico, entendidos de forma inter-relacionada (Tabela 5.1).

Tabela 5.1: Estratégias do composto mercadológico baseadas no ciclo de vida dos produtos agroalimentares (Fonte: Adaptado de SILVA E BATALHA, 2001)

	Introdução/ Lançamento	Crescimento/ Expansão	Maturidade	Declínio
Produto	Versão básica do produto	Novos produtos à linha Maior qualidade Serviços e garantias	Revitalizar produtos (novos lançamentos, aperfeiçoamentos das características)	Descontinuar os produtos
Preço	Elevado (custos altos)	Penetração (custos diluídos)	Adequação dos preços à concorrência	Redução de preços e reposicionamento para segmentos de renda mais baixa
Distribuição	Seletiva (adequação dos canais)	Intensiva (novos canais)	Mais intensiva	Eliminar gradativamente os canais menos rentáveis
Comunicação	Divulgar e estimular o uso	Direcionada (criar hábito de consumo)	Enfatizar benefícios de marca e diferenças do produto	Mínima

5.6.3 Marca

A necessidade de desenvolver produtos e serviços superiores é apenas um dos desafios que as empresas estão enfrentando no século XXI. Além disso, a globalização e a necessidade de acompanhar os avanços tecnológicos impõem às empresas a busca por novas formas de gestão, cujo foco está cada vez mais dirigido aos ativos intangíveis: pessoas, ideias, agregação de informações estratégicas, patentes e marcas.

Com o avanço da tecnologia e o amplo acesso aos mercados, as inovações ganharam um ritmo sem precedentes, aumentando significativamente o número de lançamentos de novos produtos e serviços no mercado. Porém, essa mesma tecnologia torna viável a rápida cópia dessas inovações, o que torna difícil para as empresas manterem por muito tempo a vantagem competitiva resultante da exclusividade de suas inovações, e tenham dificuldade até mesmo de recuperar o investimento realizado.

Uma das soluções para essa situação é o investimento crescente nas marcas, a fim de criar e sustentar uma vantagem competitiva por meio de uma identidade de marca original e singular, capaz de construir uma imagem atraente para os consumidores potenciais. A imagem da qualidade superior e o valor agregado tornam a marca forte e, se a marca é forte, ela pode cobrar um preço mais alto, usufruir de uma maior taxa de fidelidade dos clientes, possuir uma participação dominante de mercado e criar uma barreira à entrada de concorrentes, constituindo-se numa vantagem competitiva para a empresa.

A expressão “tchê” é uma das principais que caracteriza o gaúcho. Os regionalismos linguísticos são expressões idiomáticas que transmitem a cultura local. Estas expressões representam também uma marca de identidade territorial e podem se transformar em

índices de reivindicação identitária. O falar gaúcho, entre outros falares regionais brasileiros, é o reflexo da cultura desta região. Numa perspectiva pragmática, o uso destas expressões idiomáticas regionais veicula também uma intenção de marcar uma diferenciação (POULET, 2010). Em função disso, “Tchêchu”, uma combinação da expressão “tchê” com o final da palavra shochu, foi escolhido para o nome da marca e do produto, procurando criar uma identificação e uma sintonia do povo gaúcho com o produto em questão.

5.6.4 Consumidores

O comportamento do consumidor é influenciado por fatores sociais, como grupos de referência, família, papéis sociais e *status* (KOTLER, 2006). A compreensão dos fatores que influenciam o comportamento do consumidor permite uma visão aprofundada da dinâmica de compra, além de possibilitar interferências com o uso de estímulos mercadológicos, visando criar valor para o cliente e gerar bons resultados no comportamento de compra (PINHEIRO, 2004). Compreender as alterações nos desejos desse novo consumidor, que modifica gradualmente seus hábitos alimentares, é essencial para entender como as empresas devem trabalhar para conquistar o sucesso.

O cliente alvo do “Tchêchu” será o povo brasileiro de todas as faixas etárias legalmente autorizadas a ingerir bebidas alcoólicas, em especial as mulheres, em função de vários drinques serem preparados a partir desse destilado de batata-doce.

5.6.5 Concorrentes

Existe uma empresa concorrente produtora de shochu no Brasil, a MN Própolis (Mogi das Cruzes – SP), a qual criou uma bebida feita a base de mandioca orgânica. A empresa batizou seu shochu com o nome “Hakkon”, palavra que significa “Espírito Brasileiro”. O processo de produção do Hakkon é totalmente orgânico, isento de agrotóxicos e aditivos químicos, certificado pelo IBD – Instituto Biodinâmico. São três as variedades de Shochu da MN Própolis: Hakkon Original, com teor alcoólico de 25%; Hakkon Black, obtido por dupla destilação refinada e filtragem em colunas especiais, com teor alcoólico de 35%; e Hakkon Gold de mandioca com envelhecimento por quatro anos em barris de carvalho (MN PRÓPOLIS, 2017).

Okutsu (2016) afirma que no Japão há uma preferência dos consumidores pelo shochu de batata-doce, pois esse tem um sabor associado com batata-doce cozida. Logo, o “Tchêchu”, o qual é produzido de batata-doce, deverá ter um diferencial competitivo relacionado ao sabor, em relação ao Hakkon da MN Própolis.

5.6.6 Distribuição e divulgação

Os canais de distribuição utilizados pela indústria de bebidas incluem desde a venda direta ao consumidor até varejistas, revendedores ou distribuidores, nas suas mais variadas formas. A divulgação do produto pode ser feita por meio de jornais, televisão, revistas especializadas, e sua promoção, por meio dos próprios vendedores ou junto aos revendedores. Essas estratégias do composto mercadológico podem e devem ser alteradas sempre que as condições do mercado se modificam, visando levar ao consumidor o produto certo, no lugar e no momento certo, por meio do acompanhamento e controle permanente do mercado.

A comercialização do produto será feita por loja virtual e por comercialização em distribuidoras, revendedores e mercados. Além disso, haverá a possibilidade de venda do produto em loja junto à fábrica, permitindo os visitantes degustar, adquirir o produto e conhecer a fábrica em visita técnica.

A divulgação do “Tchêchu” será feita através das redes sociais, web, facebook, e através da mídia impressa, folhetos, jornais e revistas de interesse do setor. Também poderão ser feitas palestras de apresentação do produto em feiras e eventos locais, em especial os que ocorrem na Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Além disso, é importante realizar exposições do produto em eventos japoneses que ocorram no Brasil.

5.6.7 Custos

Tomando como base a análise econômica realizada por Masiero (2012) da viabilidade econômica da produção de etanol hidratado combustível a partir da batata-doce em micro usinas no estado do Rio Grande do Sul, foi possível avaliar o custo final do litro de etanol hidratado. Apesar de apresentarem diferentes finalidades, o etanol hidratado combustível e o etanol para consumo humano apresentam os mesmos processos produtivos de fermentação e destilação e, por isso, os parâmetros de processo podem ser comparados.

Considerações

A unidade base para produção de etanol foi a mesma estudada por Weschenfelder (2011), com capacidade produtiva de 1000 litros diários de destilado.

Foi considerado que o produtor agrícola já possui ou aluga o maquinário necessário para produção agrícola. Dessa forma, o investimento inicial do projeto é a compra da unidade produtiva, construção de suas instalações e serviços de montagem. Sabendo que o preparo do mosto leva 1,5 horas, a fermentação dura 24 horas, e a destilação leva 2,5 horas, é necessária a aquisição de 5 dornas de 1.000 litros, possibilitando maximizar a capacidade produtiva em 8 horas por dia de operação, totalizando 40 horas semanais. O cronograma de operações por dorna está mostrado na Figura 5.3.

	Dorna 1	Dorna 2	Dorna 3	Dorna 4	Dorna 5
08:00	Preparo mosto		Fermentação		
08:30					
09:00	8:00 - 9:30		Iniciada 9:30/dia anterior	Fermentação	
09:30	Fermentação		Destilação		
10:00					
10:30		Preparo mosto	9:30 - 12:00	Iniciada 12:00/dia anterior	
11:00		10:30 - 12:00			
11:30		Fermentação		Destilação	
12:00					
12:30	Fermentação		Preparo mosto	12:00 - 14:30	
13:00			13:00 - 14:30		
13:30			Fermentação		
14:00		Iniciada 14:30/dia anterior			
14:30			Destilação		
15:00					
15:30		Fermentação		14:30 - 17:00	
16:00					
16:30					
17:00	Até 9:30 do dia seg.	Até 12:00 do dia seg.	Até 14:30 do dia seg.		

Figura 5.3: Cronograma de operações por dorna

O investimento inicial estimado é de R\$ 590.600,00, conforme especificado na Tabela 5.2. Além disso, é previsto um gasto adicional de R\$ 200.000,00 com marketing e propaganda, investimento altamente necessário por se tratar de um produto novo no mercado brasileiro de bebidas alcoólicas. Logo, o investimento inicial total é de R\$ 790.600,00.

Tabela 5.2: Investimento inicial

Equipamento	Capacidade	Preço Unitário (R\$)	Ud.	Total
Trator de 80 CV		71.500,00	1	71.500,00
Esteira transportadora	2 t.h ⁻¹	4.400,00	2	8.800,00
Balança digital	500 kg	3.300,00	1	3.300,00
Lavador e descascador	2 t.h ⁻¹	11.880,00	1	11.880,00
Bomba de água de lavagem		550,00	1	550,00
Moedor martelo	2 t.h ⁻¹	9.900,00	1	9.900,00
Rosca sem fim para material triturado		1.650,00	1	1.650,00
Dornas de fermentação	1.000 L	2.200,00	5	11.000,00
Agitador		1.320,00	5	6.600,00
Bomba para recirculação		1.320,00	5	6.600,00
Unidade de destilação	42 L.h ⁻¹	104.500,00	1	104.500,00

Sistema de Resfriamento	10m ³ .h ⁻¹	4.950,00	1	4.950,00
Caldeira (4kgf/cm ²)	200 kg.h ⁻¹	27.500,00	1	27.500,00
Bomba de destilado para reservatório		1.320,00	1	1.320,00
Reservatório	10.000 L	9.900,00	1	9.900,00
Bomba de água para diluição		550,00	1	550,00
Envasadora		130.000,00	1	130.000,00
Rotuladora		25.000,00	1	25.000,00
Sistema de aplicação de vinhaça	30 m ³ .h ⁻¹	44.000,00	1	44.000,00
Açude para armazenagem de vinhaça	235 m ³	18.700,00	1	18.700,00
Galpão	600m ²	92.400,00	1	92.400,00
TOTAL				590.600,00

Experimentalmente, o maior valor de rendimento atingido na fermentação alcoólica utilizando a batata-doce de casca creme e polpa creme foi de 53,88%. Em função disso, decidiu-se adotar um valor de 55% para o rendimento da fermentação alcoólica para o cálculo da viabilidade econômica. Assim como Masiero (2012), o rendimento adotado para recuperação de etanol na destilação foi de 90%.

Os custos variáveis envolvidos na obtenção do etanol estão relacionados à produção agrícola e ao processamento das matérias-primas na unidade de produção de etanol. Para estimar os insumos agrícolas, adotaram-se as mesmas quantidades utilizadas pela Usinas Sociais Inteligentes (USI), que produz batata-doce para produção de etanol em São Vicente do Sul, RS, reportadas no trabalho de Junior (2009). Quanto aos custos decorrentes do manejo das culturas, os coeficientes técnicos (hora.máquina⁻¹ e homem.dia⁻¹) foram definidos por Masiero (2012) com base na literatura e entrevista realizada com profissionais da área. Para as operações mecanizadas, considerou-se a locação do maquinário agrícola, modelo que é bastante difundido entre produtores rurais. Para as operações manuais, foi considerado o uso de mão de obra contratada a fim de atingir um maior número de modelo de negócios.

Adicionalmente foi considerado um custo anual de manutenção da unidade produtiva. Esse custo foi definido como um percentual do valor de investimento em equipamentos e instalações. Adotou-se um percentual crescente para os 10 anos de operação avaliados, iniciando em 1% no primeiro ano e aumentando 1 % a cada ano.

Para a construção dos fluxos de caixa e posterior análise de viabilidade econômica, foram avaliados o investimento inicial, o total de receitas do período, o total de despesas do

período e o pagamento de impostos. Foi fixado imposto de renda de 15% e contribuição social de 1,08% do faturamento. Foram descontados os impostos incidentes sobre a receita da venda: PIS (0,65%), COFINS (3%) e ICMS (18%). O valor do IPI a ser pago não é um percentual (alíquota), como nos impostos anteriores. A legislação determina a incidência do IPI sobre as bebidas alcoólicas, de acordo com o sistema de tributação instituído pela Lei nº 7.798/89. Neste caso, o tributo tem valor fixo, que depende do seu enquadramento em uma das classes previstas na legislação. Para a cachaça, o valor máximo do IPI é de R\$ 2,90 por garrafa (MACCARI, 2013). Este valor será adotado para o destilado de batata-doce em questão.

O fluxo de caixa foi determinado em um período de 10 anos, sendo considerada a construção da destilaria no ano anterior ao primeiro. Considerou-se 8 horas de operação diária, totalizando 40 horas semanais. Foi considerado que 100% do investimento inicial seria financiado e definiu-se um montante para capital de giro de R\$ 160.000,00 oriundos do capital próprio. A taxa de juros adotada é de 8% ao ano com carência no primeiro ano e prazo de pagamento de 5 anos.

A viabilidade econômica da produção do destilado de batata-doce foi baseada em três indicadores econômicos: valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e período de recuperação econômica de capital (*Payback* descontado).

Foram realizadas atualizações dos custos de acordo com o ano de 2017, em relação ao estudo realizado por Masiero (2012), referentes à mão-de-obra e insumos (energia elétrica, água, lenha, diesel, levedura e enzima) em todas as atividades do processo, além de atualizações nos custos envolvidos referentes aos parâmetros de processo alterados. Os preços de insumos atualizados em relação ao estudo realizado por Masiero (2012) e o preço dos insumos adicionais relacionados à produção de bebidas alcoólicas encontram-se na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: Preços de insumos em 2017

Insumo	Valor 2017	Unidade	Referência
Energia elétrica	0,391	R\$/kWh	CEEE, 2017
Água	3,25	R\$/m ³	DMAE, 2017
Lenha	40,00	R\$/m ³	MFRural, 2017
Diesel	2,784	R\$/L	ANP, 2017
Óleo	9,00	R\$/L	INGRAX, 2017
Graxa	11,00	R\$/kg	INGRAX, 2017
Enzima Stargen 002	31,70	R\$/L	LNF Latino America, 2017

Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Angel Thermal Resistance Alcohol Yeast®	64,50	R\$/kg	LNf Latino America, 2017
Metabissulfito de Potássio	127,80	R\$/kg	Synth, 2017
Garrafa de vidro (750 mL)	3,10	R\$/unidade	Embavale, 2017

Depreciação

Depreciação é a alocação sistemática do valor depreciável de um ativo ao longo de sua vida útil. O valor depreciável de um ativo deve ser apropriado de forma sistemática ao longo da sua vida útil estimada. Os custos de depreciação foram determinados com base no método linear, seguindo o estabelecido pela Receita Federal na Instrução Normativa SRF nº 162 (RF, 1998). Utilizaram-se as taxas máximas de depreciação permitidas: 20% ao ano para veículos em geral; 10% ao ano para máquinas e equipamentos; e 4% ao ano para prédios e construções. O cálculo da depreciação está mostrado na Tabela 5.4.

Tabela 5.4: Cálculo da depreciação para o período de 10 anos

Equipamento	Preço Unitário (R\$)	(%a.a.)	Período (anos)	Ud.	Depreciação (R\$/ano)
Trator de 80 CV	71.500,00	10	10	1	7.150,00
Esteira transportadora	4.400,00	10	10	2	880,00
Balança digital	3.300,00	10	10	1	330,00
Lavador e descascador	11.880,00	10	10	1	1.188,00
Bomba de água de lavagem	550,00	10	10	1	55,00
Moedor martelo	9.900,00	10	10	1	990,00
Rosca sem fim para material triturado	1.650,00	10	10	1	165,00
Dornas de fermentação	2.200,00	10	10	5	1.100,00
Agitador	1.320,00	10	10	5	660,00
Bomba para recirculação	1.320,00	10	10	5	660,00
Unidade de destilação	104.500,00	10	10	1	10.450,00
Sistema de Resfriamento	4.950,00	10	10	1	495,00
Caldeira (4kgf/cm ²)	27.500,00	10	10	1	2.750,00
Bomba de destilado para reservatório	1.320,00	10	10	1	132,00

Reservatório	9.900,00	10	10	1	990,00
Bomba de água para diluição	550,00	10	10	1	55,00
Envasadora	143.000,00	10	10	1	14.300,00
Rotuladora	27.500,00	10	10	1	2.750,00
Sistema de aplicação de vinhaça	44.000,00	10	10	1	4.400,00
Açude para armazenagem de vinhaça	18.700,00	4	25	1	1.870,00
Galpão	92.400,00	4	25	1	9.240,00
TOTAL					59.060,00

Recursos para processamento das matérias-primas

Os recursos foram quantificados pelo período de um dia de operação para o processamento da batata-doce. Tomando como base 1000 kg de batata-doce e as condições e quantidades adicionadas relatadas no procedimento experimental, foi possível fazer o balanço de massa mostrado na Figura 5.4. Nesta figura, “outros” se refere aos componentes da batata-doce que não são água e açúcares, como os apresentados na Tabela 2.1. Cálculos relacionados com o balanço de massa encontram-se no Apêndice IV.

Com base no balanço de massa, os valores de referência para um dia de operação estão mostrados na Tabela 5.5.

Tabela 5.5: Valores de referência para um dia de operação

Valores de referência para um dia de operação	
t batata-doce.dia ⁻¹	3,31
Etanol no vinho (% v.v ⁻¹)	4,75
L Destilado.dia ⁻¹	999,85
L Tchêchu.dia ⁻¹	1.183,82
m ³ vinhaça.dia ⁻¹	4,00

Logo, operando na capacidade produtiva teórica máxima de 1000 L de destilado por dia, tem-se a produção diária de 1183,82 L de “Tchêchu”. Este volume, envasado em garrafas de 750 mL, equivale a aproximadamente 1578 garrafas de “Tchêchu” diariamente.

Sabendo-se que cada garrafa custa R\$ 3,10, tem-se um gasto diário com garrafas no valor de R\$ 4.891,80.

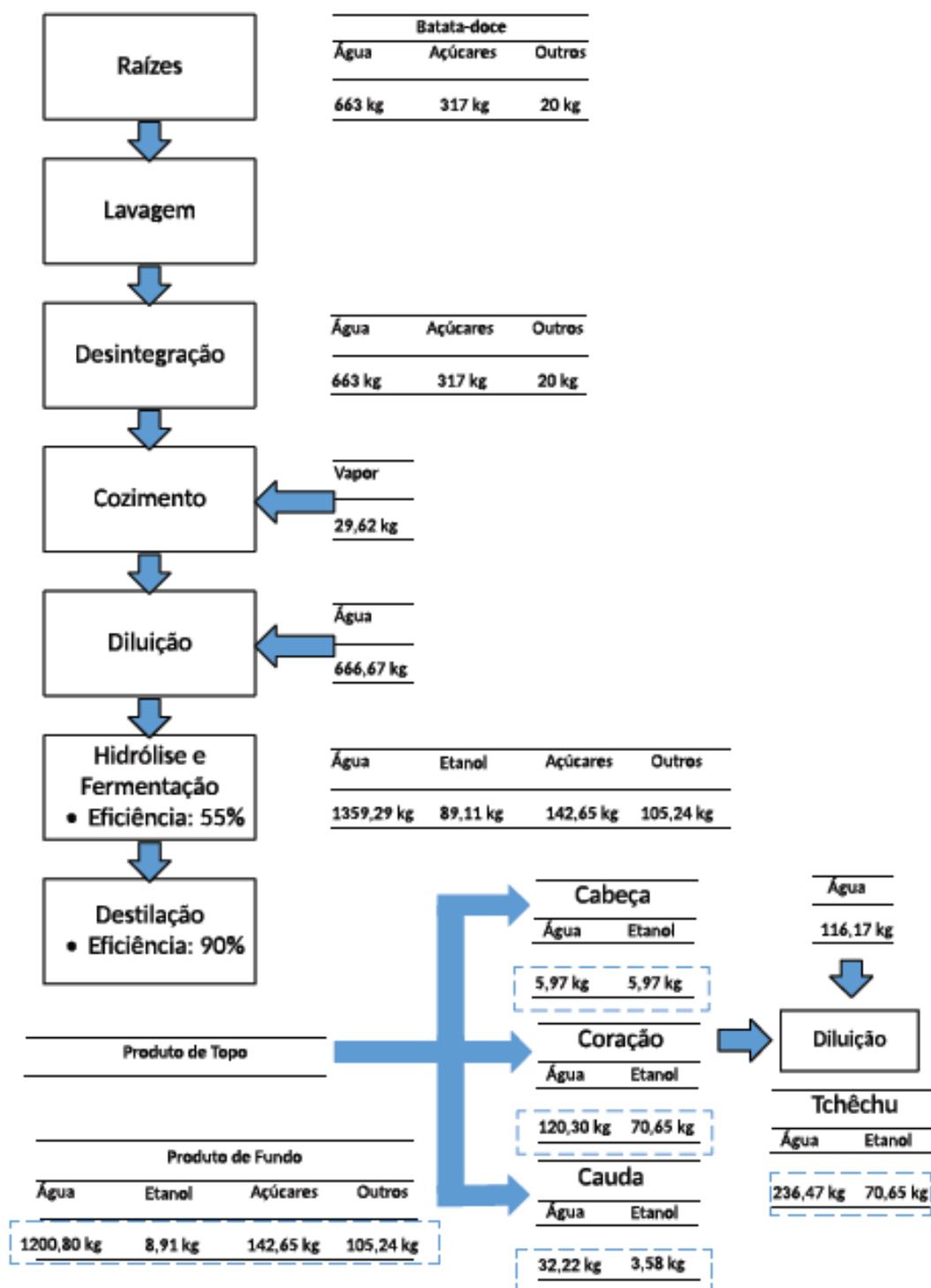


Figura 5.4: Balanço de massa para base de cálculo de 1000 kg (Fonte: adaptado de MASIERO, 2012)

Para quantificação dos recursos mão de obra e energia elétrica, foi necessário definir o tempo demandado para cada atividade. Os valores utilizados foram definidos por Masiero (2012) e estão apresentados na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Tempo diário necessário para as atividades relacionadas a produção do destilado

Atividade	Tempo(h)	Operações	h.dia⁻¹
Transporte	0,17	2	0,34
Recepção	0,41	3	1,23
Moagem	0,41	3	1,23
Preparo do mosto	1,50	3	4,50
Hidrolise e Fermentação	24,00	3	72,00
Destilação	2,50	3	7,50
Sistema de Resfriamento	2,50	3	7,50
Geração de vapor	2,50	3	7,50
Diluição	1,00	3	3,00
Envase	0,50	3	1,50
Rotulagem	0,50	3	1,50
Armazenagem da vinhaça	0,50	3	1,50
Descarte da vinhaça	1,00	1	1,00

Foi considerado que o tempo de transporte da matéria-prima do campo até a unidade levaria 10 minutos, sugerido por Weschenfelder (2011), e que a quantidade transportada por viagem eram 2 t. Assim, o tempo foi calculado com base na quantidade de matéria-prima processada por dia (Tabela 5.5). Para a recepção (descarga, pesagem e lavagem) da batata-doce, foram considerados os tempos relatados por Fabrício (2011). Então, tomando-se a capacidade da esteira transportadora, do lavador/descascador e da moenda de 2 t.h⁻¹, foi possível estimar o tempo diário demandado pela atividade.

No caso das matérias-primas amiláceas, existe a necessidade da atividade de hidrólise, a qual foi realizada juntamente com a fermentação. Essas atividades se repetem três vezes ao dia, já que este é o número de bateladas preparadas para atingir a produção desejada.

Mão-de-obra

Os tempos de mão-de-obra gastos por dia em cada atividade estão mostrados na Tabela 5.7. Para algumas atividades, a mão-de-obra não é necessária durante toda a duração da mesma. A fermentação ocorre durante 24 horas, porém, foi considerado que o funcionário gasta apenas 1,5 horas diárias em análises nesta atividade. Ao mesmo tempo, a destilação foi descrita por Weschenfelder (2011) como uma etapa que necessita de acompanhamento quase contínuo. O mesmo autor reportou demanda de apenas 3 horas diárias para a operação do sistema de geração de vapor.

Considerou-se o uso de mão-de-obra contratada, sendo necessários 5 funcionários. A remuneração adotada foi o salário mínimo nacional com encargos sociais, 13º salário e férias remuneradas. O total desse recurso foi distribuído entre atividades em função do tempo demandado para realizá-las, conforme apresentado na Tabela 5.7.

Tabela 5.7: Tempo de mão-de-obra gasto por dia em cada uma das atividades da produção de destilados

Atividade	h.dia⁻¹	%
Transporte	0,34	1,25
Recepção	1,23	4,51
Moagem	1,23	4,51
Preparo do mosto	4,50	16,48
Hidrolise e Fermentação	4,50	16,48
Destilação	7,50	27,47
Geração de vapor	3,00	10,99
Diluição	1,50	5,49
Envase	1,50	5,49
Rotulagem	1,50	5,49
Descarte da vinhaça	0,50	1,83
TOTAL	27,30	100,00

Energia elétrica

A Tabela 5.8 apresenta a relação dos equipamentos e as respectivas potências instaladas. Com base no número de horas que cada motor opera diariamente, foi calculado o consumo diário de cada equipamento (kWh). Foi considerado um fator de carga padrão de 100% para todos os equipamentos.

Tabela 5.8: Consumo diário de energia elétrica em cada uma das atividades da produção de etanol a partir de batata-doce

Atividade	Motores	Potência Consumida (kW)	h.dia ⁻¹	kWh.dia ⁻¹	%
Recepção	Equipamento para lavar e descascar	2,57	1,00	2,57	1,95
	Bomba de água de lavagem	0,37	0,23	0,09	0,06
	Correia transportadora para moagem	1,47	1,23	1,81	1,37
Moagem	Triturador	5,52	1,23	6,79	5,14
Preparo do mosto	Rosca sem fim para transporte do triturado	1,47	0,50	0,74	0,56
	Agitador	0,74	4,50	3,33	2,52
Hidrólise e Fermentação	Agitador	0,74	72,00	53,28	40,37
	Bomba- recirculação	0,37	36,00	13,32	10,09
Destilação	Bomba- reservatório para coluna 1	1,47	7,50	11,03	8,35
	Bomba- reciclo coluna 2 para 1	1,47	7,50	11,03	8,35
Geração de vapor	Bomba- Água para caldeira	2,21	7,50	16,58	12,56
Sistema de Resfriamento	Bomba- circulação de água	0,37	7,50	2,78	2,10
Diluição do destilado	Bomba – Diluição do destilado	0,37	3,00	1,11	0,84
	Bomba - Destilado para envasadora	0,37	1,00	0,37	0,28
Envase do destilado	Envasadora com tampador	0,74	1,50	1,11	0,84
	Rotuladeira	0,37	1,50	0,56	0,42
Descarte vinhaça	Bomba- recalque da vinhaça	5,52	1,00	5,52	4,18
TOTAL				131,98	100

Água

Os consumos diários por atividade podem ser comparados na Tabela 5.9. A proporção batata-doce/água utilizada na preparação do mosto do “Tchêchu” é de 1,5. Assim, para o consumo de 3,31 t de batata-doce por dia, o preparo do mosto consumiu um total diário de 2,21 m³ de água.

Ainda, existe consumo associado à lavagem das raízes de batata-doce, em que foi adotado o valor observado por Fabrício (2011): 0,3 m³ por tonelada de raízes. Para a geração de vapor, foi tomada a quantidade de vapor necessária por tonelada de sorgo, reportada Weschenfelder (2011), assumiu-se que esse consumo era igual para a destilação do vinho de batata-doce, e foi calculado o consumo diário.

A água a ser adicionada para diluição é a quantidade necessária para diluir 799,88 L da fração coração do destilado a 37% (v/v) até atingir 25% (v/v) de teor alcoólico, ou seja, 384 L

de água. Como o sistema de resfriamento foi considerado um sistema fechado, não se contabilizou consumo de água para este fim.

Tabela 5.9: Consumo de água (m³) por dia por atividade

Atividade	Consumo de água (m ³ /dia)	%
Lavagem	3,23	10,47
Moagem	9,43	30,58
Preparo do mosto	7,18	23,30
Geração de vapor	9,75	31,64
Diluição do destilado	1,24	4,01
Total	30,82	100,00

Enzima, Levedura e Antibiótico

No processo em escala laboratorial se utilizou 0,8 g de levedura a cada 240 g de batata-doce. Logo, para 3,31 t, utiliza-se 11,03 kg de levedura que, a R\$ 64,50 por quilo, totaliza um gasto diário de R\$ 711,65.

Para a quantidade de enzima, foram adotados valores similares ao recomendado por um fabricante de enzima para hidrólise de amido granular (GENENCOR, 2017). A proporção utilizada foi de 1 L de enzima para 1 t de batata-doce. Assim, para 3,31 t de batata-doce, tem-se o consumo de 3,31 L de enzima Stargen 002, a um preço de R\$ 31,70 por quilo, totalizando R\$ 104,93 por dia.

Ainda, solução de metabissulfito de potássio na concentração de 0,15 g/L foi adicionada ao mosto. Em escala laboratorial, foram adicionados 20 mL de solução para cada 240 g de batata-doce. Logo, para 3,31 t, adicionam-se 275,83 L de solução de metabissulfito de potássio 0,15 g/L, o que equivale a 41,37 g de metabissulfito de potássio. Cada quilo custa R\$ 127,80, totalizando, portanto, R\$ 5,29 por dia.

Lenha

Conforme descrito por Weschenfelder (2011), após atingir a pressão de trabalho, são consumidas 1,31 t de lenha por dia para gerar vapor para destilação. Considerando que 1 m³ de lenha equivale a 600 kg, são necessários 2,2 m³ por dia.

Graxa, Óleo e Diesel

Adotando os consumos médios (L.h⁻¹) de óleo, graxa e diesel segundo Weschenfelder (2011), foi calculado o consumo diário decorrente do número de horas em que os equipamentos foram utilizados (Tabela 5.10).

Tabela 5.10: Consumo óleo, graxa e diesel por dia por atividade

Atividade	L.h⁻¹	L.dia⁻¹
Transporte (trator)		
Óleo	0,11	0,06
Graxa	0,01	0,0
Diesel	6	3,5
Moagem		
Óleo	0,021	0,1
Descarte da vinhaça (trator)		
Óleo	0,11	0,04
Graxa	0,01	0,0
Diesel	6	2,4

5.6.8 Receitas

A receita é o resultado da venda do destilado de batata-doce. Para o cálculo, foi considerado que toda a produção foi vendida.

5.6.9 Resultados

Os custos envolvidos na produção agrícola de 1 hectare estão apresentados na Tabela 5.11.

Tabela 5.11: Custos para produção agrícola de batata-doce por hectare (Fonte: Masiero, 2012)

Ano		1	Outros		1	Outros
Insumos	Unidade	Unidade.ha ⁻¹		Valor Unit. (R\$)	Valor Total (R\$.ha ⁻¹)	
Mudas/sementes	kg	30	30	4,00	120,00	120,00
Calcário	t	3	1	70,00	210,00	70,00
Fertilizante de base	t	0,4	0,4	1042,72	417,09	417,09
Ureia	t	0,1	0,1	1207,06	120,71	120,71
Fungicida	L	1	1	52,01	52,01	52,01
Maquinário e mão de obra	Unidade	Unidade.ha ⁻¹			Valor Total (R\$.ha ⁻¹)	
Aplicação de calcário/desseccante	hora.máquina ₋₁	1,5	0,3	49,30	73,95	14,79
Arar + Rotativar	hora.máquina ₋₁	2,5	2,5	49,30	123,25	123,25
Enleiramento	hora.máquina ₋₁	2,0	2	49,30	98,60	98,60
Plantio: sulcos/ adubação	hora.máquina ₋₁	2,0	2	49,30	98,60	98,60
Plantio: dist.+enterrio	homem.dia ⁻¹	3	3	35,04	105,12	105,12
Aplicação de fertilizante	homem.dia ⁻¹	0,8	0,8	35,04	26,28	26,28
Aplicação de fungicida	homem.dia ⁻¹	3,0	3	35,04	105,12	105,12
Capina 2X	homem.dia ⁻¹	16,0	16	35,04	420,47	420,47

Amontoa 1X	homem.dia ⁻¹	2,0	2	35,04	70,08	70,08
Colheita: revolvimento	hora.máquina ⁻¹	2	2	49,30	98,60	98,60
Colheita: arranquio/catação	homem.dia ⁻¹	15	15	35,04	525,59	525,59
				TOTAIS	2.665,47	2.466,31

Sabe-se que a batata-doce Cuia tem produção média de 40 toneladas por hectare (EMBRAPA, 2011). Assim, o custo relacionado a produção agrícola é de R\$ 66,64 por tonelada de bata-doce para o primeiro ano e R\$ 61,66 por tonelada de bata-doce para os demais anos, resultando em um custo médio para os 10 anos de R\$ 62,16 por tonelada de batata-doce Cuia. Para as 3,31 t consumidas diariamente, o custo é de R\$ 205,75.

Os custos diários levantados para o processamento da batata-doce podem ser visualizados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12: Custos diários para o processamento da batata-doce

Recursos	Mão-de-obra	Energia elétrica	Água	Enzima, Levedura e Antibiótico	Lenha	Graxa, Óleo e Diesel	Garrafas	TOTAL por atividade	% por atividade
Atividades	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	R\$	%
Transporte	96,01	-	-	-	-	10,28	-	106,29	0,78
Recepção	347,32	1,75	3,23	-	-	-	-	352,30	2,59
Moagem	347,32	2,65	9,43	-	-	0,90	-	360,30	2,65
Preparo do mosto	1.270,70	1,59	7,18	821,86	-	-	-	2.101,34	15,44
Hidrólise e Fermentação	1.270,70	26,04	-	-	-	-	-	1.296,74	9,53
Destilação	2.117,83	8,62	-	-	-	-	-	2.126,45	15,62
Geração de vapor	847,13	6,48	9,75	-	88,00	-	-	951,36	6,99
Resfriamento	-	1,09	-	-	-	-	-	1,09	0,01
Diluição do destilado	423,57	0,58	1,24	-	-	-	-	425,38	3,13
Envase	423,57	0,43	-	-	-	-	4.891,11	5.315,11	39,05
Rotulagem	423,57	0,22	-	-	-	-	-	423,78	3,11
Descarte da vinhaça	141,19	2,16	-	-	-	7,04	-	150,39	1,10
TOTAL por recurso	7.708,91	51,61	30,82	821,86	88,00	18,23	4.891,11	13.610,54	TOTAL
% por recurso	56,64	0,38	0,23	6,04	0,65	0,13	35,94		

Considerando os custos obtidos por atividade percebe-se que o envase representa quase 40% do custo total de processamento, o que se deve principalmente ao alto custo das garrafas para envase do produto final. O segundo maior representante dos custos por

atividade é a destilação, com 15,62%, custo oriundo quase em sua totalidade do custo de mão-de-obra. Também se destaca o preparo do mosto, com 15,44% dos custos por atividade, no qual a mão-de-obra e a utilização de enzima, levedura e antibiótico são os maiores geradores de custo.

Avaliando os gastos por recurso, a mão de obra apresenta o maior percentual dos custos, com 56,64% do total de recursos. Esse resultado indica a importância de buscar um projeto de unidade barato, porém automatizado, a fim de reduzir a necessidade de funcionários para operar a mesma. Outro destaque é para as garrafas de envase, representando 35,94% do total. Este fato indica a necessidade de busca por fornecedores com menores preços ou de mudança no tipo de garrafa utilizada por modelos mais econômicos.

Com os custos da produção agrícola e do processamento levantados e os respectivos balanços de massa diários, é possível calcular os custos em R\$.L⁻¹ para produção de “Tchêchu” a partir da batata-doce (Tabela 5.13).

Tabela 5.13: Custo por litro de “Tchêchu”

	Custo por litro de “Tchêchu”
Produção Agrícola (R\$.L⁻¹)	0,17
Processamento (R\$.L⁻¹)	11,50
TOTAL (R\$.L⁻¹)	11,67

Da Tabela 5.12, tem-se que o custo unitário para produção de 1 litro de “Tchêchu” é de R\$ 11,67. Logo, cada garrafa (750 mL) tem um custo unitário de R\$ 8,75.

O custo de processamento se mostrou importante por apresentar parcela quase total do custo final do destilado de batata-doce, com 98,51%, o que torna o custo da produção agrícola praticamente insignificante.

Considerando o fator de ociosidade operacional, a batata-doce apresenta uma característica importante, resultante do seu amplo período de colheita: 0% de ociosidade da planta de produção, sem a necessidade de utilização de consórcio com outras culturas.

5.6.10 Formação de preço

Após o cálculo de todos os custos, foi possível estimar o fluxo de caixa da empresa. As entradas são referentes ao capital próprio, ao financiamento e ao faturamento considerando a venda de toda a produção de “Tchêchu”. As saídas são compostas pelas parcelas e juros do financiamento e pelos custos de produção e manutenção. A depreciação é descontada, porém somada novamente no valor do fluxo de caixa, por ser uma despesa que não afeta o caixa. O lucro é calculado pela diferença entre as entradas e as saídas, e, deste, são descontados os impostos, resultando no lucro líquido. Assim, calcula-se o fluxo de caixa e o fluxo de caixa acumulado.

O preço determina o valor de um produto aos olhos do cliente e em relação aos produtos do concorrente (KOTLER, 1976). É um montante recebido em troca de um bem ou serviço. Tal preço tem que ser suficiente para cobrir seus custos e despesas e, ainda,

promover retorno satisfatório, ou seja, preço visa agregar rentabilidade. Para definir o preço de venda do produto, foram estimados valores até que o valor presente líquido (VPL) fosse zero, resultando em R\$ 14,81 por garrafa (750 mL). Logo, este é o preço mínimo de venda para cobrir todos os gastos, ou seja, para que não ocorra prejuízo.

Desejando-se um lucro de 80%, tem-se um preço unitário de venda do “Tchêchu” de R\$ 15,75. Assim, ainda que o vendedor deseje um lucro de 100%, o preço de venda do “Tchechu” para o consumidor final será de R\$ 31,50. Sabe-se que o preço de venda do Hakkon Original, comercializado em garrafa de 750 mL, concorrente direto do “Tchêchu”, é de R\$ 36,00 no site da MN Própolis. Assim, tem-se que o preço do “Tchêchu” está de acordo com o preço de mercado.

5.6.11 Viabilidade econômica

Com o preço unitário de R\$ 15,75 por garrafa de “Tchêchu” e, considerando que toda a produção foi vendida, tem-se uma receita de vendas de R\$ 8.205.050,70 por ano.

O esquema representativo do fluxo de caixa pode ser visualizado na Tabela 5.14. Por meio deste e utilizando-se a taxa SELIC (9,25% a.a.) como TMA, foi possível calcular os indicadores VPL, TIR e *payback*.

O VPL calculado foi de R\$ 1.815.107,34, a TIR foi de 26%, e o *payback* descontado foi de 2,44 anos. O VPL foi positivo e a TIR foi maior que a TMA, o que mostra que a implantação da destilaria para produção de “Tchêchu” considerando os rendimentos assumidos é um projeto economicamente viável.

A fim de fazer uma análise de sensibilidade da TIR, variou-se o preço e a produção de 97 a 110%, calculou-se o log TIR e, utilizando-se o software Python, plotou-se o gráfico da Figura 5.5.

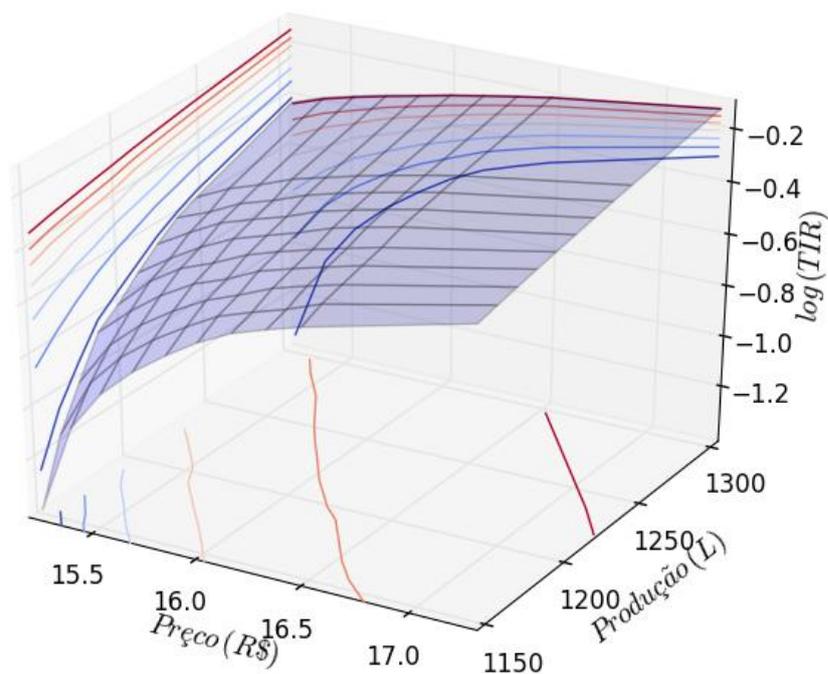


Figura 5.5: Análise de sensibilidade da TIR em relação ao volume de produção e ao preço do “Tchêchu”

Da Figura 5.5 tem-se que a produção tem menos sensibilidade se o preço for elevado, apresentando uma queda mais suave, ou seja, quando o produto tem menor preço, o volume de produção tem grande impacto na TIR

Tabela 5.14: Fluxo de caixa

Ano	Investimento	Depreciação	Receita	Pagamento financeiro	Custo manutenção	Lucro líquido	Fluxo de caixa	Fluxo de caixa acumulado	Fluxo de caixa descontado	Fluxo de caixa acumulado descontado
0	-R\$ 790.600,00						-R\$ 790.600,00	-R\$ 790.600,00	-R\$ 790.600,00	-R\$ 790.600,00
1		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70	R\$ 221.368,00	R\$ 7.906,00	R\$ 380.807,02	R\$ 380.807,02	-R\$ 409.792,98	R\$ 346.188,20	-R\$ 444.411,80
2		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70	R\$ 208.718,40	R\$ 15.812,00	R\$ 383.760,86	R\$ 383.760,86	-R\$ 26.032,11	R\$ 317.157,74	-R\$ 127.254,06
3		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70	R\$ 196.068,80	R\$ 23.718,00	R\$ 386.714,70	R\$ 386.714,70	R\$ 360.682,59	R\$ 290.544,48	R\$ 163.290,42
4		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70	R\$ 183.419,20	R\$ 31.624,00	R\$ 389.668,54	R\$ 389.668,54	R\$ 750.351,13	R\$ 266.148,86	R\$ 429.439,28
5		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70	R\$ 170.769,60	R\$ 39.530,00	R\$ 392.622,38	R\$ 392.622,38	R\$ 1.142.973,51	R\$ 243.787,61	R\$ 673.226,89
6		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70		R\$ 47.436,00	R\$ 494.037,55	R\$ 494.037,55	R\$ 1.637.011,06	R\$ 278.871,31	R\$ 952.098,20
7		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70		R\$ 55.342,00	R\$ 489.114,48	R\$ 489.114,48	R\$ 2.126.125,54	R\$ 250.993,07	R\$ 1.203.091,27
8		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70		R\$ 63.248,00	R\$ 484.191,41	R\$ 484.191,41	R\$ 2.610.316,95	R\$ 225.878,87	R\$ 1.428.970,13
9		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70		R\$ 71.154,00	R\$ 479.268,35	R\$ 479.268,35	R\$ 3.089.585,30	R\$ 203.256,56	R\$ 1.632.226,70
10		R\$ 59.060,00	R\$ 8.205.050,70		R\$ 79.060,00	R\$ 474.345,28	R\$ 474.345,28	R\$ 3.563.930,58	R\$ 182.880,64	R\$ 1.815.107,34

Capítulo 6 – Considerações Finais

6.1 Conclusões

A motivação principal que norteou este trabalho, apesar de parecer simples, foi repleta de dificuldades de execução. A busca por um processo inovador e um produto que agregasse valor à matéria prima proporcionou um trabalho que exigiu tempo, paciência e interdisciplinaridade. Contudo, a proposta de produzir um destilado de batata-doce similar ao shochu por um processo alternativo foi alcançada, possibilitando uma redução no tempo de produção e reduzindo o risco de contaminação.

Da caracterização do substrato, a batata-doce de casca creme e polpa creme foi a que apresentou maior teor de açúcares redutores totais ($30,42 \pm 1,54\%$), seguida pela batata-doce de casca púrpura e polpa creme ($27,44 \pm 0,36\%$) e pela batata-doce de casca rosada e polpa alaranjada ($20,57 \pm 0,49\%$), e foi observada uma relação inversamente proporcional entre o teor de açúcares e o teor de umidade.

Pelo processo convencional de produção do shochu, foram atingidos rendimentos da fermentação alcoólica abaixo do esperado (em torno de 40%), e alta formação de ácido acético ($3,78 \text{ g.L}^{-1}$), indicando contaminação bacteriana no mosto e ocorrência de fermentação acética, o que justifica o baixo rendimento alcançado e confirma o alto risco de contaminação deste processo convencional.

No processo alternativo de produção de destilado de batata-doce, o tempo do processo fermentativo foi reduzido de 14 dias para apenas um dia e, além disso, os problemas de contaminação foram eliminados. Com utilização de pectinase foram atingidos rendimentos da fermentação alcoólica de aproximadamente 70%, porém verificou-se a presença de metanol acima dos limites da legislação, o que torna o destilado produzido impróprio para consumo. Já no caso sem adição de pectinase, não foi detectada formação de metanol, mas o rendimento caiu para cerca de 50%, em função da desintegração incompleta das batatas-doces.

O estudo do potencial econômico do “Tchêchu” confirma que produzir e comercializar este destilado no Brasil, além de agregar valor à batata-doce, é uma grande oportunidade para as indústrias de bebidas alcoólicas do país. A avaliação econômica realizada resultou em indicadores favoráveis, com valor presente líquido positivo (R\$ 1.815.107,34), taxa interna de retorno (26% a.a.) maior do que a taxa mínima de atratividade (SELIC=9,25% a.a.) e prazo para que os investimentos realizados sejam integralmente recuperados (*payback* descontado) de 2,44 anos. Estes resultados mostram que a implantação de uma destilaria para produção de “Tchêchu” é economicamente viável.

6.2 Sugestões para trabalhos futuros

- Análise sensorial a fim de identificar as preferências do mercado consumidor.
- Análise dos compostos voláteis por CG-MS/O, o que permitiria uma melhor associação dos aromas e compostos formados com a matéria-prima correspondente.
- Testar diferentes condições do processo fermentativo buscando aumentar o rendimento da fermentação alcoólica.
- Utilizar enzima pectinase do tipo pectina liase com maior grau de pureza, para que assim não haja formação de metanol.
- Aperfeiçoar a unidade experimental de destilação, como inserir um sistema de reciclo, a fim de promover uma separação mais eficiente dos componentes do destilado.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTAÇÃO (ABIA). **Números do setor: faturamento**. Disponível em: <<http://www.abia.org.br/>>. Acesso em: 30 ago.2017.

ADAMS, J. et al. Scanning electron microscopy and fermentation studies on selected known maize starch mutants using STARGEN™ Enzyme Blends. **BioEnergy Research**, p. 1-11, 2011.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS - ANP. **Sistema de Levantamento de Preços (SLP)**. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 17 jul.2017.

ALMEIDA, Leandro Cabral de. **Apostila de análise de projetos de investimentos**. MBA em Gestão Empresarial, CEEM FGV, Turma GEMP 14, Santa Maria, 2016.

ALMEIDA, J.; BERTILSSON, M.; GORWA-GRAUSLUND, M.; GORSICH, S.; LIDÉN, G. Metabolic effects of furaldehydes and impacts on biotechnological processes. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 82, p. 625–638, 2009.

ATKINSON, B. Beer and biotechnology. **Chemical Industry**, v. 9, p.304-307, 1991.

AZEVÊDO, L. C. Efeito da presença e concentração de compostos carbonílicos na qualidade de vinhos. **Revista Química Nova**. São Paulo, v.30, n.8, p. 1968-1975, 2007.

BADOLATO, E. S. G.; DURAN, M. C. Risco de intoxicação por metanol pela ingestão de bebidas alcoólicas. **Revista de Psiquiatria Clínica**, v. 27, n. 2, p. 1–4, 2000.

BALL, S.; BULLOCK, S.; LLOYD, L.; MAPP, K.; EWEN, A. **Analysis of carbohydrates, alcohols, and organic acids by ion-exchange chromatography: Agilent HI-PLEX columns applications compendium**. Agilent Technologies, 2011.

BEBER, ANDRIEI JOSÉ. **Apostila de matemática financeira**. MBA em Gestão Empresarial, CEEM FGV, Turma GEMP 14, Santa Maria, 2015.

BERRY, D. R. Alcoholic beverage fermentations. In: LEA, A. G. H.; PIGGOT, J. R. **Fermented beverage productions**. London: Blackie Academic & Professional, 1995. Chap. 2, p. 33-44.

BLINDER, F.; VOGES, E.; LAUGE, P. The problem of methanol concentration admissible in distilled fruit spirits. **Food Additives and Contaminants**, v. 5, n. 3, p. 343–351, 1988.

BOGDAN, P.; KORDIALIK-BOGACKA, E. Alternatives to malt in brewing. **Trends in Food Science & Technology**, v. 65, p. 1-9, 2017.

BORZANI, W.; SCHMIDELL, W.; LIMA, U. DE A; AQUARONE, E. **Biotecnologia Industrial**. São Paulo: Blucher, 2001. v. 1.

_____. _____. São Paulo: Blucher, 2001. v. 3.

_____. _____. São Paulo: Blucher, 2001. v. 4.

BRASIL. Decreto nº 2.314 de 04 de setembro de 1997. **Diário Oficial da União**. Brasília, 05 de setembro de 1997.

_____. **TACO – Tabela Brasileira de Composição de Alimentos**. 4. ed. rev. e ampl. Campinas: 2011

BROWN, J. G. **Agroindustrial investment and operations**. Washington, D. C.: Economic Development Institute, The World Bank, 1995.

BUGLASS, A. J.; CAVEN-QUANTRILL, D. J. **Handbook of alcoholic beverages: technical, analytical and nutritional aspects**. United Kingdom: Wiley, 2011. v. II.

CARDOSO, M. Das G. Análises físico-químicas de aguardentes. In: _____ (Ed.). **Produção de aguardente de cana-de-açúcar**. Lavras: Editora UFLA, 2001. cap. 5, p. 152-173.

CASTRO, L. A. S. **Etanol de batata-doce, uma realidade**. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/noticias/artigo-etanol-de-batata-doce-uma-realidade>> Acesso em: 17 ago.2017.

CASTRO, L. A. S. DE; BECKER, A. **Batata-doce BRS Amélia**. Pelotas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2011.

_____. **Batata-doce BRS Cuia**. Pelotas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2011.

_____. **Batata-doce BRS Rubissol**. Pelotas: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), 2011.

CEREDA, M. P.; COSTA, M. S. C. **Manual de fabricação de tiquira (aguardente de mandioca), por processo tradicional e moderno: tecnologias e custos de produção**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2008.

CHAVES, J. B. P. **Cachaça: produção artesanal de qualidade**. (Manual técnico). Viçosa: CPT, p. 78. 1998.

CHERUBIN, R. A. **Efeitos da adição de benzoato de sódio na fermentação alcoólica para produção de aguardente de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*)**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Escola Superior de Agricultura Luiz Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.

COMPANHIA ESTADUAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (CEEE). **Tabela de tarifas e custos de serviços**. Disponível em: <<http://www.cee.com.br/pportal/cee/Component/Controller.aspx?CC=1782>>. Acesso em 07 jul. 2017.

CULTURA JAPONESA. **Gastronomia: saquê**. Disponível em: <<http://www.culturajaponesa.com.br>>. Acesso em 07 jul. 2017.

ECHER, F. R.; CRESTE, J. E.; TORRE, E. DE J. R. DE LA. **Nutrição e adubação da batata-doce**.: Presidente Prudente: Ed. do Autor, 2015.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE ÁGUA E ESGOTO (DMAE). **Tarifas 2017**. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/dmae/default.php?p_secao=370>. Acesso em 10 jul. 2017.

EMBAVALE DISTRIBUIDOR AUTORIZADO. **Produtos: garrafas de vidro**. Disponível em: <<http://www.embavalesul.com.br/>>. Acesso em 15 jul. 2017.

EMBRAPA HORTALIÇAS. **Sistemas de produção**. Disponível em <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Batata-doce/Batata-doce_ipomoea_batatas/composicao_uso.html>. Acesso em 11 mai.2017.

FABRICIO, A. M. **Determinação dos custos de produção do etanol a partir da mandioca (*Manihot esculenta crantz*) pelo método de Custeio Baseado em Atividades (ABC)**. 2011. 137f. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria-RS, Brasil. 2011.

FAOSTAT. **Food and Agriculture Organization of the United Nations - Statistics Division**. Disponível em: <http://fenix.fao.org/faostat/beta/en/?#rankings/countries_by_commodity>. Acesso em 15 mai. 2017.

FELTRAN, J. C.; VALLE, T. R. **Batata-doce (*Ipomoea batatas*): matéria-prima alternativa para produção de etanol**. Pesquisa científica. São Paulo: Instituto de Economia Agrícola, 2008.

GENISHEVA, Z.; TEIXEIRA, J.A.; OLIVEIRA, J. M. Immobilized cell systems for batch and continuous winemaking. **Trends in Food Science & Technology**, v. 40, p. 33-47, 2014.

GUIMARÃES, D. P. **Avaliação de estresse e do potencial fermentativo de isolados de *saccharomyces* na microvinificação da jabuticaba**. Universidade Federal de Lavras, 2006.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo, 2008.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção agrícola municipal:** culturas temporárias e permanentes. - Rio de Janeiro, 2014. v. 41.
- JANZANTTI, N. S. **Compostos voláteis e qualidade de sabor da cachaça.** Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2004.
- JIAO, A.; XU, X.; JIN, Z. Research progress on the brewing techniques of new-type rice wine. **Food Chemistry**, v. 215, p. 508–515, 2017.
- JÚNIOR, A. G. R. Análise da viabilidade econômica da produção de bio-etanol em microdestilarias. **XVI Congresso Brasileiro de Custos.** Fortaleza-CE, Brasil 2009.
- KAMIWATARI, T.; SETOBUCHI, S.; KANDA, J.; SETOBUCHI, T.; OGATA, S. Effects of a sweet potato cultivar on the quality of imo-shochu with references to the characteristic flavor, **J. Brew. Soc. Japan**, n. 101, p. 437–445, 2006.
- KERPES, R.; FISCHER, S.; BECKER, T. The production of gluten-free beer: Degradation of hordeins during malting and brewing and the application of modern process technology focusing on endogenous malt peptidases. **Trends in Food Science & Technology**, v. 67, p. 129-138, 2017.
- KIM, M. et al. Utilization of whole sweet sorghum containing juice, leaves, and bagasse for bio-ethanol production. **Food Science and Biotechnology**, v. 21, n. 4, p. 1075-1080, 2012.
- KOLBE, H.; BECKMANN, S. Development, growth and chemical composition of the potato crop (*Solanum tuberosum L.*). II. Tuber and whole plant, **Potato Res**, n. 40, p. 135–153, 1997.
- KOTLER, P. **Marketing management:** analysis, planning and control. 3rd. ed. Englewoods Cliffs: Prentice-Hall, 1976.
- KOTLER, P.; ARMSTRONG, G. **Princípios de marketing.** 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.
- KOTLER, P.; KELLER, K. L. **Administração de marketing.** 12. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2006.
- KURIBAYASHI, T.; SATO, K.; JOH, T.; KANEOKI, M.; WATANABE, K. Simple differentiation of sake (Japanese alcoholic beverage) based on trace inorganic components using colorimetric methods. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 121, n. 1, p. 43-46, 2016.
- LABIANCA, D. A. Acetaldehyde Syndrome and Alcoholism. **Analyst**, London, v. 47, p. 21-29, 1974.
- LÉAUTÉ, R. Distillation in alambic. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 41, n. 1, p. 90-103, 1990.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. Avaliação da celulase e pectinase como enzimas complementares, no processo de hidrólise-sacarificação do farelo de mandioca para produção de etanol. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 1, p.113-117, 1999.

LIMA, O. G. **Pulque, balchê e Pajuaru na etnobiologia das bebidas dos alimentos fermentados**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 1975.

LIMA, U. A. **Estudos dos principais fatores que afetam os componentes do coeficiente não álcool das aguardentes de cana**. Tese (Cátedra em Tecnologia do Açúcar e Álcool) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1964.

LNF LATINO AMERICA. **Ficha de informação do produto Levedura Seleccionada Angel Thermal Resistance Alcohol Yeast**. 2017.

_____. **Ficha de informação do produto Levedura LALVIN DV-10**. 2017.

_____. **Ficha de informação do produto Levedura LALVIN EC-1118**. 2017.

LIU, Z.; ZHANG, G.; SUN, Y. Mutagenizing brewing yeast strain for improving fermentation property of beer. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 106, n. 1, p. 33–38. 2008.

LO COCO, F.; VALENTINI, C.; NOVELLI, V.; CECCON, L. High performance liquid chromatographic determination of 2-furaldehyde and 5-hydroxymethyl-2-furaldehyde in honey. **Journal of Liquid Chromatography**, n. 749, p. 95-102, 1996.

LOBATO, D. M. **Roteiro do Trabalho de Conclusão de Curso do MBA em Gestão Empresarial**. Rio de Janeiro: FGV Management, 2016.

LUENGO, R. de F. A.; PARMAGNANI, R. M.; PARENTE, M. R.; LIMA, M. F. B. F. **Tabela de composição nutricional de hortaliças**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2000.

MACCARI, Lauren Dal Bo Roncato. **Tributação da cachaça: como calcular os tributos**. Brasília: SEBRAE, 2013.

MACHADO, C. M. M.; ABREU, F. R. Produção de álcool combustível a partir de carboidratos. **Revista de Política Agrícola**, ano XV, n. 3, jul./ago./set. 2006.

MACIEL, B. E. S. P. Da proa da canoa: por uma etnografia do movimento indígena em Tefé. **Somanlu**, Manaus, v. 9, n. 2, p. 111-126, 2009.

MADIGAN, M.; MARTINKO, J.; DUNLAP, P.; CLARK, D. **Microbiologia de Brock**. 12. ed., Porto Alegre: Artmed, 2010.

MAIA, A. B. R. Componentes secundários da aguardente. **STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos**, Piracicaba, v. 12, n. 6, p. 29-34, jul./ago. 1994.

_____. **Tecnologia para produção de aguardente de qualidade**. Segundo curso de tecnologia para produção de aguardente de qualidade da Escola de Engenharia da UFMG e Fundação Cristiano Otoni, p 65, 1994.

MAIER, G.; RITTIG, F. New developments in use of enzymes in fruit juice based beverages: NOVOZYMES. **AIJN workshop**, Brussels, Oct. 24th, 2012.

MASIERO, S. S. **Microusinas de etanol de batata-doce**: viabilidade econômica e técnica. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, 2012.

MELO, H. F. de. **Resposta ao estresse ácido em leveduras da fermentação alcoólica industrial**. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2006.

MFRURAL. **Classificados de agronegócio**. Disponível em: <<http://www.mfrural.com.br/>>. Acesso em: 12 jul. 2017.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO (MAPA). **Instrução Normativa N. 15, de 31 de março de 2011**; Brasil, 2011.

MNPRÓPOLIS. **Produtos: o que é shochu?**. Disponível em: <http://www.mnpropolis.com.br/produtos_shochu.asp>. Acesso em 12 mai. 2017.

NATIONAL TAX AGENCY. **National Tax Agency Report 2016**; Japão, 2016.

_____. **The 139th National Tax Agency Annual Statistics Report**; Japão, 2013.

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2014.

NONATO, E. A. et al. Headspace solid-phase microextraction method for the determination of some secondary compounds of Brazilian sugarcane spirits by gas chromatography. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, Washington, v. 49, p. 3533-3539, 2001.

NORDON, A.; MILLS, A.; BURN, R.; CUSICK, F.; LITTLEJOHN, D. Comparison of non-invasive NIR and Raman spectrometries for determination of alcohol content of spirits. **Analytica Chimica Acta**, v. 548, p. 148–158, 2005.

NYKÄNEN, L. Formation and occurrence of flavor compounds in wine and distilled alcoholic beverages. **American Journal of Enology and Viticulture**, Davis, v. 37, n. 1, p. 84-96, 1986.

NYKÄNEN, L.; NYKÄNEN, I. Distilled beverages. In MAARSE, H. (Ed.). **Volatile compounds in food and beverages**. New York: Marcel Dekker, 1991. p. 548-580.

OKUTSU, K.; YOSHIZAKI, Y.; KOJIMA, M.; YOSHITAKE, K.; TAMAKI, H.; KAZUNORI, T. Effects of the cultivation period of sweet potato on the sensory quality of imo-shochu, a Japanese traditional spirit. **Journal of the Institute of Brewing**, n. 122, p. 168–174, 2016.

OLIVEIRA, C.; GARÍGLIO, H.; RIBEIRO, M.; ALVARENGA, M.; MAIA, F. **Cachaça de alambique**: manual de boas práticas ambientais e de produção. Convênio De Cooperação Técnica - SEAPA/SEMAD/AMPAQ/FEAM/IMA, 2005.

OLIVEIRA, E. S. de. **Características fermentativas, formação de compostos voláteis e qualidade da aguardente de cana obtida por linhagens de leveduras isoladas de destilarias artesanais**. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade de Campinas, Campinas, 2001.

PELLEGRINI, C. **The shochu handbook: an introduction to japan's indigenous distilled drink**. Telemachus Press, LLC, 2014.

PEREIRA, N. **Os índios maués**. Rio de Janeiro: Editora Organização Simões, 1954. v. 1954.

PIGGOTT, J. R.; SHARP, R.; DUCAN, R. E. B. **The science and technology of whiskies**. New York: Longmann Scientific & Technical, 1989.

PINHEIRO, R.M. et. al. **Comportamento do consumidor e pesquisa de marketing**. Rio de Janeiro: FGV, 2004.

POULET, M. E. M. **Mas bah, tchê!** idiomatismo e regionalismo como marca de diferenciação identitária. Comunicação apresentada durante o Colóquio L'idiomaticité dans les langues romanes, v. 15, 2010.

RF. **Instrução Normativa SRF nº 162, de 31 de dezembro de 1998**. 1998.

RIBEIRO, J. C. G. M. **Fabricação artesanal da cachaça mineira**. Belo Horizonte: Perform, 1997.

RISSO, R. **Etanol de batata-doce: otimização do pré-processamento da matéria-prima e da hidrólise enzimática**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

ROSA, S. E. S.; COSENZA, J.P.; LEÃO, L.T.S. **Panorama do setor de bebidas no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 23, p. 101-150, mar. 2006.

ROSE, A. H.; HARRISON, J. S. (Eds.). **The yeasts**. London: Academic, 1970.

SÁNCHEZ, O. J.; CARDONA, C. A. Trends in biotechnological production of fuel ethanol from diferente feedstocks. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 5270-5295, 2008.

SANTIAGO, W. D.; CARDOSO, M. G.; SANTIAGO, J. A.; TEIXEIRA, M. L.; BARBOSA, R. B.; ZACARONI, L. M.; SALES, P. F.; NELSON, D. L. Physicochemical profile and determination of volatile compounds in cachaça stored in new oak (*Quercus* sp.), amburana (*Amburana cearensis*), jatoba (*Hymenaeae carbouril*), balsam (*Myroxylon peruiferum*) and peroba (*Paratecoma peroba*) casks by SPME-GC-MS. **Journal of the Institute of Brewing**, Wiley, n. 122, p. 624-634, 2016.

SCHWAN, R. F. et al. Yeast diversity in rice cassava fermentations produces be the indigenous Tapirape people of Brazil. **FEMS Yeast Research**, Oxford, v. 7, n. 11, p. 966-972, 2007.

SCHWEINBERGER, C. M. **Inovação e otimização no processo de produção de etanol a partir de batata-doce**. Tese (Doutorado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.

SCHWEINBERGER, C. M. et al. Ethanol production from sweet potato: The effect of ripening, comparison of two heating methods, and cost analysis. **The Canadian Journal of Chemical**

Engineering, 2016. ISSN 1939-019X. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1002/cjce.22441>>. Acesso em 14 jul.2017.

SEADER, J. D; HENLEY, E. J.; ROPER, D. K. Separation process principles: chemical and biochemical operations. 3rd. ed, 2011.

SEN, I.; OZTURK, B.; TOKATLI, F.; OZEN, B. Combination of visible and mid-infrared spectra for the prediction of chemical parameters of wines. **Talanta**, v. 161, p. 130–137, 2016.

SHULER, M. L.; KARGI, F. **Bioprocess engineering: basic concepts**. 2nd. ed. Prentice-Hall, 2002.

SILVA, J. B. C.; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. Cultura da batata-doce. In: CEREDA M. P.; **Agricultura: tuberosas amiláceas latino americanas**. São Paulo: Cargill, 2002. 2, p. 448-504,

SILVA, M. A. A. da; SILVA, G. A. da. Leveduras nacionais selecionadas para elaboração de vinho. **Circular técnica 14**, Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 1987. p.19.

SILVEIRA, E. Governo e representantes do setor procuram valorizar nossa velha aguardente. **Problemas Brasileiros**, São Paulo, v.45, n.380, p.27-29, mar./abr. 2007.

SLUIS, C. van der; TRAMPER, J.; WIJFFELS, R. H. Enhancing and accelerating flavour formation by salt-tolerant yeasts in Japanese soy-sauce processes. **Trends in Food Science & Technology**, v. 12-9, p. 322-327, 2001.

TECHNAVIO. **Global Alcoholic Drinks Market 2016-2020**. Disponível em: <<http://www.technavio.com/report/global-alcoholic-beverages-alcoholic-drinks-market>>. Acesso em: 30 ago.2017.

TEIXEIRA-PINTO, M. **leipari: sacrifício e vida social entre os índios arara**. São Paulo: Hucitec e Anpocs, 1997.

TOKUOKA, M.; HONDA, C.; TOTSUKA, A.; SHINDO, H.; HOSAKA, M. Analysis of the oligosaccharides in Japanese rice wine, sake, by hydrophilic interaction liquid chromatographytime-of-flight/mass spectrometry. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 124, n. 2, p. 171-177, 2017.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher: 2016. v. 1.

_____. **Indústria de bebidas: inovação, gestão e produção**. São Paulo: Blucher, 2011. v. 3.

VILELA, F. J.; CARDOSO, M. DAS G.; MASSON, J.; ANJOS, J. P. DOS. Parâmetros físico-químicos e cromatográficos em aguardentes de cana queimada e não-queimada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1089–1094, 2007.

VITOLLO, M. **Tópicos de enzimologia industrial**. São Paulo: Edição do Autor, 1981.

WEI, X.; LIU, S.; YU, J.; YU, Y.; ZHU, S.; ZHOU, Z.; HU, J.; MAO, J. Innovation Chinese rice wine brewing technology by bi-acidification to exclude rice soaking process. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 123, n. 4, p. 460-465, 2017.

WESCHENFELDER, S. C. **Aplicação do custeio baseado em atividades na determinação do custo de produção de etanol a partir do sorgo sacarino em pequena unidade de produção**. Dissertação (Mestrado). Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria - RS, Brasil. 2011.

WINDHOLZ, M. **The merch index**. Rahway: Merck, 1976.

WOOLFE, J. A. **Sweet potato: an untapped food resource**. Cambridge University Press, 1992.

YOSHIZAKI, Y.; TAKAMINE, K.; SHIMADA, S.; UCHIHORI, K.; OKUTSU, K.; TAMAKI, H.; ITO, K.; SAMESHIMA, Y. The Formation of β -Damascenone in Sweet Potato Shochu. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 117, n. 2, p. 217–223, 2011.

YOSHIZAKI, Y.; YAMATO, H.; TAKAMINE, K.; TAMAKI, H.; ITO, K.; SAMESHIMA, Y. Analysis of volatile compounds in shochu koji, sake koji, and steamed rice by gas chromatography-mass spectrometry. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 116, p. 49–55, 2010.

YUAN, H.; TAN L.; LUO, S.; CHEN, H.; YI, X.; SUN, Z.; ZHANG, W.; TANG, Y.; KIDA, K. Development of a process for producing ethyl caproate- and ethyl lactate-rich rice shochu. **Journal of the Institute of Brewing**, Wiley, 121, p. 432–439, 2015.

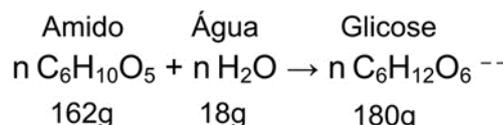
ZHANG, L.; ZHAO, H.; GAN, M.; JIN, Y.; GAO, X.; CHEN, Q.; GUAN, J.; WANG, Z. Application of simultaneous saccharification and fermentation (SSF) from viscosity reducing of raw sweet potato for bioethanol production at laboratory, pilot and industrial scales. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 4573–4579, 2011.

Apêndices

Apêndice I – Dedução Equações

Dedução da equação (3.1):

Hidrólise



Fermentação

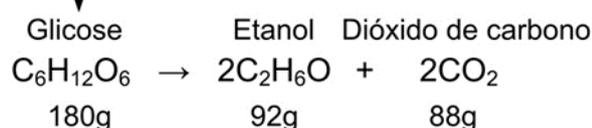


Figura 1: Reações e estequiometria do processo de hidrólise do amido e fermentação
(Fonte: Schweinberger, 2016)

Para calcular o potencial de etanol de uma fermentação em particular, a estequiometria apresentada na figura acima deve ser considerada. Além disso, o balanço de massa deve incluir a água de diluição, a umidade batata-doce, a umidade do koji, e a densidade de etanol ($0,789 \text{ kg.L}^{-1}$, quando a concentração de etanol é expressa em v.v^{-1}). A água de diluição é adicionada para hidrolisar o amido e realizar a fermentação.

A dedução a seguir é feita para uma condição ideal, em que se presume que o amido é completamente hidrolisado, e todos os açúcares são completamente convertidos em etanol. Portanto, 1 mol de glicose resulta em 2 mol de etanol.

As quantidades de ART_{bd} e ART_k disponíveis para a fermentação dependem da massa de batata-doce e da massa de koji utilizadas. Portanto, definem-se as variáveis x_{bd} e x_k , que representam a razão da massa de batata-doce, em kg, pelo volume de água de diluição, em L, e a razão da massa de koji, em kg, pelo volume de água de diluição, em L, respectivamente.

Assim, a quantidade de açúcares disponíveis no meio pode ser calculada como $\left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd} \right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k \right) \right]$. Através da aplicação das massas molares e densidade, é possível calcular o volume total de etanol produzido (v_{ETH}).

$$v_{ETH}(L) = \left(\frac{1}{0.789} \right) \left(\frac{92}{180} \right) \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd} \right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k \right) \right] \quad (1)$$

$$v_{ETH}(L) = \left(\frac{92}{142.02}\right) \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd}\right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k\right) \right] \quad (2)$$

O volume total é calculado considerando também a diluição (H_2O_{dil}), a umidade da batata-doce (x_{ubd} , em %), a umidade do koji (x_{uk} , em %), e a água consumida na reação de hidrólise ($H_2O_{cons\ hid}$):

$$v_T(L) = H_2O_{dil} + \left[\left(\frac{x_{ubd}}{100}\right) x_{bd} + \left(\frac{x_{uk}}{100}\right) x_k \right] + v_{ETH} - H_2O_{cons\ hid} \quad (3)$$

A razão de batata-doce e do koji para água de diluição é dada em kg:L, isto é, x_{bd} ou x_k [kg] para 1 L de água de diluição. Além disso, a água consumida na hidrólise é

$\left(\frac{18}{180}\right) \times \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd}\right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k\right) \right]$ (considerando a estequiometria da Figura 1). Então, a eq. (3) se torna:

$$v_T(L) = 1 + \left[\left(\frac{x_{ubd}}{100}\right) x_{bd} + \left(\frac{x_{uk}}{100}\right) x_k \right] + \left(\frac{92}{142.02}\right) \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd}\right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k\right) \right] - \left(\frac{18}{180}\right) \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd}\right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k\right) \right] \quad (4)$$

$$v_T(L) = 1 + \left[\left(\frac{x_{ubd}}{100}\right) x_{bd} + \left(\frac{x_{uk}}{100}\right) x_k \right] + \left(\frac{77.8}{142.02}\right) \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd}\right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k\right) \right] \quad (5)$$

Com as eq. (2) e (5) é possível estimar o conteúdo de etanol de uma dada fermentação (x_{ETH}), através de v_{ETH}/v_T . Multiplicando essa relação por 100, para transformar em %, resulta na eq. (6).

$$x_{ETH}(\%, v. v^{-1}) = 100 \times \frac{\left(\frac{92}{142.02}\right) \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd}\right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k\right) \right]}{1 + \left[\left(\frac{x_{ubd}}{100}\right) x_{bd} + \left(\frac{x_{uk}}{100}\right) x_k \right] + \left(\frac{77.8}{142.02}\right) \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd}\right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k\right) \right]} \quad (6)$$

Multiplicando o numerador e o denominador por 142,02:

$$x_{ETH}(\%, v. v^{-1}) = \frac{9200 \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd}\right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k\right) \right]}{142.02 + 142.02 \left[\left(\frac{x_{ubd}}{100}\right) x_{bd} + \left(\frac{x_{uk}}{100}\right) x_k \right] + 77.8 \left[\left(\frac{ART_{bd}}{100} \times x_{bd}\right) + \left(\frac{ART_k}{100} \times x_k\right) \right]} \quad (7)$$

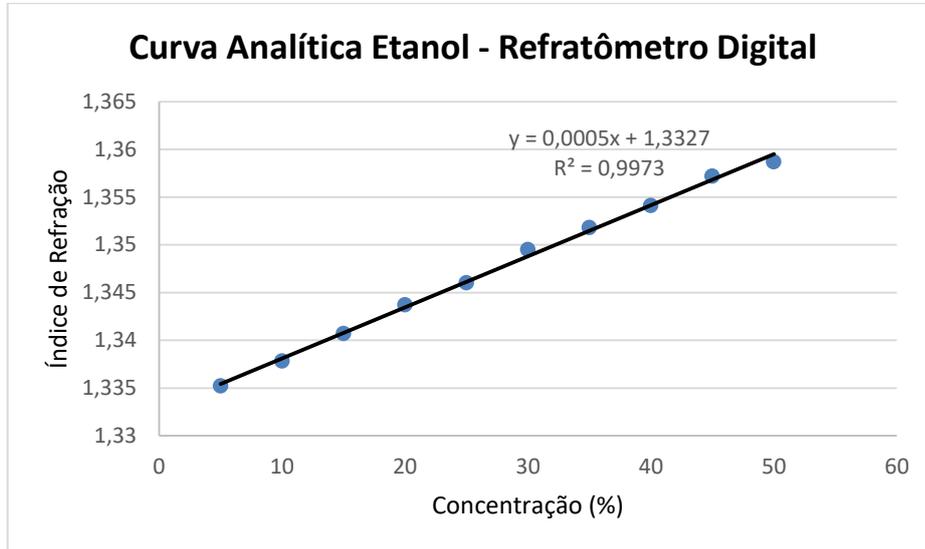
$$x_{ETH}(\%, v. v^{-1}) = \frac{92 \times [(ART_{bd} \times x_{bd}) + (ART_k \times x_k)]}{142.02 + 1.4202 \times [x_{ubd}x_{bd} + x_{uk}x_k] + 0.778 \times [(ART_{bd} \times x_{bd}) + (ART_k \times x_k)]} \quad (3.1)$$

Igualando-se os termos referentes ao koji a zero, a equação se reduz à equação (3.2).

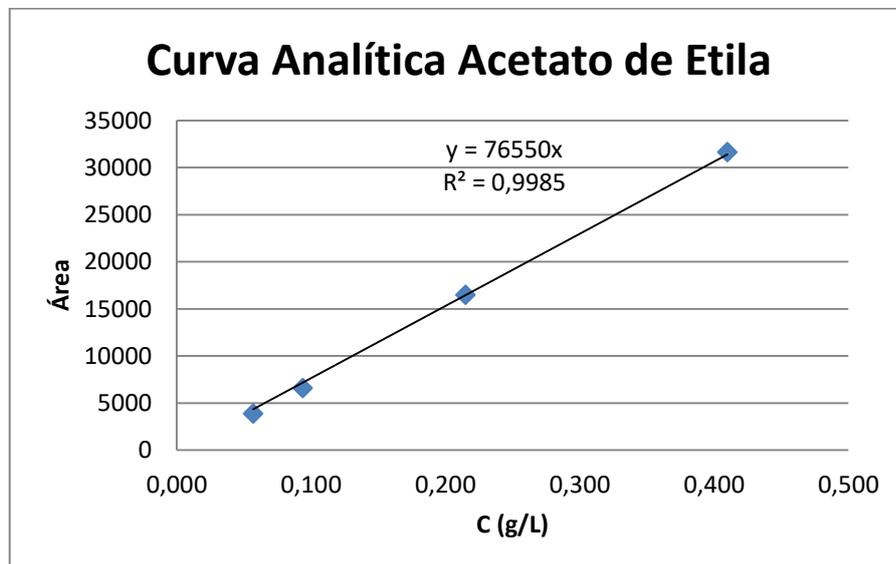
$$x_{et}(\%, v. v^{-1}) = \frac{92 \cdot (ART_{bd} \cdot x_{bd})}{142,02 + 1,4202 \cdot (x_{ubd} \cdot x_{bd}) + 0,778 \cdot (ART_{bd} \cdot x_{bd})} \quad (3.2)$$

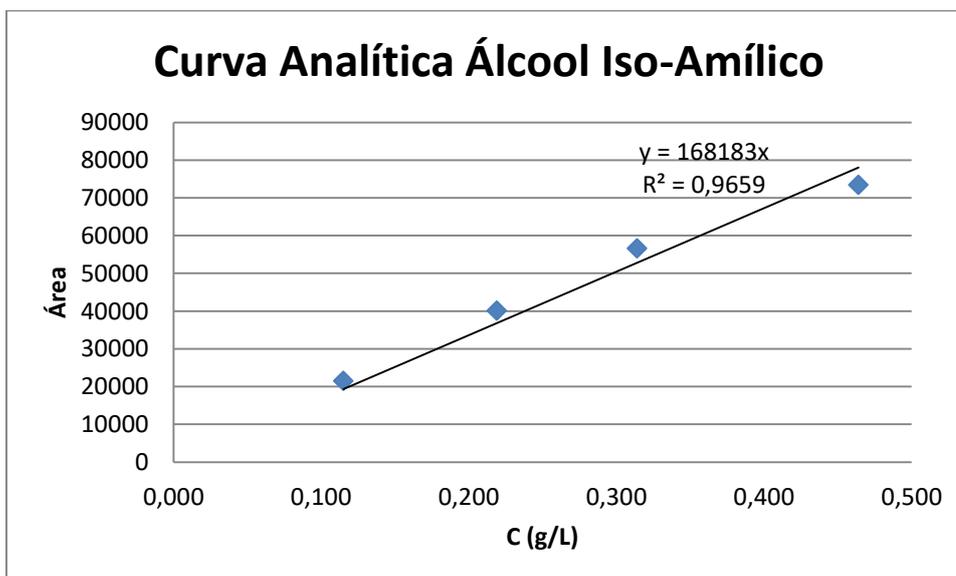
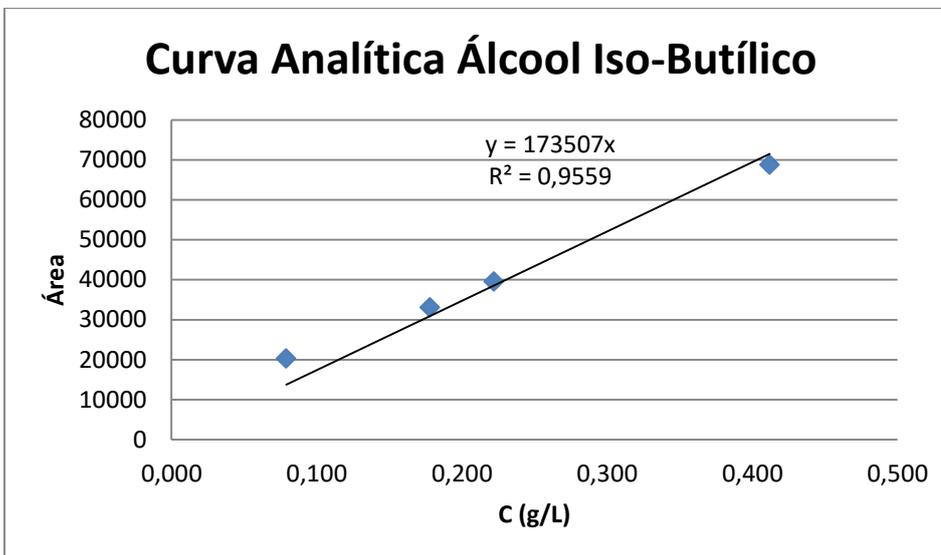
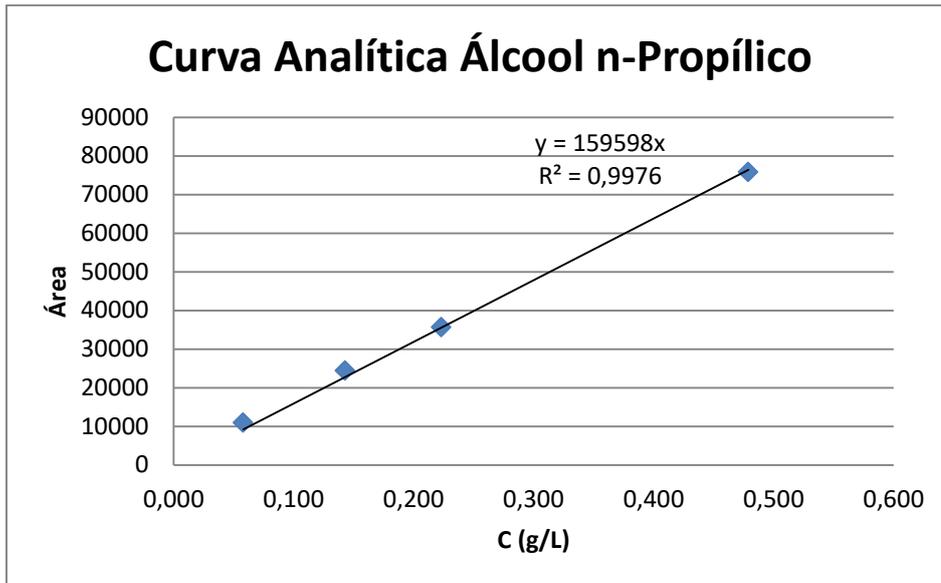
Apêndice II – Curvas Analíticas

Curva Analítica Refratômetro Digital

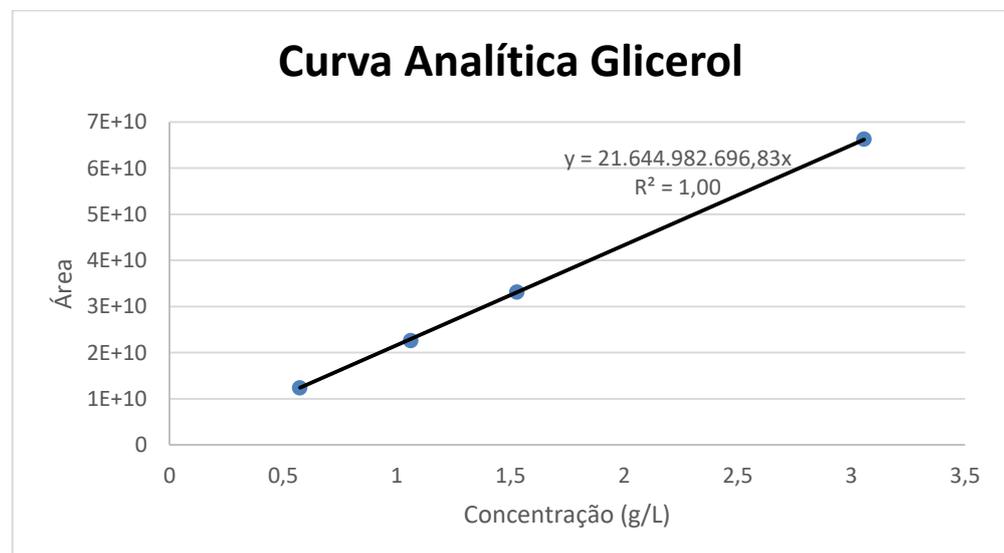
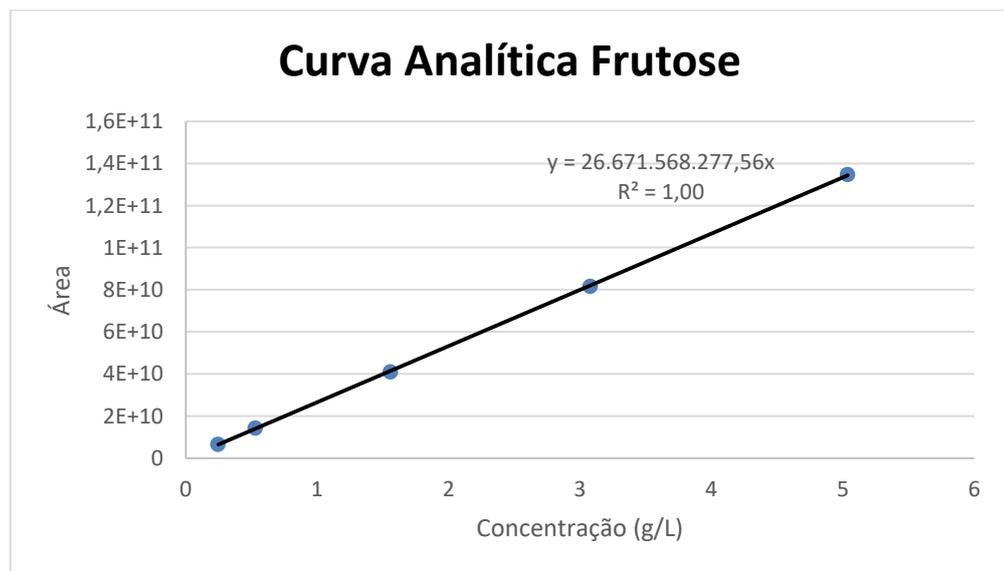
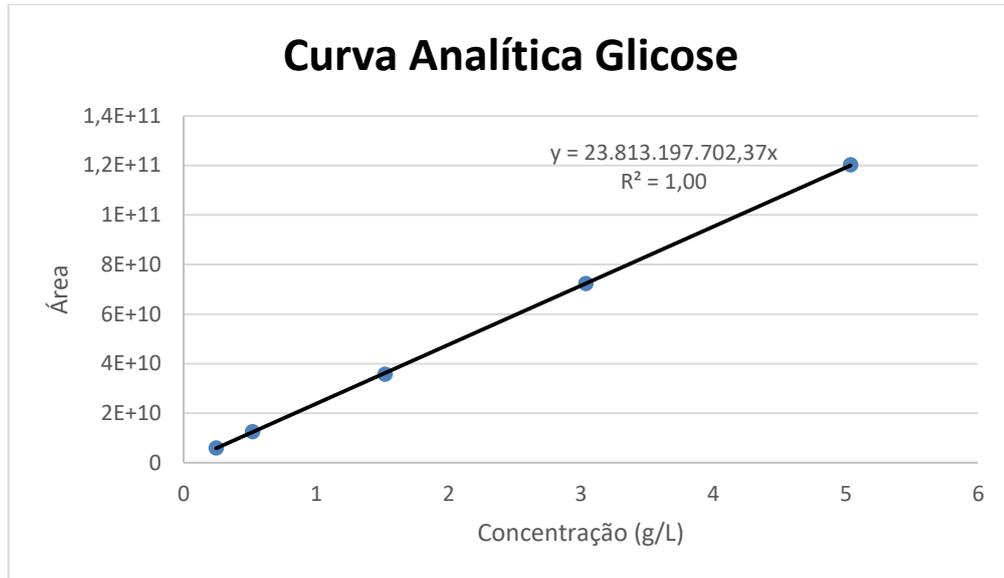


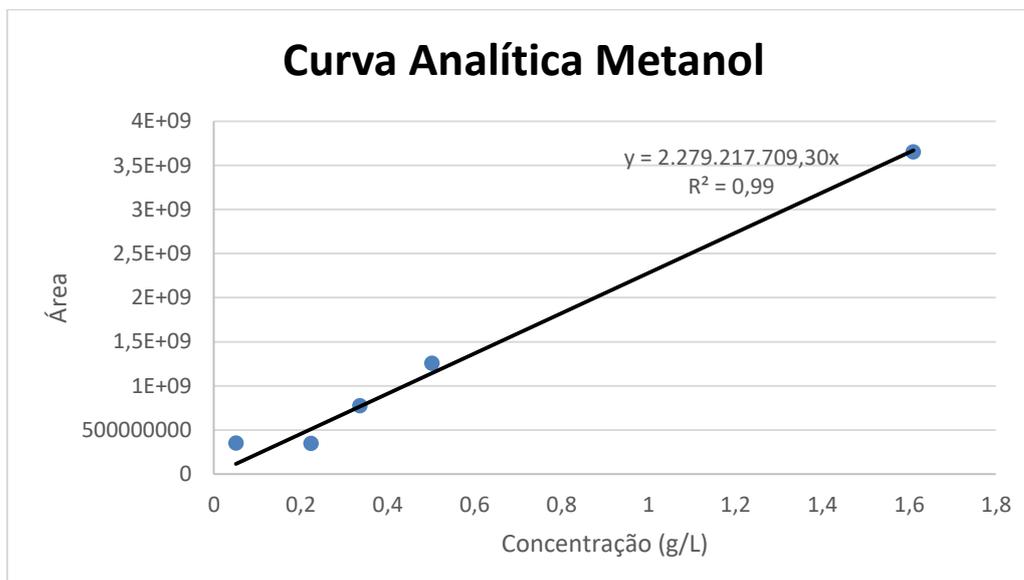
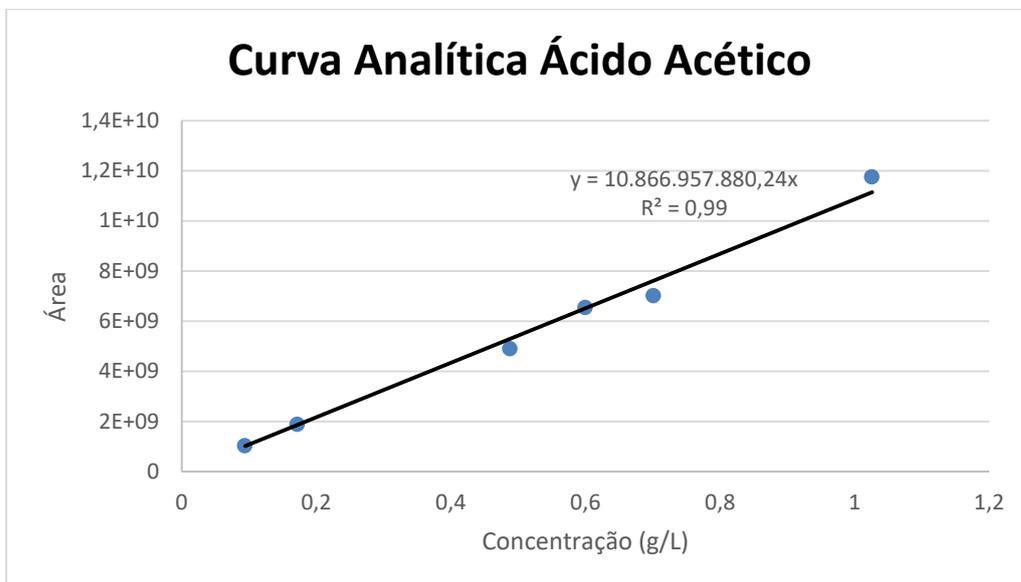
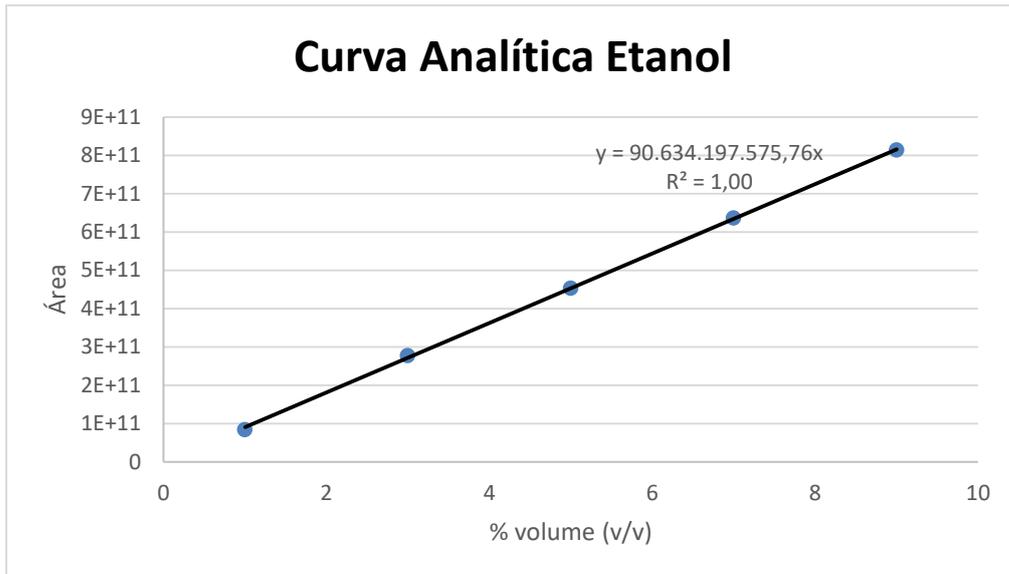
Curvas Analíticas GC

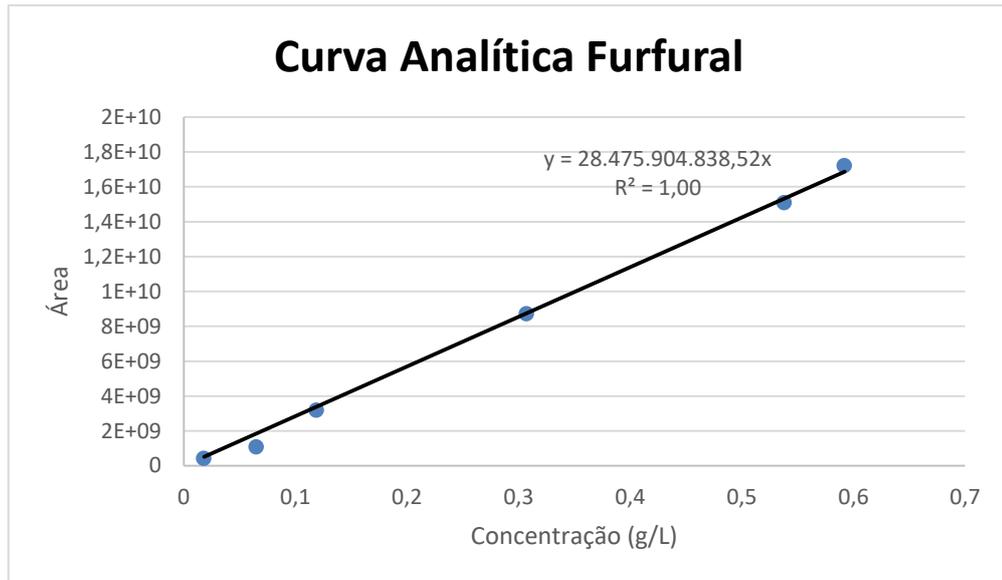




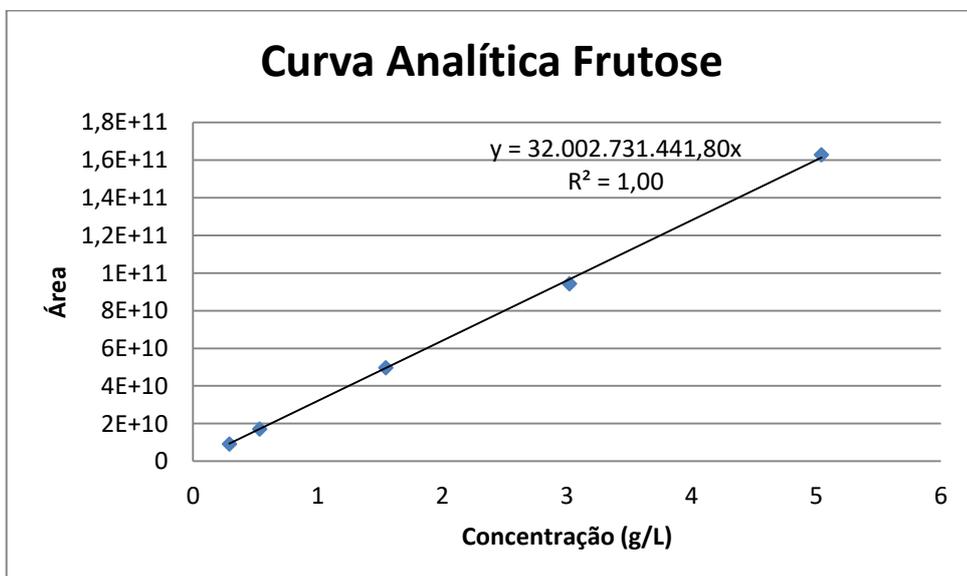
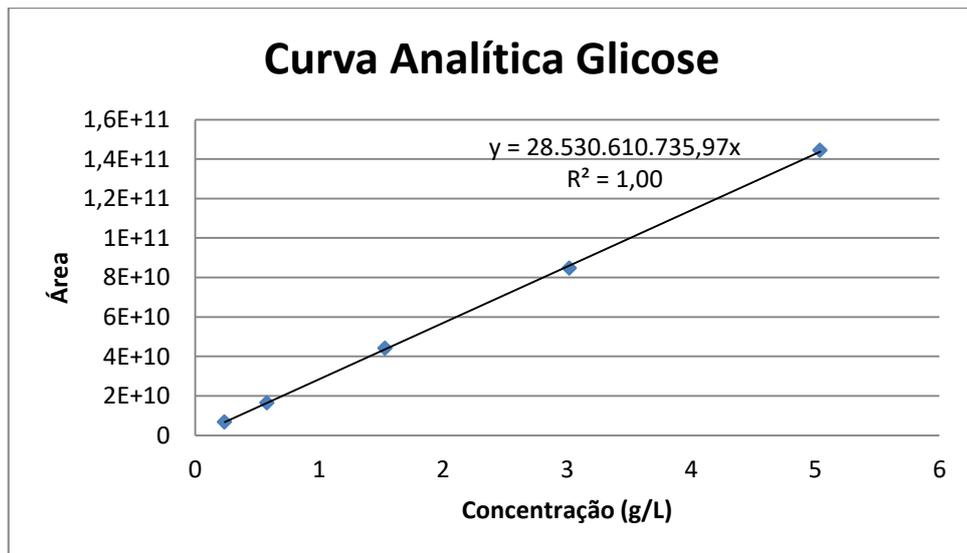
Curvas analíticas HPLC

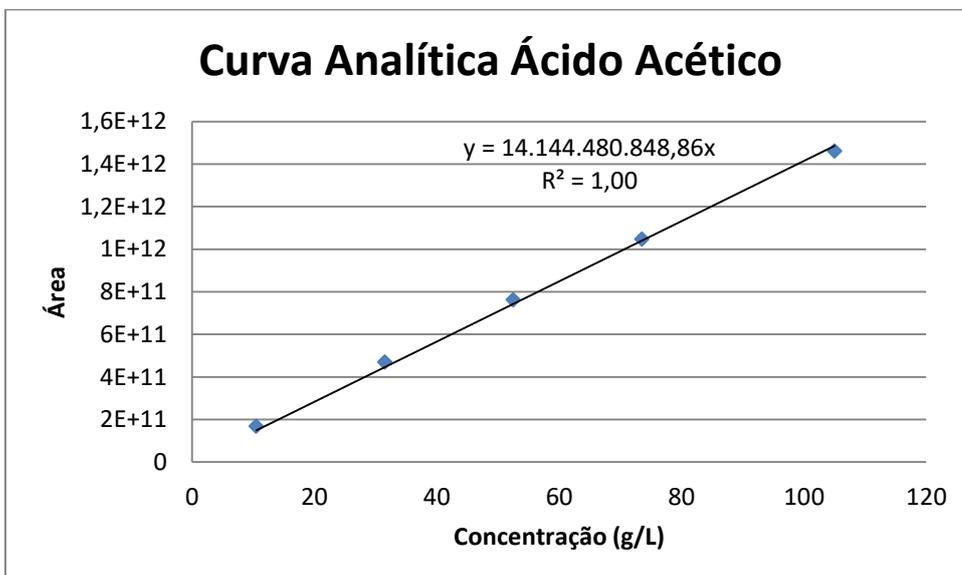
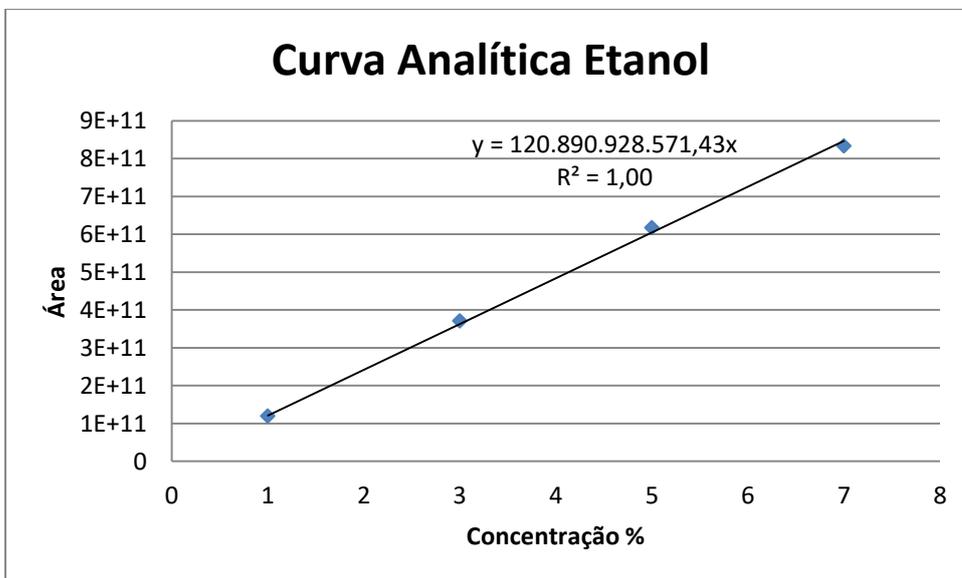
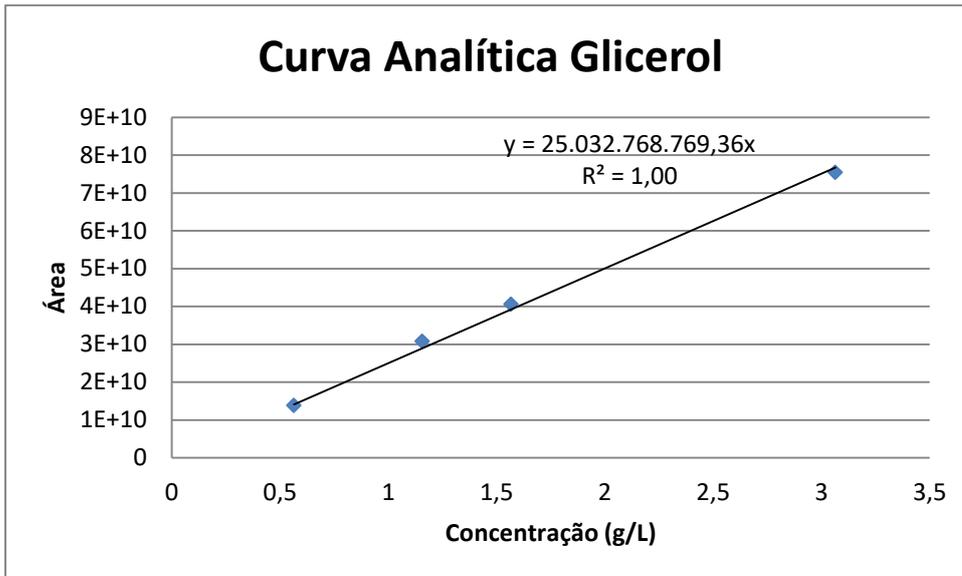


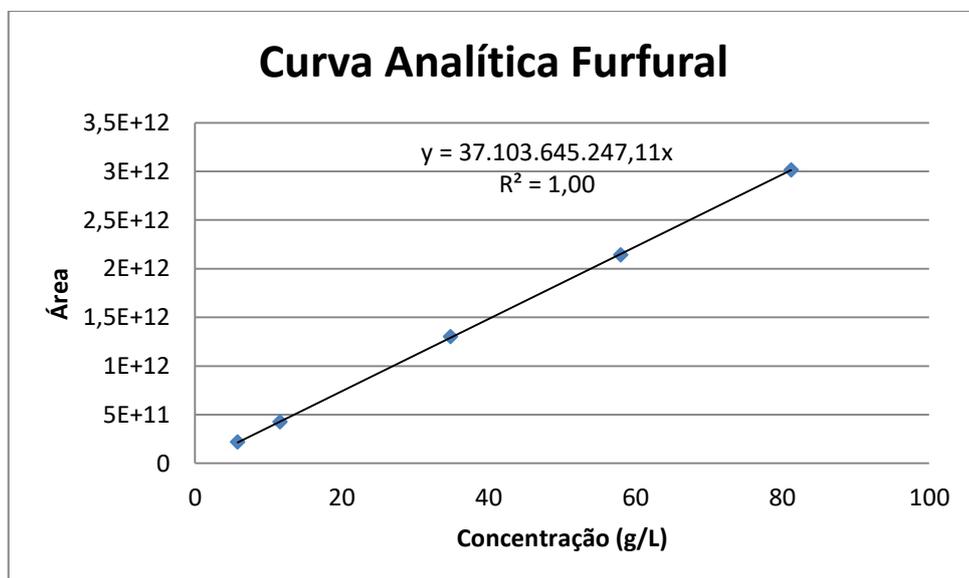
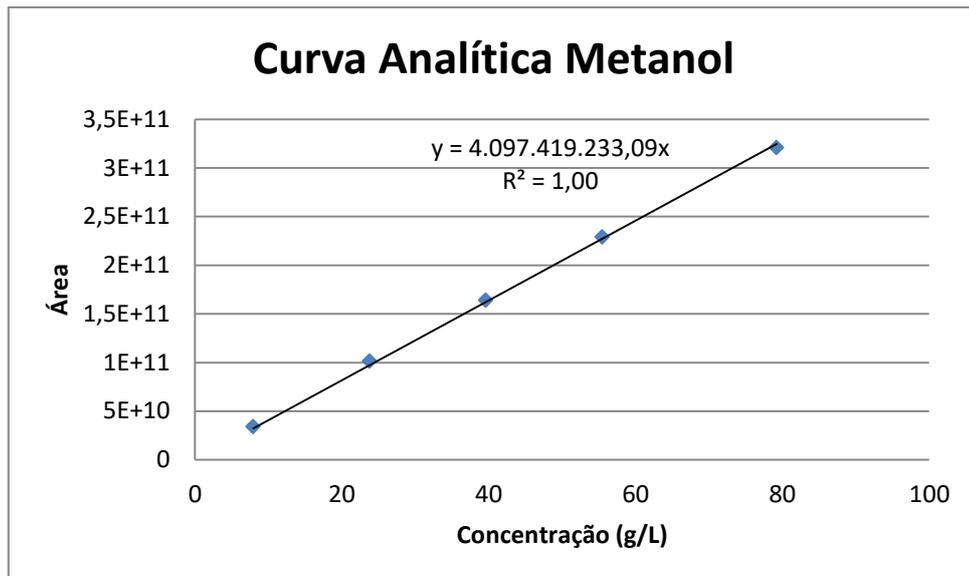




Novas curvas analíticas HPLC







Apêndice III – Fichas Técnicas de Equipamentos

Envasadora Gravimétrica Linear Inox com Tampador – IMSB ROBOPAC



O equipamento se destaca devido ao seu grande potencial de vazão e nível de enchimento constante, o processo de envase é realizado através de válvulas de conceito gravimétrico e possui tanque reservatório com capacidade para até 200 litros.

Com aplicação para produtos líquidos a viscosos, em frascos plásticos, vidro ou metálicos. O equipamento possui versatilidade para envasar frascos de até 5 litros.

Estrutura principal confeccionada em aço carbono com revestimento em aço inox ou polímero, sendo que todas as partes em contato com o produto são confeccionadas em aço inoxidável 304 ou 316L, com acabamento sanitário.

Versatilidade para atender produções conforme a necessidade de cada cliente, através da adequação e customização de projetos. Equipamentos desenvolvidos e projetados para atender a indústria alimentícia, cosmética, farmacêutica, saneante, química, entre outras.

CARACTERÍSTICAS GERAIS

Permite aplicação para frascos de diferentes volumes e geometria através de pequenos ajustes e simples setup.

O conceito de envase gravimétrico proporciona excelente precisão de envase. Porém a velocidade é variável em função das características do produto a ser envasado;

Esteira construída em aço inox com corrente em acetal. Com calha de coleta de líquido. As transferências entre transportadores são realizadas através de esteiras lado a lado para evitar queda de frascos.

Altura da esteira standard: 1000 mm \pm 50 mm;

Sistema bloqueador de frascos: sistema composto por sensores de detecção de frascos, um bloqueador de frasco na entrada e um bloqueador de frascos na saída. Este sistema monitora a quantidade e a posição dos frascos que entram no equipamento para liberar o processo de envase. A posição dos sensores e bloqueadores pode requerer ajuste no setup, conforme modelo e dimensões de frascos. O sistema bloqueador é dispensável quando aplicado o opcional Rosca sem fim para entrada de frascos.

FUNCIONAMENTO

Os frascos entram no equipamento através da esteira de entrada do equipamento, desta forma o número relativo ao número de válvulas do equipamento é bloqueado e fica posicionado para ser envasado. Neste momento um segundo dispositivo bloqueia a entrada dos demais frascos.

Em seguida o centrador de gargalo avança e centra a válvula com o frasco, desta forma as válvulas de envase descem por meio pneumático até o gargalo do frasco abrindo e liberando o escoamento do produto. Ao atingir o volume desejado as válvulas recuam e cortam o fluxo instantaneamente. Neste momento o bloqueador de frascos abre e libera a saída da envasadora, ao mesmo tempo a calha coletora de pingos avança para recolher eventuais pingos. Imediatamente a saída dos frascos novos frascos entram na envasadora fazendo o ciclo repetidamente.

TANQUE RESERVATÓRIO E VÁLVULAS

O tanque é produzido em aço inox AISI 304 com acabamento sanitário.

A tampa do tanque do tanque é encaixada ou vedada quando o produto espuma.

O tanque possui controle de nível por um mecanismo com boia, ou seja, quando o nível é baixo, este mecanismo aciona um sensor indutivo o qual emite um sinal para abrir o atuador pneumático de entrada de líquido.

As válvulas são confeccionadas em aço inox AISI 304 e aço inox AISI 316L com todas as vedações em viton, fazendo com que a manutenção seja rápida e prática. Extraíndo um grampo apenas é possível separar todas as peças e visualizar todas as vedações. As mesmas possuem um ângulo padrão na extremidade inferior para que o enchimento seja uniforme e suave. Nesta mesma posição está localizado um anel com a finalidade de vedação total da válvula, evitando com que haja gotejamento na área neutra de enchimento. Possuem uma capa externa roscada para regulagem fina do volume.

QUADRO DE COMANDOS E CABINE

O quadro de comandos do equipamento possui IHM com display para ajuste de tempos de operações da envasadora. No quadro possuem botoeiras para ajuste de velocidades e operações passo a passo e automáticas. Inversor, IHM, disjuntores e contadoras estão posicionadas no quadro de comando. Todos movimentos de lógicas, como paradas ou acionamentos são comandados pelo quadro de comando do equipamento.

A tensão de alimentação é definida conforme o local de instalação.

A cabine é fabricada em inox AISI 304 com fechamento e portas em vidro temperado. Fechadura magnética e micros de segurança em todas as portas, ao abrir uma das portas a máquina interrompe a operação, sendo necessário ressetar para colocá-la em operação novamente.

OUTRAS CARACTERÍSTICAS

Regulagem de altura para troca de frascos com acionamento manual por manivela.

Pés ajustáveis para nivelar a máquina em aço inox com regulagem de até 80mm.

Todos os equipamentos lineares possuem troca rápida do centrador de Frascos para operar com vários tipos de vasilhames, independente de seu formato. O tempo para troca de set up é de até 20 minutos.

Head Space Mínimo: 3% a 10% do volume (dependendo da geometria do frasco).

Tensão Elétrica: 380V.

Devido a variações nas propriedades dos fluidos, a produção informada poderá apresentar variações de até $\pm 10\%$. Estas propriedades ou características são:

Viscosidade absoluta;

Viscosidade cinemática;

Densidade ou massa específica;

Espumabilidade;

Fluido newtoniano ou não-newtoniano;

Condições do ambiente onde a máquina opera, também podem influenciar na produção. Como por exemplo, temperatura, umidade e pressão atmosférica.

Kit para frascos: sistema divisor para realizar a centralização dos gargalos em relação ao bico de envase. Este item possui acionamento pneumático e opera de forma sincronizada a entrada de frascos e sistema de envase. O Kit é identificado conforme formato e volume do frasco, sendo necessário sua troca através de manípulos.

Rotuladora Automática de Bancada RB 1000 – FALCO MÁQUINAS**DESCRIÇÃO DO EQUIPAMENTO:**

- Rotuladora Automática, RB1000 em Aço Inox 304 e cabeçotes em alumínio; Comando Eletrônico, contador de produção, programação de Lote, ajustagem de velocidade da esteira.
- 1 Cabeçote de Rotulagem.
- 1 Cabeçote com ajuste de altura para aplicação dos rótulos;
- 1 Cabeçote massageador lateral (Frascos cilíndricos);

INFORMAÇÕES:

- Esteira em PVC, guias laterais ajustáveis;
- Chave elétrica de segurança (Seccionadora);
- Pés niveladores (Vibra Stop) ou Rodízios
- Rótulos: auto-adesivos em bobinas.
- Tipo de frasco: Cilíndricos e Planos
- Capacidade de produção 1000 frascos Hora. Separação manual

Apêndice IV – Cálculos do Balanço de Massa

Cálculo da quantidade de vapor necessária para o cozimento da batata-doce da temperatura ambiente até 76°C:

$$C_p \text{ batata-doce} = 0,38 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$H_{\text{vap}}(392,266\text{kPa ou } 4 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}) = 654,25 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}$$

$$m_{\text{vapor}} \times H_{\text{vap}} = m_{\text{batata-doce}} \times C_p \text{ batata-doce} \times \Delta T$$

$$m_{\text{vapor}} \times 654,25 \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} = 1000\text{kg} \times 0,38 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \times (76^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C})$$

$$m_{\text{vapor}} = 29,62\text{kg}$$