

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE FARMÁCIA**

LETÍCIA MENDONÇA ALVARENGA

**FERMENTADOS ALCOÓLICO E ACÉTICO DE POLPA E CASCA DE
ABACAXI (*Ananas comosus (L.) Merrill*): CINÉTICA DAS
FERMENTAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS**

Belo Horizonte

2014

LETÍCIA MENDONÇA ALVARENGA

**FERMENTADOS ALCOÓLICO E ACÉTICO DE POLPA E CASCA DE
ABACAXI (*Ananas comosus (L.) Merrill*): CINÉTICA DAS
FERMENTAÇÕES E CARACTERIZAÇÃO DOS PRODUTOS**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Ciência de Alimentos da Faculdade de Farmácia da
Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito
parcial à obtenção do título de Doutor em Ciência de
Alimentos.

Área de Concentração: Ciência de Alimentos

Orientadora: Profa. Dra. Evelyn de Souza Oliveira Lopes

Co-orientadora: Profa. Dra. Inayara Cristina Alves Lacerda

Belo Horizonte

2014

FOLHA DE APROVAÇÃO

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, Luiz e Vera, dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo.

Aos meus pais, Luiz e Vera, pelo amor incondicional, pela dedicação, confiança e torcida de sempre. Agradeço ao meu pai, por me ensinar a questionar, por estimular o aprendizado e valorizar o conhecimento. Agradeço a minha mãe, por estar sempre pronta para ajudar, por me acompanhar em qualquer situação e me ensinar a ser feliz.

À minha irmã Raquel, por estar ao meu lado, mesmo quando longe. Agradeço por todas as dicas, traduções, correções, sugestões, conselhos e momentos felizes, principalmente ao lado do Gui!

Ao Beto, por tanto me ouvir e acalmar. Pelo amor, paciência e apoio de todos os dias.

À Ghislaine, pelo exemplo de fé, pela energia positiva e por todas as orações.

Às professoras Evelyn e Inayara, pela orientação e confiança.

Aos amigos e funcionários do Laboratório de Microbiologia Industrial e Biocatálise (LAMIB), Cosme, Roberta, Fernanda, Flávia, Michely, Lu, Bia, Elaine, Ana, Raimunda, Andréa, Carla, Denise, Muri e Vanessa, pelo convívio, amizade e ajuda constante.

Às professoras, funcionárias e estudantes do setor de tecnologia, processos e operações, Cida, Camila, Dani, Silvana, Lúcia, Edna, Paula, Natália e Aline, pelos ensinamentos e amizade.

À Muri, pelo convívio, otimismo, apoio e conselhos. À Flávia, pelas valiosas conversas, dicas e otimizações. À Mariana, pela ajuda na elaboração dos artigos, análises estatísticas e atenção dedicada sempre que precisei.

Às bolós, por participarem da minha vida, mesmo não podendo estar sempre perto, por serem exemplos de mulheres e profissionais, além de amigas insubstituíveis.

Aos professores do Departamento de Alimentos da Faculdade de Farmácia, pela transmissão de conhecimentos e aos funcionários da FAFAR, pelo apoio e serviços prestados.

Aos membros da banca examinadora, Raquel, Cida, Mariana e Flávia, pela disponibilidade, participação e contribuição.

Ao Programa de Pós-Graduação em Ciência de Alimentos (PPGCA), pela oportunidade de realizar o doutorado.

À CAPES- Reuni, pela concessão da bolsa de estudo.

À FAPEMIG pela concessão de fomentos para a realização do projeto.

Ao Instituto Federal Minas Gerais (IFMG), pela concessão da licença e aos servidores do campus Bambuí, pelo apoio oferecido durante todo esse período.

A todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

O Brasil é um grande produtor de frutas, apesar dos elevados índices de perdas. Produtos obtidos por fermentações alcoólica e acética de resíduos e excedentes da produção de frutas são alternativas para minimizar as perdas provenientes da pós-colheita e da indústria. A qualidade de um produto fermentado está relacionada com a sua composição química, a tecnologia empregada no processamento e a matéria-prima utilizada na sua elaboração. Os objetivos deste trabalho foram a avaliação físico-química e termogravimétrica da polpa e do abacaxi integral submetidos a hidrólise enzimática; o aproveitamento do abacaxi e seus resíduos na fermentação alcoólica, o desenvolvimento de um fermentado acético e a avaliação da sua qualidade físico-química. A polpa e o abacaxi integral submetidos e não submetidos à hidrólise enzimática foram analisados por termogravimetria. O meio de fermentação alcoólica utilizado consistiu da polpa de abacaxi adicionada de 0, 10, 20 ou 30% de resíduos (casca) ao mosto. Os fermentados alcoólicos de abacaxi com adição de 10% de casca e sem adição de casca, submetidos à hidrólise enzimática foram analisados quanto à acidez, teor de sólidos solúveis totais, pH, teor alcoólico e compostos voláteis. Os fermentados alcoólicos com adição de 10 e 30% de casca foram utilizados como mosto para a fermentação acética. Utilizou-se o processo lento para a obtenção dos fermentados acéticos, nos quais foram determinados os teores de fenólicos totais, atividade antioxidante e principais compostos voláteis. A hidrólise enzimática aumentou o rendimento de suco extraído de abacaxi, tanto da sua polpa (8,84%) quanto da fruta integral (19,65%). As curvas de perda de massa de polpa de abacaxi hidrolisada e não hidrolisada obtidas pela termogravimetria foram similares. O efeito da hidrólise enzimática foi mais acentuado nas amostras integrais. A hidrólise enzimática favoreceu as condições de fermentação alcoólica. Os melhores rendimentos em etanol foram obtidos nas fermentações dos mostos com adição de 10% de casca hidrolisada e sem adição de casca. O fermentado alcoólico obtido do abacaxi integral (30% de casca) hidrolisado não diferiu significativamente do mosto com 20% de casca hidrolisada em relação a todos os parâmetros cinéticos avaliados. Todos os compostos voláteis determinados nos fermentados alcoólicos de abacaxi ficaram dentro dos limites recomendados. A

adição de 10% de casca ao mosto de abacaxi não interferiu na qualidade físico-química do fermentado alcoólico. Os fermentados acéticos obtidos apresentaram-se com teor alcoólico inferior a 1°GL e acidez volátil superior a 4% (v/v) e ficaram dentro dos limites da legislação brasileira. Os teores de compostos fenólicos totais variaram de 10,20 a 21,85 mg de catequina por 100 mL de amostra, sendo predominante nos fermentados acéticos obtidos a partir de mostos adicionados de casca de frutas. Os valores de atividade antioxidante encontrados nos fermentados acéticos de abacaxi com adição de 10 e 30% de casca foram 30,27 e 49,31 $\mu\text{Mol TEAC.mL}^{-1}$, respectivamente. A obtenção de vinagre a partir de abacaxi mostrou-se como boa alternativa para o aproveitamento de resíduos do processamento desta fruta e complementação de renda de pequenos produtores rurais.

Palavras-chave: Abacaxi; cascas; hidrólise enzimática; fermentação alcoólica; fermentação acética; vinagre; compostos voláteis

ABSTRACT

Brazil is a major producer of fruits, despite high loss rates. Products obtained from alcoholic and acetic fermentation using fruit's residue are alternatives to minimize losses from post-harvest and industry. The quality of product fermented is related to its chemical composition, the technology used in processing and the raw material used in its preparation. The objectives of this work were to evaluate the physicochemical and thermal gravimetric pulp and integral pineapple undergo enzymatic hydrolysis; the use of pineapple and its residues in alcoholic fermentation; the development of a pineapple vinegar and evaluation of their physical chemical quality. The pulp and whole pineapple submitted and not submitted to enzymatic hydrolysis were analyzed by thermogravimetry. Fermentation experiments were conducted with addition to 0, 10, 20 or 30 % of peels into the pulp. Pineapples alcoholic fermented with addition of 10 % and without the addition of peel submitted to enzymatic hydrolysis were analyzed for acidity, soluble solids, pH, alcohol and volatile compounds. Alcoholic fermentation with 10 and 30 % of peels was used as must to acetic fermentation. Were used the slow process to obtain the acetic fermentation which we determined the contents of total phenolics, antioxidant activity and major volatile compounds. Enzymatic hydrolysis increased the yield of extracted juice from pineapple, both in pulp (8.84%) and whole fruit (19.65%). The curves of weight loss hydrolyzed from pineapple pulp hydrolyzed and not hydrolyzed obtained by thermogravimetry were similar. The effect of enzymatic hydrolysis was more pronounced in full samples. Enzymatic hydrolysis improved the conditions of alcoholic fermentation. The best ethanol yields were obtained in musts fermentation with addition of 10% hydrolyzed peels and without adding peels. The pineapple alcoholic fermented (30 % peel) did not differ significantly from hydrolyzed must with 20 % hydrolyzed peel for all the evaluated kinetic parameters. All compounds determined in fermented pineapple were within recommended limits. The addition of 10% of pineapple peel did not affect physico-chemical quality of fermented alcoholic. The acetic fermentation obtained presented with a lower alcohol content 1 °GL and volatile acidity higher than 4 % (v/v) and were within the limits of Brazilian legislation. The content of phenolic compounds ranged from 10.20 to 21.85 mg of catechins per

100 mL of sample, being predominant in fermented acetic obtained from fruit peel added. The antioxidant activity values found in pineapple acetic fermented with 10 to 30 % of skin addition were 30.27 and 49.31 $\mu\text{Mol TEAC.mL}^{-1}$, respectively. The obtaining vinegar from pineapple peels showed to be good alternative for utilization of processing fruits residues and supplementary income for small farmers.

Keywords: Pineapple; residues; enzymatic hydrolysis; alcoholic fermentation; acetic fermentation; vinegar; volatile compounds

LISTA DE FIGURAS

Capítulo 1

Figura 1 - Esquema frontal (a) e em corte longitudinal (b) das partes componentes do abacaxi 23

Figura 2 - Reação simplificada da fermentação alcoólica 32

Figura 3 - Reação simplificada da fermentação acética 37

Capítulo 2

Figura 1 - Abacaxi descascado (a) e abacaxi integral (b) 63

Figura 2 - Esquema de operações sucessivas na divisão de amostras de abacaxi 63

Figura 3 - Amostra integral hidrolisada (a) e amostra não hidrolisada (b) 66

Figura 4 - Perda de massa de abacaxi integral (AI) e abacaxi integral hidrolisado (AIH) 68

Figura 5 - Perda de massa de polpa de abacaxi (PA), polpa de abacaxi hidrolisada (PAH) 70

Capítulo 3

Figura 1 - Desprendimento de CO₂ durante a fermentação de abacaxi 91

Figura 2 - Consumo de açúcares redutores totais durante a fermentação de abacaxi 91

Figura 3 - Produção de etanol durante a fermentação de abacaxi 92

Capítulo 4

Figura 1 - Recipientes utilizados na fermentação acética de fermentados alcoólicos. 110

Figura 2 - Processamento de fermentado acético de abacaxi em escala de bancada 112

Figura 3 - Fermentados acéticos de abacaxi com e sem adição de cascas 116

Figura 4 - Teores de etanol, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e pH durante a fermentação acética de polpa de abacaxi adicionada de 10% de casca 117

Figura 5 - Teores de etanol, acidez total titulável, sólidos solúveis totais 117

e pH durante a fermentação acética de polpa de abacaxi adicionada de 30% de casca

APÊNDICE A

Capítulo 2

| | |
|---|-----|
| Figura 2.1- Análise Térmica Diferencial (DTA) da polpa de abacaxi | 140 |
| Figura 2.2 - Análise Térmica Diferencial (DTA) da polpa hidrolisada | 140 |
| Figura 2.3 - Análise Térmica Diferencial (DTA) do abacaxi integral | 141 |
| Figura 2.4 - Análise Térmica Diferencial (DTA) do abacaxi integral hidrolisado | 141 |

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Classificação e denominação dos fermentados acéticos | 39 |
|--|----|

Capítulo 2

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Enzimas utilizadas e condições de hidrólise enzimática | 64 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Tabela 2 - Teor de polpa de abacaxi e abacaxi integral | 66 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Tabela 3 - Caracterização de abacaxi submetidos e não submetidos à hidrólise enzimática | 71 |
|--|----|

Capítulo 3

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Subdivisão das amostras de abacaxi | 81 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Tabela 2 - Enzimas utilizadas e condições de hidrólise enzimática | 81 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Tabela 3 - Açúcares redutores totais e acidez titulável total no início e final da fermentação | 87 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Tabela 4 - Média dos parâmetros cinéticos da fermentação de abacaxi | 89 |
|--|----|

| | |
|---|----|
| Tabela 5 - Análises físico-químicas do fermentado de abacaxi | 93 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| Tabela 6 - Análises físico-químicas do fermentado alcoólico de abacaxi e fermentados alcoólicos encontrados na literatura | 96 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| Tabela 7 - Compostos secundários do fermentado de abacaxi | 97 |
|--|----|

Capítulo 4

| | |
|---|-----|
| Tabela 1 - Balanço geral e por componente para o ajuste do teor de acidez e teor alcoólico | 111 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Tabela 2 - Balanço geral e por componente para o ajuste do teor de acidez e teor alcoólico | 111 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Tabela 3 - Etanol, acidez total titulável e acidez volátil no tempo inicial e final da fermentação acética | 118 |
|---|-----|

| | |
|--|-----|
| Tabela 4 - Teores de etanol e acidez volátil dos fermentados de abacaxi e padrão de acidez volátil e teor de etanol para fermentados acéticos simples, duplo e triplo | 120 |
|--|-----|

| | |
|--|-----|
| Tabela 5 - Parâmetros cinéticos da fermentação acética de abacaxi | 121 |
|--|-----|

| | |
|---|-----|
| Tabela 6 - Teor de compostos fenólicos totais em fermentados alcoólicos e acéticos | 123 |
|---|-----|

| | |
|---|-----|
| Tabela 7 - Fenólicos totais em pesquisas de diferentes autores | 124 |
| Tabela 8 - Atividade antioxidante de fermentados alcoólicos e acético obtidos de polpa e casaca de abacaxi | 125 |
| Tabela 9 - Principais compostos voláteis de fermentados acéticos de polpa de abacaxi adicionados de 10 e 30% de casca | 128 |
| APÊNDICE B | |
| Capítulo 5 | |
| Tabela 5.1 - Média dos teores de etanol, acidez, pH e Brix durante a fermentação acética de polpa de abacaxi com 10% de adição de casca | 142 |
| Tabela 5.2 - Média dos teores de etanol, acidez, pH, e Brix durante a fermentação acética de polpa de abacaxi com 30% de adição de casca | 142 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|---------|---|
| ADH | Álcool desidrogenase |
| AI | Abacaxi integral não hidrolisado |
| AIH | Abacaxi Integral hidrolisado |
| ALDH | Aldeído desidrogenase |
| ANOVA | Análise de Variância |
| AOAC | Association of Official Agricultural Chemists |
| ART | Açúcar Redutor Total |
| ATP | Adenosina Trifosfato |
| ATT | Acidez Total Titulável |
| CG/FID | Cromatografia Gasosa com Detector de Ionização de Chama |
| DNS | Ácido 3,5 dinitrossalicílico |
| DPPH | 2,2-difenil-1-picrilhidrazil |
| DTA | Análise Térmica Diferencial |
| DTG | Termogravimetria derivada |
| EMBRAPA | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária |
| FAO | Food and Agriculture Organization |
| HCl | Ácido Clorídrico |
| IAL | Instituto Adolfo Lutz |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística |
| IBRAF | Instituto Brasileiro de Frutas |
| MAPA | Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento |

| | |
|-------------------|--|
| MG | Minas Gerais |
| MA ₀ | Mosto de abacaxi sem adição de casca |
| MAH ₀ | Mosto de abacaxi hidrolisado e sem a casca |
| MA ₁₀ | Mosto de abacaxi com 10% de casca adicionada |
| MAH ₁₀ | Mosto de abacaxi com 10% de casca adicionada e hidrolisado |
| MA ₂₀ | Mosto de abacaxi com 20% de casca adicionada |
| MA ₃₀ | Mosto de abacaxi com 30% de casca adicionada |
| MAH ₃₀ | Mosto de abacaxi com 30% de casca adicionada e hidrolisado |
| NAD | Nicotinamida adenina dinucleotídeo |
| NADH | Nicotinamida adenina dinucleotídeo desidrogenase |
| PA | Polpa de abacaxi não hidrolisada |
| PAH | Polpa de abacaxi hidrolisada |
| pH | Potencial hidrogeniônico |
| ppm | partes por milhão |
| SST | Sólidos Solúveis Totais |
| TEAC | Trolox equivalent antioxidant capacity |
| TG | Termogravimetria |
| UFMG | Universidade Federal de Minas Gerais |
| UQ | Ubiquinona |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|-------------------------------------|--------------------------|
| α | alfa |
| β | beta |
| Al_2O_3 | alumina |
| $^\circ\text{Brix}$ | graus Brix |
| cm | centímetro |
| $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ | etanol |
| CO_2 | gás carbônico |
| $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ | glicose |
| CH_3CHO | acetaldeído |
| CH_3COOH | ácido acético |
| $\text{C}_3\text{H}_4\text{O}_3$ | piruvato |
| $^\circ\text{C}$ | graus Celsius |
| g | grama |
| $^\circ\text{GL}$ | graus Gay-Lussac |
| $\text{g } 100 \text{ mL}^{-1}$ | grama por cem mililitros |
| g h^{-1} | grama por hora |
| g L^{-1} | grama por litro |
| $\text{g L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ | grama por litro por hora |
| kg | kilograma |
| L | litro |
| m v^{-1} | massa por volume |
| mg | miligrama |
| mg L^{-1} | miligrama por litro |
| mm | milímetro |
| meq | miliequivalente |
| nm | nanômetro |

| | |
|---|-------------|
| t | tonelada |
| % | porcentagem |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| Capítulo 1 | 22 |
| 1. Revisão de literatura | 22 |
| 1.1. Abacaxi (<i>Ananas comosus (L.) merril</i>) | 22 |
| 1.2. Resíduos agroindustriais | 25 |
| 1.3. Hidrólise enzimática | 27 |
| 1.4. Termogravimetria | 30 |
| 1.5. Fermentação alcoólica | 31 |
| 1.5.1. Fermentados alcoólicos obtidos a partir de frutas e seus resíduos | 33 |
| 1.6. Fermentação acética | 35 |
| 1.6.1. Fermentados acéticos obtidos de frutas | 38 |
| 1.6.2. Processos de obtenção do fermentado acético | 40 |
| 1.7. Compostos secundários de vinagres | 42 |
| 1.8. Propriedades biológicas do vinagre | 43 |
| 1.9. Compostos fenólicos e sua atividade antioxidante | 45 |
| 2. Referências bibliográficas | 48 |
| | |
| Capítulo 2. Avaliação físico-química e termogravimétrica da polpa e do abacaxi integral submetidos a hidrólise enzimática | 60 |
| 1. Introdução | 60 |
| 2. Material e Métodos | 62 |
| 2.1. Matéria-prima | 62 |
| 2.2. Métodos | 62 |
| 2.2.1. Higienização das frutas | 62 |
| 2.2.2. Processamento da matéria-prima e hidrólise enzimática | 62 |
| 2.2.3. Termogravimetria | 65 |
| 2.2.4 Análises físico-químicas | 65 |
| 2.2.5. Análise estatística | 65 |

| | |
|---|-----------|
| 3. Resultados e Discussão | 66 |
| 3.1. Hidrólise enzimática | 66 |
| 3.2. Termogravimetria | 67 |
| 3.3. Análises físico-químicas | 71 |
| 4. Conclusão | 73 |
| 5. Referências Bibliográficas | 74 |
| | |
| Capítulo 3. Fermentação alcoólica de polpa de abacaxi com e sem adição de casca: Cinética da fermentação e compostos secundários | 77 |
| 1. Introdução | 78 |
| 2. Material e Métodos | 80 |
| 2.1. Material | 80 |
| 2.2. Métodos | 80 |
| 2.2.1. Processamento da matéria-prima e hidrólise enzimática | 80 |
| 2.2.2. Fermentação alcoólica | 82 |
| 2.2.3. Análises físico-químicas | 82 |
| 2.2.4. Cálculo dos parâmetros cinéticos da fermentação | 84 |
| 2.2.5. Acompanhamento da fermentação e produção de CO ₂ | 84 |
| 2.2.6. Determinação dos compostos voláteis | 85 |
| 2.2.7. Análise estatística | 86 |
| 3. Resultados e Discussão | 86 |
| 3.1. Análises físico-químicas | 88 |
| 3.2. Parâmetros cinéticos da fermentação | 88 |
| 3.3. Determinação dos compostos voláteis | 96 |
| 4. Conclusão | 100 |
| 5. Referências bibliográficas | 101 |

| | |
|--|-----|
| Capítulo 4. Fermentado acético de abacaxi: Produção, qualidade físico-química, teor de fenólicos totais, atividade antioxidante e principais compostos voláteis | 107 |
| 1. Introdução | 108 |
| 2. Material e Métodos | 108 |
| 2.1. Processamento | 108 |
| 2.2. Análises físico-químicas | 112 |
| 2.3. Rendimento da fermentação acética | 113 |
| 2.4. Compostos Fenólicos | 114 |
| 2.5. Determinação da atividade antioxidante | 114 |
| 2.6. Determinação dos compostos voláteis | 115 |
| 2.7. Análise estatística | 115 |
| 3. Resultados e Discussão | 116 |
| 3.1. Análises físico-químicas e rendimento da fermentação | 118 |
| 3.2. Compostos fenólicos e atividade antioxidante | 122 |
| 3.3. Análises cromatográficas | 127 |
| 4. Conclusão | 131 |
| 5. Referências bibliográficas | 132 |
| Conclusão integrada | 139 |
| APÊNDICE A | 140 |
| APÊNDICE B | 142 |

Capítulo 1

1. Revisão de literatura

1.1. Abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merril)

O abacaxi (*Ananas comosus* (L.) Merril) é uma das principais frutas brasileiras e está presente o ano todo no mercado nacional. A produção de frutas no Brasil superou 43 milhões de toneladas em 2010, sendo que a produção de abacaxi foi de 256 mil toneladas em 2008 e aproximadamente 225 mil toneladas em 2010. Já em 2011, a produção nacional da fruta superou em 7,3 % a produção do ano de 2010 (IBRAF, 2010). A produção de abacaxi no país chegou a 1652,1 milhões de frutos em 2012, sendo 31,5 % produzidos na região Sudeste. No Brasil, as regiões Nordeste, Sudeste e Norte respondem por mais de 93 % da produção brasileira de abacaxi. Em 2013, o Brasil produziu 1,5 milhões de toneladas da fruta (IBGE, 2013).

No cenário nacional, o abacaxi produzido em Minas Gerais se destaca com grande volume de produção, ultrapassando os 250 milhões de frutos, o que confere ao estado, a posição de terceiro maior produtor brasileiro. A área plantada em produção é de 8,6 mil hectares. A produtividade média chega a quase 30 mil frutos/ha, superando a média brasileira. Minas Gerais se destaca também, por plantar as duas principais cultivares que atendem ao mercado interno e externo, tanto para mesa como para indústria, o abacaxi *pérola* e o *smooth cayenne* (IBGE, 2013; FAO, 2013).

Em 2008, a exportação de abacaxi na forma de fruta fresca foi de 32, 6 mil toneladas e de fruta processada totalizou 6,62 mil toneladas, das quais 1,29% corresponderam à fruta processada na forma de polpa e 98,71% na forma de suco (IBRAF, 2010).

O abacaxi é um fruto de grande aceitação pelo seu aroma e sabor, consumido em todo mundo, sendo rico em açúcares, sais minerais e vitaminas (GONÇALVES, 2000). O sabor e o aroma característicos do abacaxi são

atribuídos à presença e aos teores de diversos constituintes químicos, ressaltando entre eles os açúcares e os ácidos responsáveis pelo sabor, e compostos voláteis associados ao aroma (CARVALHO e BOTREL, 1996).

O fruto possui formato normalmente cilíndrico ou ligeiramente cônico, constituído por 100 a 200 pequenas bagas ou frutinhos fundidos entre si sobre o eixo central ou coração, formado por várias flores que iniciam seu desenvolvimento na base do fruto e progride em espiral até o ápice (THE, 2001). As partes componentes do abacaxi estão apresentadas na **Figura 1**.

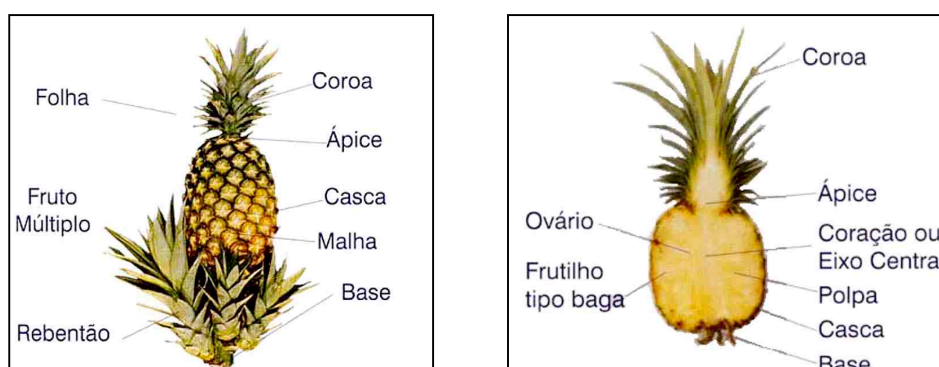


Figura 1 - Esquema frontal (a) e em corte longitudinal (b) das partes componentes do abacaxi. Fonte: FAEP (2008) apud FACUNDO, 2009.

A polpa do abacaxi apresenta cor branca, amarela ou laranja-avermelhada. Seu peso médio é de 1,450 kg por fruto, onde somente 22,5 % correspondem à polpa comestível e utilizada pelas indústrias. Entretanto, pode ocorrer significativa variação de peso, dependendo da cultivar (BOTELHO *et al.*, 2002; FACUNDO, 2009).

O abacaxi (*Ananas comosus* (L.) merril) está entre as frutas com maior cultivo no Brasil, sendo considerada uma das mais importantes frutas tropicais do mundo, com grande demanda no mercado frutícola. Isso favorece o desenvolvimento econômico e social do país com a geração de emprego e renda (BENGOZI *et al.*, 2007; RAMALHO *et al.*, 2009).

O abacaxizeiro é cultivado em quase todos os estados brasileiros e, nos últimos anos, a área plantada teve um crescimento significativo. A cultura brasileira do abacaxi destaca-se em duas cultivares: a *Pérola*, entre as regiões de maior cultivo está o Nordeste brasileiro, e a *Smooth Cayenne*, cultivada em menor escala na Região Sudeste (RAMALHO *et al.*, 2009; CUNHA, 2010). Entre os estados brasileiros, Paraíba e Bahia estão entre os maiores produtores desse fruto (ROGERIO *et al.*, 2007).

Dentre as cultivares mais exploradas em todo mundo destacam-se: *smooth cayenne*, *singapore spanish*, *queen*, *red spanish*, *pérola* e *perolera* (GONÇALVES, 2000).

A cultivar *pérola* é também conhecida como Branca de Pernambuco, caracteriza-se por apresentar plantas eretas, folhas longas providas de espinhos, pedúnculos longos, numerosos filhotes e poucos rebentões. O fruto é cônico com casca amarelada, polpa branca, pouco ácida, suculenta, saborosa, com peso médio entre 1,0 e 1,5 kg (DA CUNHA *et al.*, 1994).

Melo *et al.* (2010) afirmam que o processamento do abacaxi ocasiona alterações químicas, físicas e sensoriais, fazendo com que se tenha perdas nutricionais, ocorrendo também alterações provocadas por reações enzimáticas e não enzimáticas. Por esse motivo, a escolha dos equipamentos e dos métodos para processamento é fundamental para a manutenção de suas características de qualidade.

Em um estudo realizado por Botelho *et al.* (2002), cujo objetivo era a caracterização de fibras alimentares da casca e do cilindro central do abacaxi, concluiu-se que tanto a casca como o cilindro central do abacaxi podem ser considerados boas fontes de fibras alimentares se tratando de celulose, hemicelulose e lignina. Na casca do fruto, foram encontrados 1,1; 2,7 e 4,2 % e no cilindro central 0,7; 1,0 e 1,1 % de lignina, celulose e hemicelulose, respectivamente. O teor médio de pectina encontrado para a casca de abacaxi foi 321,01 mg 100 g⁻¹ e para o cilindro central foi 276,75 mg 100 g⁻¹.

Gondim *et al.* (2005), em um estudo sobre composição centesimal e de minerais em cascas de frutas, entre elas a casca do abacaxi, concluíram que, no geral, as cascas das frutas apresentam teores de nutrientes superiores aos das suas respectivas partes comestíveis, indicando as mesmas como uma fonte alternativa de nutrientes.

1.2. Resíduos agroindustriais

Nos últimos anos, especial atenção vem sendo dada para minimização ou aproveitamento de resíduos gerados nos diferentes processos industriais (COELHO *et al.*, 2001, ROGERIO *et al.*, 2007; SOUSA *et al.*, 2011; MENDES, 2013). De cada 100 caixas de produtos agrícolas colhidos, apenas 61 chegam à mesa do consumidor e 60% do lixo urbano produzido é de origem alimentar (MACHADO, 2007; STORCK *et al.*, 2013)

As indústrias alimentícias brasileiras geram resíduos que poderiam ter uma finalidade muito mais benéfica ao homem e ao meio ambiente (AZZOLINI, 2002), já que são resíduos de alto valor de reutilização (PELIZER *et al.*, 2007). São materiais que, além de fonte de matéria orgânica, servem como fonte de proteínas, enzimas, óleos essenciais e outros produtos passíveis de recuperação e aproveitamento (COELHO *et al.*, 2001).

A alta perecibilidade das frutas é o principal problema enfrentado pelos produtores na comercialização da fruta *in natura*, tanto no mercado nacional como internacional (AZZOLINI, 2002). O descarte dos resíduos do processamento das frutas tropicais e subtropicais representa problema decorrente do aumento da produção (SCHIEBER *et al.*, 2001). Grandes perdas acontecem na pós-colheita e no processamento. Na pós-colheita, as frutas que mais sofrem perdas são a banana (40%), o morango (39%), o abacate (31%), o mamão (30%), a manga (27%), o abacaxi (24%) e a laranja (22%) (MACHADO, 2007; RAMALHO *et al.*, 2009). As indústrias produtoras de suco de laranja, por exemplo, geram uma elevada quantidade de resíduos que correspondem a 50% do peso da fruta (CORAZZA *et al.*, 2001).

Dependendo da fruta, os principais resíduos gerados são: casca, caroço ou sementes e bagaço. Esses resíduos, quando aproveitados, servem apenas de base para ração animal, enquanto poderiam ser utilizados para a obtenção de subprodutos, sobretudo por possuírem em sua composição vitaminas, minerais, fibras e compostos antioxidantes importantes para as funções fisiológicas, além do seu baixo custo, minimizando o desperdício de alimentos e gerando uma nova fonte alimentar (SOUSA *et al.*, 2011; ROGERIO *et al.*, 2007; MENDES, 2013).

Segundo Martins e Faria (2002), calcula-se que, do total de frutas processadas, sejam gerados, na produção de sucos e polpas, entre 30 a 40 % de resíduos agroindustriais. Várias frutas são processadas para fabricação de sucos naturais, sucos concentrados, doces em conserva, polpas e extratos, os quais possuem resíduos que são muitas vezes descartados, sendo que poderiam ser utilizados para minimizar o desperdício de alimentos (KOBORI e JORGE, 2005).

Miguel *et al.* (2008) estudaram alternativas para o aproveitamento das cascas e das sobras de polpa de melões minimamente processados e desenvolveram compotas, doces e geleias. Abud e Narain (2009) estudaram a composição de resíduos desidratados de goiaba, maracujá, umbu e acerola e a sua incorporação em biscoitos, sendo que os mais apreciados, goiaba e maracujá, foram também os mais ricos em fibras e de menor valor calórico. Alves e Ataíde (2009) fizeram um estudo cujo principal objetivo foi buscar reverter o desperdício, através da extração de óleos das sementes de algumas frutas (acerola, goiaba e maracujá).

As cascas das frutas, como de abacaxi, podem ser úteis em outros processamentos, podendo ser usadas em processos fermentativos, principalmente pelos altos valores de carboidratos presentes. Diversos processos têm sido explorados nos últimos anos, com o objetivo de hidrolisar os polissacarídeos de matéria-prima vegetal. A maioria dos métodos utilizados tende ao uso de enzimas (BALAT *et al.*, 2008).

1.3. Hidrólise enzimática

A hidrólise enzimática favorece o processamento de frutas, como foi observado na elaboração de suco de cajá (SILVA *et al.*, 1999), na fermentação de polpa de manga (ALVARENGA *et al.*, 2006), na produção de sucos de maçã (OLIVEIRA *et al.*, 2006), de pera (TANRIÖVEN e EKSI, 2005), carambola (LIEW ABDULLAH *et al.*, 2007), cereja e romã (ÖZKAN, 2002) e groselha preta (LANDBO e MEYER, 2004).

As enzimas pectinases, celulases e hemicelulases promovem a degradação dos polissacarídeos das paredes celulares, facilitando a extração do suco e aumentando o seu rendimento. A adição controlada de enzimas reduz a viscosidade, facilitando a clarificação e melhorando a concentração, a filtração e a estabilização de seus componentes (SPAGNA *et al.*, 1994, FERNANDEZ-GONZALEZ *et al.*, 2004, ALVARENGA *et al.*, 2006, BALAT *et al.*, 2008). Na indústria de alimentos e bebidas, as enzimas mais utilizadas são: pectinases, hemicelulases, celulases e amilases (AQUARONE *et al.*, 2001).

Nos sucos de frutas, as substâncias pécticas são responsáveis pela consistência, turbidez e outras características visuais, causando um aumento considerável na viscosidade do suco, o que dificulta as operações unitárias de separação como a filtração. As enzimas pectinolíticas formam um grupo de enzimas que degradam essas substâncias pécticas, hidrolisando as ligações glicosídicas ao longo da cadeia carbônica. Estas enzimas podem ser despolimerizantes ou desesterificantes e podem ser produzidas por plantas, bactérias, fungos filamentosos e leveduras (FERNANDEZ-GONZALEZ *et al.*, 2004 ; UENOJO e PASTORE, 2007).

Dentre as aplicações das enzimas pectinolíticas nas indústrias de alimentos e bebidas, estão a clarificação e redução de viscosidade em sucos de frutas, , os processos fermentativos de chá e chocolate, o tratamento preliminar do suco de uva para produção de vinho tinto, a extração de polpa de tomate, a extração de óleos, o tratamento de diferentes resíduos vegetais e o enriquecimento protéico de alguns alimentos infantis (JAYANI *et al.*, 2005; UENOJO e PASTORE, 2007).

Nos processos de obtenção de sucos, as enzimas pectinolíticas são muito utilizadas pois são capazes de degradar a pectina facilitando a extração dos compostos fenólicos, sem alterar o grupo éster que é responsável pelo aroma característico do suco. Estas enzimas não levam à formação de compostos tóxicos e o tratamento enzimático é conhecido por otimizar a extração dos compostos fenólicos da parede celular, pois a rede da parede celular é rompida, o que também aumenta o rendimento do suco. Comercialmente, existem vários preparados enzimáticos para o processamento de frutas, sendo que a maioria deles contém pectinases, celulasas e hemicelulasas em diferentes proporções (SPAGNA *et al.*, 1994; TARAGANO e PILOSOF, 1999).

Na indústria de alimentos e bebidas, a utilização de pectinases nas polpas de frutas e vegetais resulta na degradação da pectina e outros componentes de alto peso molecular, diminuindo a viscosidade e aumentando o rendimento dos sucos, ocasionando uma aparência cristalina no produto final e permitindo a redução de até 50% do tempo necessário para a etapa de filtração (FERNANDEZ-GONZALEZ *et al.*, 2004 ; UENOJO e PASTORE, 2007).

Na produção de vinhos tintos, as enzimas pectinolíticas são adicionadas durante a maceração das uvas e proporcionam o melhoramento das características visuais, como a cor e a turbidez, quando comparadas aos vinhos não tratados, apresentando características cromáticas consideradas superiores aos vinhos controle (JAYANI *et al.*, 2005).

No processamento de material lignocelulósico para a produção de alimentos e bebidas, as enzimas pectinases, celulasas e hemicelulasas são consideradas muito importantes (KIM e HONG, 2001).

Em função da grande complexidade e heterogeneidade da rede hemicelulolítica, a hidrólise completa de uma hemicelulose exige a atuação conjunta de várias enzimas que atuam cooperativamente, dependendo da composição da biomassa a ser degradada. Existem diversas enzimas com o nome genérico de hemicelulase. As galactanases, xilanases, xiloglucanases e

mananases são as mais importantes (GODFREY e WEST, 1996; COLLINS, 2005).

Já as celulases, atuam na hidrólise de substratos celulósicos e correspondem a um conjunto de enzimas celulolíticas formadas por endoglucanase ou endo-1,4- β -glucanase, exoglucanase ou exo-1,4- β -glucanase, celobiase ou β -glucosidase e exoglucosidase ou exo-1,4- β -glucosidase. São enzimas que constituem um complexo capaz de hidrolisar materiais celulósicos. Estas enzimas são biocatalisadores altamente específicos que atuam em sinergia para a liberação de açúcares, dos quais glicose é o que desperta maior interesse industrial, em função da possibilidade de sua conversão em álcool etílico (BAYER e LAMED, 1992; GODFREY e WEST, 1996 ; DA-SILVA *et al.*, 1997; LYND *et al.*, 2002; GERVAIS e MOLIN, 2003).

Na indústria de alimentos e bebidas, as celulases são usadas em processos de maceração, geralmente em conjunto com hemicelulases e pectinases, como na extração de sucos de frutas e óleos provenientes de sementes. Possuem um papel importante na clarificação de sucos, na liquefação do tecido vegetal e na liberação de compostos aromáticos, na extração de componentes do chá verde, proteína de soja, óleos essenciais e na produção de aromatizantes (ORBERG, 1981; BHAT, 2000; GERVAIS e MOLIN, 2003; BIAZUS *et al.*, 2006; SANTANA, 2006)

As amilases são usadas na hidrólise do amido, principalmente, na indústria de panificação; no pré-cozimento de cereais, nas indústrias de fermentação, para a produção de álcool e bebidas alcoólica; na fabricação de xaropes de glicose, via hidrólise pelas amilases; no preparo de gomas de dextrinas, usadas para acabamento de papéis e tecidos, dentre outros (BIAZUS *et al.*, 2006; SANTANA, 2006).

Na indústria de sucos de frutas, as amilases são usadas para evitar a turvação do produto final pela precipitação do amido naturalmente presente na fruta, sobretudo não madura (GODFREY e WEST, 1996).

Silva *et al.* (2009) estudaram a produção de aguardente obtida de banana e seus resíduos (polpa e casca) e observaram que a hidrólise enzimática da polpa de banana e da banana integral aumentou as quantidades de açúcares redutores e sólidos solúveis e diminuiu a quantidade de amido e celulose.

1.4. Termogravimetria

No início do século passado, um sistema capaz de medir a massa de um material continuamente enquanto este era submetido a uma programação controlada de temperatura foi apresentado e denominado como termobalança, fazendo surgir a técnica termoanalítica e a termogravimetria (CARVALHO FILHO, 2000).

As potencialidades analíticas da termogravimetria no controle de qualidade e na caracterização dos alimentos têm despertado o interesse dos pesquisadores que buscam a diminuição da quantidade de amostra requerida e do tempo gasto com as análises (WENDLANDT, 1964; KEATTCH e DOLLIMORE, 1975).

A análise térmica compreende um conjunto de técnicas que medem a variação em massa de uma amostra submetida a uma programação controlada de temperatura. Dentre as técnicas de análise térmica mais usadas está a termogravimetria (TG), a qual acompanha a variação da massa da amostra, enquanto esta é aquecida (WENDLANDT, 1986).

Segundo Ionashiro (2005), a perda de massa pode ser relacionada com diversos fenômenos, como a desidratação e decomposição, que podem servir para muitas aplicações, como a avaliação de decomposição térmica de minerais, madeira, polímeros e alimentos, dentre outros.

Na ciência de alimentos, encontra-se o uso da termogravimetria em diferentes linhas de pesquisa. Pereira *et al.* (2009) estudaram a termogravimetria para determinação de cálcio em cascas de ovos. Silva *et al.*

(2001) analisaram a vagem da algaroba por termogravimetria. Garcia *et al.* (2004) avaliaram a estabilidade térmica de peixes em atmosfera de nitrogênio por TG/DTG .

Para ampliar e otimizar a utilização industrial do fruto do açaí e do resíduo gerado no seu processamento, Martins, Mattoso e Pessoa (2009) realizaram uma avaliação termogravimétrica das fibras que recobrem o caroço, pois parte destas fibras está presente no processamento do suco e também no resíduo gerado pela agroindústria do açaí. O comportamento térmico das fibras do açaí foi semelhante ao de outras fibras vegetais já utilizadas industrialmente, o que abre novas e promissoras áreas para sua utilização.

Lacerda (2006) fez uso de técnicas termoanalíticas na caracterização da hidrólise parcial de amidos de matérias-primas tropicais. Aggarwall e Dollimore (1997) estudaram a degradação térmica do amido.

A termogravimetria é usada para analisar diversos tipos de matéria-prima empregadas em diferentes processos tecnológicos.

1.5. Fermentação alcoólica

A fermentação alcoólica é utilizada como alternativa de aproveitamento de resíduos do processamento de frutas. Teoricamente, qualquer fruto ou vegetal que contenha açúcar e outros nutrientes para as leveduras pode servir como substrato para uma fermentação alcoólica (REYES, 1991).

O termo “fermentação”, no sentido mais amplo, pode ser definido como todo processo no qual microrganismos catalisam a conversão de uma dada substância em determinado produto (AQUARONE *et. al*, 2001).

A fermentação define-se por ser um processo de reações químicas controladas enzimaticamente, onde acontece a degradação de moléculas orgânicas em compostos mais simples, de modo a liberar certa quantidade de energia (MENEGUZZO e RIZZON, 2006).

A fermentação alcoólica consiste na transformação dos açúcares existentes em álcool etílico, ocorrendo formação intensa de gás carbônico (GUIMARÃES FILHO, 2003). A habilidade de converter açúcares em etanol é chamada de fermentação alcoólica e é característica de um pequeno grupo de microrganismos, sendo, principalmente, das leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e *Kluyveromyces marxianus* e da bactéria *Zymomonas mobilis* (CARDOSO, 2001).

Para cada molécula de etanol produzida ocorre a formação de uma molécula de gás carbônico. Entretanto, dependendo de como esta transformação é realizada, pode-se obter maior ou menor quantidade de produto, assim como produto de melhor ou pior qualidade (GUIMARÃES FILHO, 2003). A glicose é oxidada a piruvato pela levedura, em sequência o piruvato é descarboxilado (acetaldeído) e reduzido a etanol pelo NADH, conforme a **Figura 2** (AQUARONE *et al*, 1983 e AQUARONE *et al*, 2001).

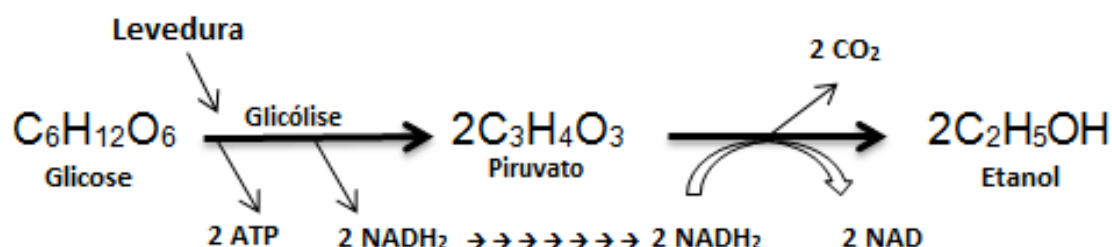


Figura 2 - Reação simplificada da fermentação alcoólica.

Fonte: Baseado em AQUARONE *et al*, 1983 e AQUARONE *et al*., 2001

Normalmente, ocorre a formação de pequenas quantidades de outros componentes, os quais recebem a denominação de produtos secundários da fermentação alcoólica, tais como ácidos carboxílicos, metanol, ésteres e álcoois superiores. Para que a fermentação seja viável economicamente, é preciso levar em consideração o seu volume de produção, o rendimento industrial e o custo de fabricação (REYES, 1991).

A fermentação alcoólica de suco de frutas produz álcool etílico como

produto principal e muitos outros componentes secundários, como aldeídos, metanol, alcoóis superiores, ácidos e ésteres que contribuem para a qualidade sensorial do fermentado. A natureza e qualidade destes componentes dependem da matéria-prima e da fermentação (DATO *et al.*, 2005).

1.5.1. Fermentados alcoólicos obtidos a partir de frutas e seus resíduos

Kohatsu *et al.* (2008), encontraram em cascas de goiaba madura aproximadamente 6% de sólidos solúveis, que poderiam ser reaproveitados na fermentação alcoólica. Na laranja, foram encontrados teores de sólidos solúveis totais variando entre 10 a 15 % quando madura. Para o mamão, foram encontrados valores entre 9 e 12,5 % (FAGUNDES e YAMANISHI, 2001). Já para diferentes variedades de banana, teores variando de 18 a 25 % (SILVA *et al.*, 2004).

Avaliando o potencial de produção de etanol a partir do bagaço de maçã, Nogueira *et al.* (2005) produziram um fermentado com 33,93 g L⁻¹ de etanol sob temperatura ambiente (19 - 25°C) e empregando fermento (*S. cerevisiae*) seco, reidratado por 20 minutos, como inóculo. Este valor representa um rendimento de 44,53 %, partindo de uma concentração de 76,2 g L⁻¹ de açúcares fermentáveis. O suco de maçã, por ser mais rico em açúcares fermentáveis, resultou em 54,44 g L⁻¹ de etanol e um rendimento de 43,38% em etanol.

Por meio da fermentação alcoólica de frutas e seus resíduos, pode-se obter, fermentados alcoólicos (vinhos) e aguardentes. São vários os estudos encontrados na literatura sobre a preparação e caracterização de fermentados de frutas, podendo ser citados o de cajá (DIAS; SCHWAN; LIMA, 2003), ata, ciriguela, mangaba (MUNIZ *et al.*, 2002), caju (TORRES NETO *et al.*, 2006) e laranja (CORAZZA; RODRIGUES; NOZAKI, 2001).

Também podem-se citar alguns exemplos de aguardentes, como aguardente de manga (ALVARENGA; MAIA; OLIVEIRA, 2006), de mexerica (MUNHOZ *et al.*, 2006), de abacaxi (SILVA JÚNIOR *et al.*, 2006), de pêra

(LLOBODANIN, 2008) e de banana (SILVA *et al.*, 2009; ALVARENGA *et al.*, 2011).

LARA (2007) avaliou a adição de fontes de nitrogênio no mosto com objetivo de reduzir a formação de alcoóis superiores durante a fermentação de banana. ALVES *et al.* (2008) produziram aguardente de goiaba e SALVIANO *et al.* (2007) produziram e avaliaram sensorialmente aguardente de jaca.

Silva *et al.* (2004), ao produzirem aguardente a partir da casca, da polpa e da banana prata integral, concluíram que apenas aquelas obtidas da polpa e da banana integral apresentaram boa qualidade físico-química. Nogueira *et al.*, (2005) estudaram a fermentação do principal subproduto da agroindústria da maçã, o bagaço, por representar cerca de 20 a 40 % da quantidade total de maçã processada. O aproveitamento do bagaço de maçã do cultivar Fuji para a obtenção de extrato aquoso para a fermentação alcoólica foi avaliado e verificou-se que o mesmo constitui um ótimo meio para a produção de fermentado alcoólico.

Alvarenga *et al.* (2013) produziram aguardente de banana e manga e verificaram que a utilização dessas frutas na produção de aguardentes são alternativas viáveis diante do rendimento, produtividade e eficiência da fermentação alcoólica. Porém, os autores recomendaram mais estudos para um melhor ajuste quanto aos teores de metanol e cobre para as aguardentes de manga e banana e de alcoóis superiores para a aguardente de banana, uma vez que excederam os limites da legislação.

Também já foi avaliada, a utilização da casca e da borra, subprodutos da fabricação do fermentado de jabuticaba, para fabricação de aguardente de jabuticaba. O produto final apresentou valores compatíveis aos da aguardente de frutas no que se refere à sua composição físico-química, com exceção do valor elevado de ésteres. Em um país que é mundialmente conhecido como produtor de aguardente de cana, o produto estudado é uma alternativa para produtores rurais que cultivam a jabuticaba, evitando perdas pós-colheita consideráveis durante a safra (ASQUIERI, 2009).

Cerqueira *et. al* (2008) determinaram a composição centesimal do bagaço da laranja e a quantidade de açúcares fermentáveis a fim de reaproveitá-lo para produzir etanol. O bagaço de laranja apresentou um baixo nível de carboidratos, o que explica a baixa produção de etanol, sugerindo que sejam realizados estudos posteriores sobre a hidrólise do bagaço.

Dentre os subprodutos derivados do processamento do suco de laranja concentrado, o chamado “licor” de laranja (produto da extração final dos resíduos industriais da fruta), em função da grande quantidade de sólidos solúveis que contém, tem sido concentrado e reincorporado ao resíduo seco da polpa utilizada na elaboração da ração cítrica. Roçafa Júnior *et. al* (2005) obtiveram em laboratório amostras de aguardentes, de cana e de “licor” de laranja, a partir das respectivas matérias primas. Os autores utilizaram um processo de dupla destilação dos vinhos e o envelhecimento dos respectivos destilados em ancorotes de carvalho, com vistas a realizar um estudo comparativo entre as duas bebidas. A metodologia otimizada para a obtenção da aguardente de “licor” de laranja envelhecida, resultou um produto que, do ponto de vista sensorial, revelou-se comparável à cachaça.

A partir dos fermentados alcoólicos, pode-se realizar a fermentação acética para a obtenção de fermentados acéticos ou vinagres. A fabricação desses fermentados proporciona também um meio de utilização de matéria-prima inaproveitável da comercialização de frutas (EVANGELISTA, 1989).

1.6. Fermentação acética

Os fermentados acéticos ou vinagres são produzidos por dois processos bioquímicos distintos, ambos resultantes da ação de microrganismos, sendo a fermentação alcoólica pela ação de leveduras sobre matérias-primas açucaradas e amiláceas e a fermentação acética, pela ação de bactérias aeróbias do gênero *Acetobacter* (LU *et al.*, 1999; BORTOLINI, SANTANA e TORRES, 2001; AQUARONE *et al.*, 2001, PEDROSO, 2003).

A fermentação acética refere-se a uma reação exotérmica de oxidação do etanol para a produção de ácido acético com a incorporação de oxigênio e liberação de energia, realizadas pelas bactérias ácido-acéticas, principalmente dos gêneros *Acetobacter* e *Gluconobacter*, sendo de interesse industrial: *Acetobacter aceti*, *A. xylinoides*, *A. curvum*, *A. acetigenum*, *A. orleanense*, *A. schuetzenbachii*, e *A. rances* (PALMA *et al.*, 2001). Além do ácido acético são produzidas pequenas quantidades de outros produtos como aldeídos, cetonas, ésteres e outros ácidos orgânicos (PEDROSO, 2003).

As bactérias acéticas constituem um grupo de microrganismos de amplo interesse econômico, tanto pelas alterações que provocam em alimentos e bebidas, quanto pela sua função de produção de fermentados acéticos (HOFFMANN, 2006). São comumente encontradas em frutas e vegetais e estão envolvidas na acidificação bacteriana de sucos de frutas e bebidas alcoólicas, cerveja, vinho, produção de vinagre e fermentação de sementes de cacau (AQUARONE *et al.*, 2001).

Em relação à temperatura, o melhor rendimento da fermentação acética é obtido entre 25°C a 30°C, embora as bactérias suportem temperatura mínima de 4°C a 5°C e máxima de 43°C. No entanto, temperaturas inferiores a 15°C e superiores a 35°C tornam a fermentação acética muito lenta, pois reduzem a atividade bacteriana. Quanto ao álcool, a maior parte das espécies suporta até 11,0% v v⁻¹. Em relação ao ácido acético, as bactérias acéticas geralmente suportam até 10,0% v v⁻¹. O processo de acetificação necessita estritamente de oxigênio para que ocorra (HOFFMANN, 2006).

A oxidação do etanol a ácido acontece por duas reações sequenciais, sendo catalisadas pelas enzimas álcool desidrogenase (ADH) e aldeído desidrogenase (ALDH). A ADH é responsável pela conversão do etanol a acetaldeído pela retirada de átomos de hidrogênio. A ALDH é responsável pela conversão do acetaldeído a ácido acético pela incorporação de átomos de oxigênio (ZILIOLI, 2011; BARBOSA, 2014).

A **Figura 3** ilustra a reação da fermentação acética de forma simplificada. O etanol é convertido a acetaldeído pela enzima álcool desidrogenase e em sequência o acetaldeído é oxidado a ácido acético pela enzima acetaldeído desidrogenase (SPINOSA, 2002 e ZILIOLI, 2011).

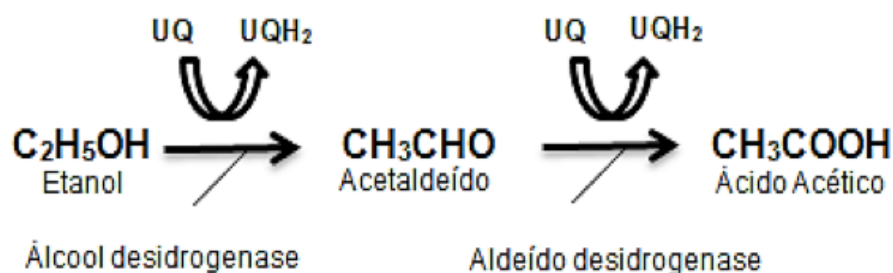


Figura 3- Reação simplificada da fermentação acética.
Fonte: Baseado em SPINOSA, 2002 e ZILIOLI, 2011.

Por meio da fermentação acética já foram desenvolvidos vinagres à base de frutos e vegetais, como kiwi (SANT'ANNA E TORRES, 2001;), laranja (SPINOSA, 2002; TESSARO, 2010) e folhas de videira (GRANADA *et al.*, 2000).

O emprego de fermentados alcoólicos de qualidade inferior ou com algum defeito de fabricação é fato comum, entretanto, algumas substâncias indesejáveis podem passar para o vinagre, depreciando sua qualidade (AQUARONE *et al.*, 2001).

Na fermentação acética, além do ácido acético, são produzidas pequenas quantidades de outros produtos como aldeídos, ésteres e outros ácidos orgânicos (PEDROSO, 2003). Algumas substâncias, como o metanol, proveniente dos fermentados alcoólicos, não é oxidado pelas bactérias acéticas, e, então, a quantidade inicialmente presente no vinho passa para o vinagre (RIZZON e MIELE, 2003).

Portanto, torna-se necessário avaliar a qualidade do fermentado alcoólico utilizado como substrato para fermentação acética. A análise dos

componentes secundários de fermentados alcoólicos é importante para verificar se as características do produto estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (GARRUTI, 2001).

1.6.1. Fermentados acéticos obtidos de frutas

Fermentados acéticos de frutas são considerados superiores em qualidades sensoriais e nutritivas, quando comparados a outros tipos de vinagres, apresentando características como sabor e aroma próprios (LU *et al.*, 1999). Sob o aspecto nutricional, contêm vitaminas, ácidos orgânicos, proteínas e aminoácidos provenientes do fruto e da fermentação alcoólica (AQUARONE *et al.*, 2001).

A fabricação de vinagre proporciona um meio de utilização de matéria-prima inaproveitável dos estabelecimentos industriais de frutas e de propriedades rurais que não poderiam competir no mercado (EVANGELISTA, 1989) constituindo, então, uma forma de aproveitamento de excedentes de safra (BORTOLINI; SANT'ANNA; TORRES, 2001).

Muitos pesquisadores produziram fermentados acéticos de frutas, como por exemplo, fermentado acético de kiwi (BORTOLINI *et al.*, 2001; PAZ *et al.*, 2007), de caqui (MARANGON *et al.*, 2011), de manga (OLIVEIRA *et al.*, 1989; SPINOSA, 2002) e de abacaxi (FIGUEIREDO *et al.*, 2005).

Segundo Tessaro *et al.* (2010), o vinagre obtido de frutas, como a laranja, é considerado com características nutricionais superiores e mais saboroso quando comparado a outros tipos de vinagres.

A classificação e denominação dos fermentados acéticos segundo a Instrução Normativa nº 36 de 14 de Outubro de 1999 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, estão apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1. Classificação e denominação dos fermentados acéticos

| Composição ou Forma de obtenção | Classificação | Denominação | |
|---|---------------------|--|--|
| | | Fermentado Acético | Vinagre |
| Fermentação acética do fermentado alcoólico de mistura hidroalcoólica originária do álcool etílico potável de origem agrícola | <i>de álcool</i> | Fermentado Acético de Álcool | Vinagre de Álcool |
| Fermentação acética do fermentado alcoólico de uma ou mais frutas | <i>de fruta</i> | Fermentado Acético de fruta | Vinagre de fruta |
| Fermentação acética do fermentado alcoólico de um ou mais cereais | <i>de cereal</i> | Fermentado Acético de cereal | Vinagre de cereal |
| Fermentação acética do fermentado alcoólico de um ou mais vegetais | <i>de vegetal</i> | Fermentado Acético de vegetal | Vinagre de vegetal |
| Fermentação acética do fermentado alcoólico de duas ou mais das seguintes matérias-primas: fruta, cereal e vegetal | <i>misto</i> | Fermentado Acético misto de vegetais | Vinagre misto de vegetais |
| Fermentação acética do fermentado alcoólico de mel de abelha | <i>de mel</i> | Fermentado Acético de Mel | Vinagre de Mel |
| Fermentado acético adicionado de suco de fruta ou suco de vegetal ou de mel de abelha, em conjunto ou separadamente | <i>composto</i> | Fermentado Acético de (nome genérico do fermentado acético) Composto | Vinagre de (nome genérico do vinagre) Composto |
| Fermentado acético adicionado de condimento | <i>condimentado</i> | Fermentado acético de (nome genérico do fermentado acético) condimentado | Vinagre de (nome genérico do vinagre) condimentado |
| Fermentado acético de fermentado alcoólico com acidez volátil superior a oito gramas de ácido acético por cem mililitros do produto | <i>duplo</i> | Fermentado Acético Duplo | Vinagre Duplo |
| Fermentado acético de fermentado alcoólico com acidez volátil superior a doze gramas de ácido acético por cem mililitros do produto | <i>triplo</i> | Fermentado Acético Triplo | Vinagre Triplo |

Fonte: Instrução Normativa nº 36 de 14 de Outubro de 1999 – MAPA

De acordo com Araújo, Silva e Abud (2012), o aproveitamento de frutas para a produção de vinagre mostra-se como uma alternativa para elevar a renda familiar dos pequenos produtores rurais. Frutas como a laranja, de fácil degradação, geram aos pequenos produtores altos índices de desperdício. A produção do vinagre dessas frutas não comercializáveis é uma forma de implementar a sustentabilidade nesse processo produtivo.

Em função da matéria-prima da qual se parte, pode-se fazer uma classificação genérica de vinagres: vinagres de frutas, vinagres de tubérculos amiláceos, vinagres de cereais, vinagres de matérias-primas açucaradas (xarope de açúcar, mel melaço, soro de leite) e vinagres de álcool (IVANOV, 2011).

O produto resultante da fermentação acética de outros líquidos alcoólicos será denominado fermentado acético, podendo ser usada a palavra vinagre no rótulo, desde que seja acrescida do nome da matéria-prima de sua origem (BRASIL, 1990).

1.6.2 Processos de obtenção do fermentado acético

Há diferentes processos de obtenção de vinagre: o processo lento, também conhecido como método de Orleans, superficial ou francês, o processo rápido também denominado de método alemão e o processo submerso.

O processo Orleans é o mais antigo e é ainda utilizado para a produção artesanal de vinagre. Produz fermentado acético de excelente qualidade empregando como principal matéria-prima, o fermentado alcoólico. Neste processo, ocorre a fermentação do vinho em recipientes parcialmente cheios e em contato com o ar. A aeração natural promove o aumento da disponibilidade de oxigênio e proporciona a proliferação e crescimento das bactérias acéticas. Ocorre a conversão do álcool etílico a ácido acético. Esse método foi aprimorado e as modificações adotadas permitiram um maior contato do fermentado com o ar devido ao aumento da área superficial pela inversão dos recipientes para a posição horizontal, aumentando a quantidade de aberturas

ao longo dos recipientes e a adoção de um suporte para as bactérias acéticas. Pelo fato do vinho permanecer em repouso, ocorre a formação de um material, denominado mãe do vinagre, constituído principalmente por polímeros de α -celulose, que são produzidos naturalmente pelas bactérias acéticas, uma vez que existem açúcares no vinho. A reposição do vinho a ser acetificado em quantidade e tempo determinados é feita para uma fermentação semi-contínua (AQUARONE e ZANCANARO, 1983; AQUARONE *et al.* 2001; RIZZON e MENEGUZZO, 2002; SPINOSA, 2002; PEDROSO, 2003; BARBOSA, 2014).

No processo Orleans, a transformação de etanol em ácido acético ocorre pela adição de um pouco de fermentado acético não pasteurizado, ou uma parte da mãe do vinagre (bactérias acéticas), e uma parte de fermentado alcoólico. O produto final é aparentemente límpido e é considerado superior ao obtido por outros métodos de fabricação, devido ao amadurecimento natural no vinagre, antes de sua retirada, diminuindo o sabor acentuado, e permitindo que o produto se torne mais suave e mais agradável (AQUARONE, ZANCANARO, 1983; AQUARONE *et al.* 2001; XAVIER *et al.*, 2009; ZILIOLI, 2011).

O processo rápido foi introduzido na Alemanha. Trata-se de um método em que ocorre a passagem de fermentado por uma grande superfície exposta, que pode ser obtida pela adição de carvão, bagaço de cana, milho ou madeira. Nestes materiais, as bactérias acéticas se fixam. Esse equipamento é conhecido como gerador ou em alguns casos, denominado simplesmente de vinagreira. É um equipamento composto por uma parte superior, responsável por distribuir a mistura em acetificação sobre o material de enchimento; uma parte intermediária, que contém o material de enchimento e uma parte inferior, onde fica o líquido. Este processo apresenta alguns inconvenientes como a susceptibilidade à infestação por moscas e a grande possibilidade de reprodução exagerada de bactérias produtoras de polímeros que podem comprometer a circulação da mistura na parte interna do cilindro central, afetando a eficiência do processo e qualidade do produto final (AQUARONE; ZANCANARO, 1983; AQUARONE *et al.*, 2001; SPINOSA, 2002, BARBOSA, 2014).

O processo submerso foi desenvolvido pela Heinrich Frings-Bonn. Este método é baseado na presença de bactérias acéticas submersas no vinho para acetificar, saturado continuamente por finas partículas de ar. Para se produzir vinagre por esse método é necessário que estas bactérias estejam imersas no mosto a ser fermentado em contato com o oxigênio do ar proveniente de intenso arejamento. É importante a adição de nutrientes específicos. As bactérias acéticas retiram energia da reação de oxidação do etanol a ácido acético, necessitando de fornecimento contínuo e adequado de oxigênio. Nesse processo, utiliza-se um equipamento denominado acetificador equipado com alcóografo para registro constante do álcool etílico transformado. O vinagre é retirado apresentando pequena porcentagem de álcool, pois o seu consumo total pode comprometer a qualidade final do vinagre, já que as bactérias acéticas irão degradar o ácido acético formado. O restante do fermentado presente no equipamento pode ser utilizado como inóculo para iniciar um novo processo a partir da adição do mosto. Normalmente, é um processo que apresenta elevada produtividade, porém apresenta algumas desvantagens, como o alto custo de investimento inicial, exigência de mão-de-obra e manutenção especializadas, necessidade de adoção de uma produção constante e aeração contínua, além do turvamento do vinagre necessitando de etapas posteriores de filtração ou técnicas específicas de clarificação (AQUARONE e ZANCANARO, 1983; AQUARONE *et al.* 2001; RIZZON e MENEGUZZO, 2002; SPINOSA, 2002).

1.7. Compostos secundários de vinagres

Segundo Zilioli (2011), uma variedade de compostos é encontrada no vinagre, além do ácido acético. Alguns desses compostos já estão presentes na matéria-prima, outros são formados nas etapas posteriores do processamento.

De acordo com a matéria-prima utilizada para fermentação acética, vinho ou frutas, que devem ser de boa qualidade, o vinagre pode ser envelhecido por um tempo superior. Durante esse tempo, ocorrem reações de

esterificação, responsáveis pelo desenvolvimento de muitos aromas agradáveis e qualidade sensorial do fermentado. No vinagre, grande parte dos ésteres é proveniente da fermentação do álcool ou da reação de ácidos e álcoois durante o processo de maturação e envelhecimento. O éster considerado mais importante em produtos como os vinagres é o acetato de etila, que é formado durante o processo de acetificação (AQUARONE *et al.*, 2001; SPINOSA, 2002).

Os compostos formados durante os processos de fermentação e de envelhecimento, responsáveis pela qualidade sensorial dos fermentados de frutas, são muitas vezes descritos como aromas frutados. Em um estudo sobre os constituintes voláteis de vinagres balsâmicos tradicionais na Itália, foram descritos alguns destes constituintes como principais responsáveis pelo aroma desses vinagres. Dentre esses, foram citados o acetaldeído, acetato de metila, acetato de etila, acetato de isopropila, etanol, 2-propanol, 2,5-dimetilfurano, acetato de propila, diacetil, acetato de isobutila, 1-propanol, acetato de butila, hexanal, álcool isobutílico, acetato de isoamila, heptanal, álcool isoamílico, hexanol, ácido propiônico, octanol e diacetato de 2,3 –butanodiol (CHARLES *et al.*, 2000, DEL SIGNORE, 2001; MORALES *et al.*, 2002; *apud* ZILIOLI, 2011).

As características sensoriais do vinagre são influenciadas pelos compostos voláteis. A determinação desses compostos por análise sensorial ou por técnicas cromatográficas é importante devido à diversidade de compostos presentes nos vinagres obtidos de novas matérias-primas. A análise sensorial é um método muito utilizado porém limitado para a avaliação de fermentados acéticos, devido à pungência de ácido acético. Portanto, o uso de técnicas cromatográficas pode apresentar melhores resultados na avaliação destes produtos (CHARLES, 2000; SU e CHIEN, 2010 *apud* ZILIOLI, 2011).

1.8. Propriedades biológicas do vinagre

Em muitos países, utiliza-se o vinagre como condimento e conservante de alimentos. É usado na elaboração de produtos como conservas, temperos e

molhos. É considerado um complemento indispensável à alimentação humana, por ter ação nutritiva e biorregulatória. São diversos os benefícios relacionados ao seu consumo. A atividade antimicrobiana e a propriedade antioxidante estão entre os principais benefícios estudados. O vinagre também é usado como antisséptico e cosmético (MECCA *et al.*, 1979, ZANCANARO, 2001; FUKAYA *et al.*, 1992, ZILIOLI, 2011).

O vinagre mostrou-se eficiente como agente antimicrobiano para diferentes tipos de linhagens microbianas no estudo desenvolvido por Utyama (2003). Oliveira (2006) estudou a atividade antimicrobiana do vinagre em cortes dianteiros de bovinos embalados a vácuo. Neste estudo, foi utilizado vinagre de álcool como conservante de carne *in natura* por não alterar as características sensoriais de cor, odor e aparência, além de reduzir a contagem microbiana e aumentar a vida útil em associação com a embalagem a vácuo. Pinto *et al.* (2008) avaliaram o vinagre como agente antimicrobiano no controle de *Candida* spp. em dentaduras. Estes autores evidenciaram que a completa imersão das dentaduras em soluções a 10% de vinagre durante a noite reduziu a contagem da levedura na saliva e a indução de estomatites na população estudada.

Os variados tipos de vinagre existentes possuem características diferentes de acordo com a matéria-prima utilizada na sua elaboração. O vinagre de maçã se destaca entre os outros tipos de vinagres por possuir grandes teores de potássio, fósforo, magnésio, enxofre, cálcio, flúor e silício. Este produto possui atividade bacteriana que desempenha um papel importante na manutenção saudável da microbiota intestinal (PEDROSO, 2003).

Os fermentados de frutas tornam-se cada vez mais conhecidos no mundo e podem ser produzidos de diversos tipos de matéria-prima e também de seus resíduos, usando diferentes métodos de processamento. Assim como as frutas e os vegetais que originam o produto, estes vinagres apresentam grande variedade de ácidos orgânicos, vitaminas, minerais, compostos fenólicos e vários outros compostos com relevantes funções fisiológicas. As propriedades biológicas dos vinagres processados a partir de diferentes frutas

foram pesquisadas recentemente, apesar de há bastante tempo já terem sido estudados aplicações do vinagre e benefícios no consumo deste produto. O efeito anticarcinogênico, a redução da aterosclerose e a ação antioxidante, são os principais benefícios relacionados à presença de substâncias fenólicas nos fermentados acéticos (NISHIDAI *et al.*, 2000, MIYAKAMA *et al.*, 2003, DÁVALOS; BARTOLOMÉ; GOMÉZ-CORDOVÉS, 2005, CEREZO *et al.*, 2010; ZILIOLI, 2011).

1.9. Compostos fenólicos e atividade antioxidante

Os compostos fenólicos são substâncias amplamente distribuídas na natureza e fazem parte dos constituintes de uma variedade de plantas, vegetais, frutas e produtos industrializados. São substâncias que pertencem à classe que inclui uma diversidade de estruturas simples ou complexas que possuem anel aromático com um ou mais substituintes hidroxílicos, incluindo seus grupos funcionais. Estão incluídos na categoria de neutralizadores de radicais livres, sendo muito eficientes na prevenção da autoxidação (BRAND-WILLIAMS *et al.*, 1995; LEE *et al.*, 2005; SILVA *et al.* 2010).

A atividade antioxidante dos compostos fenólicos depende da sua estrutura, especialmente do número e posição dos grupos hidroxila, do tipo e natureza das substituições nos anéis aromáticos. Em alimentos e bebidas, estes compostos são responsáveis por características sensoriais, como a cor, adstringência, aroma, além da estabilidade oxidativa (ANGELO e JORGE, 2007).

A relação entre a capacidade antioxidante de cada alimento e a concentração de compostos com atividade antioxidante em alimentos, ainda não está completamente esclarecida. Apesar disso, muitos estudos já comprovaram que a ingestão continuada de alimentos com altos teores de compostos fenólicos está relacionada à prevenção de diversos tipos de doenças degenerativas (SILVA *et al.*, 2010).

Novos estudos têm explorado a capacidade dos polifenóis de interagir na expressão e ativação de genes relacionados com respostas inflamatórias. Os mecanismos que levam esses compostos a influenciarem o controle da expressão desses genes são praticamente desconhecidos, levando a comunidade científica a unir esforços para o melhor entendimento dos benefícios dos polifenóis na saúde humana (VIRGILI e SCACCINI, 2001 *apud* ZILIOLI, 2011).

De um modo geral, o conteúdo de fenóis totais pode ser determinado pelos métodos espectrofotométricos de Folin-Ciocalteu (ROSSI JUNIOR e SINGLETON 1965) ou do azul da Prússia modificado (GRAHAM, 1992), que se baseiam nas reações de oxi-redução entre os compostos fenólicos e íons metálicos. O método do reagente de Folin-Ciocalteu utiliza a redução pelos fenóis, do fosfomolibdato-fosfotungstato, a molibdênio, que possui coloração azul (SILVA et al. 2010).

A maioria dos métodos utilizados para avaliar a capacidade antioxidante pode ser dividida em duas categorias: baseados na reação de transferência de elétrons, representados pelo método de Folin-Ciocalteu e seqüestro de radicais livres, tais como o DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil) e baseados na reação de transferência de átomos de hidrogênio, representado pelo ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity) e sistema β -caroteno/ácido linoleico. O método DPPH, muito usado na avaliação da capacidade antioxidante, refere-se ao seqüestro de radicais livres e se baseia na habilidade de antioxidantes se ligarem ao radical DPPH. É um método rápido e não detecta agentes pró-oxidantes, sendo que determina apenas o poder redutor dos compostos analisados (BRAND-WILLIAMS *et al.*, 1995; CHEN *et al.*, 2000; MOLYNEUX, 2004 ; HUANG, 2005).

O método DPPH se baseia na determinação da capacidade antioxidante de uma substância em sequestrar o radical, reduzindo-o a hidrazina, já que a molécula de DPPH é caracterizada como um radical livre estável. Quando uma determinada substância que age como doador de átomos de hidrogênio é adicionada a uma solução de DPPH, a hidrazina é obtida e ocorre a mudança

na coloração. O método de controle mais utilizado é a redução da absorbância produzida pela adição do antioxidante a uma solução alcoólica do radical DPPH (BRAND-WILLIAMS *et al.*, 1995; CHEN *et al.*, 2000; MOLYNEUX, 2004 ; HUANG, 2005).

O método DPPH é considerado um dos métodos mais simples de serem executados e é uma técnica precisa na determinação da atividade antioxidante de produtos provenientes de frutas e vegetais, como sucos, fermentados alcoólicos e fermentados acéticos (CHEN *et al.*, 2000; MOLYNEUX, 2004 ; HUANG, 2005).

2. Referências bibliográficas

ABUD, A. K. S.; NARAIN, N. Incorporação da farinha de resíduo do processamento de polpa de fruta em biscoitos: uma alternativa de combate ao desperdício. **Braz. J. Food Technol.**, v. 12, n. 4, p. 257-265, 2009.

AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. The combustion of starch, cellulose and cationically modified products of these compounds investigated using thermal analysis. **Thermochimica Acta**, v.291, p.65-72, 1997.

ALVARENGA, L. M.; ALVARENGA, R. M., DUTRA, M.B.L.; OLIVEIRA, E.S. Avaliação da fermentação e dos compostos secundários em aguardente de banana e manga. **Alim. Nutrição**, Araraquara v. 24, n. 2, p. 195-201, 2013.

ALVARENGA, L. M.; MAIA, A. B. R. A.; OLIVEIRA, E. S. Processamento, avaliação química e sensorial de aguardente de manga (*Mangifera indica* L.). In: Congresso brasileiro de ciência e tecnologia de alimentos, 20, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBCTA, 2006. 1 CD-ROM.

ALVARENGA, R. M., GEOCZE, A. C., SILVA, C. M., OLIVEIRA, E. S. Potential application of *Saccharomyces cerevisiae* strains for the fermentation of banana pulp. **African Journal of Biotechnology**, 10, 3608–3615, 2011.

ALVES, J. G. L. Lucas Silveira TAVARES, L. S.; ANDRADE, C. J.; PEREIRA, G. G.; DUARTE, F. C.; CARNEIRO, J. D. S. Desenvolvimento, avaliação qualitativa, rendimento e custo de produção de aguardente de goiaba. **Braz. J. Food Technol.**, v. 11, p. 64-68, 2008.

ALVES, P.S.P.; ATAÍDE, C.H. Caracterização física de resíduos de frutas oriundas da região do triângulo mineiro. In: IX Encontro Interno e XIII Seminário de Iniciação Científica. Universidade Federal de Uberlândia, 2009. **Anais...** Uberlândia, 2009. 1 CD-ROM.

ANGELO, P. M.; JORGE, N. Compostos fenólicos em alimentos – Uma breve revisão. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**, v. 66, n. 1, p. 1-9, 2007.

ASQUIERI, E. R.; SILVA, A. G. M.; CANDIDO, M.A. Aguardente de jabuticaba obtida da casca e borra da fabricação de fermentado de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, p. 896–904, 2009.

AQUARONE, E.; ZANCANARO JR. Vinagres. In: **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. v. 5, p. 105-123.

AQUARONE, E.; BORZANI, W.; LIMA, V.A. **Biotechnologia: engenharia bioquímica**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. v. 2, 539 p.

ARAÚJO, L. T.; SILVA, C. E. F.; ABUD, A. K. S. Produção de vinagre de laranja “lima” em vinagreira artesanal. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 8, n. 12, 2012.

AZZOLINI, M. **Fisiologia pós-colheita de goiabas ‘Pedro Sato’ estádios de maturação e padrão respiratório**. Piracicaba, SP: ESALQ, 2002. 100p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2002.

BALAT, M.; BALAT, H.; ÖZ, C. Progress in bioethanol processing. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 34, n. 25, p. 551-553, 2008.

BARBOSA, C. D. **Obtenção de fermentado alcoólico e acético de manga (*mangifera indica L.*)**, 133 p., 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Faculdade de Farmácia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.

BAYER, E. A.; LAMED, R. The cellulose paradox: pollutant par excellence and/or a reclaimable natural resource. **Biodegradation**, v. 3, n. 2-3, p. 171-188, 1992.

BENGOZI, F. J., SAMPAIO, A. C., SPOTO, M. H. F.; MISCHAN, M. M., PALLAMIN, M. L. Qualidades físicas e químicas do abacaxi comercializado na CEAGESP – São Paulo. **Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal**, v. 29, n. 3, p. 540-545, 2007.

BHAT, M. K. Cellulases and related enzymes in biotechnology. **Biotechnologys advances**. New York, v. 18, p 355-383, 2000.

BIAZUS, J. P. M. ; SANTANA, J.C.C.; SOUZA, R. R.; TAMBOURGI, E. B. Caracterização da atividade amilásica do malte de milho (*Zea mays*). **Acta Scientiarum**, v. 28, n. 1, p. 13-19, 2006.

BORTOLINI, F.; SANT’ANNA, E. S.; TORRES, R. C. Comportamento das fermentações alcoólica e acética de sucos de kiwi (*Actinidia deliciosa*); composição dos mostos e métodos de fermentação acética. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p.236-243, maio 2001.

BOTELHO, L.; CONCEIÇÃO, A.; CARVALHO, V. D Caracterização de fibras alimentares da casca e cilindro central do abacaxi smooth cayenne. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.26, n.2, p.362-367, 2002.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Lebensmittel-Wissenschaft Technologie**, London, v. 28, p. 25-30, 1995.

BRASIL. Decreto nº 99.066, de 08 de março de 1990. Regulamenta a Lei n.º 7.678, de 8 de novembro de 1988, que dispõe sobre a produção, circulação e

comercialização do vinho e derivados do vinho e da uva. Diário Oficial na União República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 08 mar. 1990.

CARDOSO, M. G. **Produção de Aguardente de Cana-de-Açúcar**. Lavras: Editora UFLA, 2001. 263 p.

CARVALHO FILHO, M. A, S. **Preparação e estudo termoanalítico dos cinamatos de terras raras, exceto (escandio), no estado sólido**. 2000. Tese (Doutorado em Química) – Universidade Estadual Paulista, ARARAQUARA, 145 p., 2000.

CARVALHO, V. D.; BOTREL, N. Características da fruta para exportação. In: BRASIL. Ministério da Agricultura e Abastecimento. **Abacaxi para exportação: procedimentos de colheita e pós- colheita**. Brasília: EMBRAPA. 41 p. (Série Publicações Técnicas FRUPEX, 23), 1996.

CEREZO, A. B.; TESFAYE, W.; SORIA-DÍAZ, M. E.; TORIJA, M. J.; MATEO, E.; GARCIA-PARRILLA, M. C.; TRONCOSO, A. M. Effect of wood on the phenolic profile and sensory properties of wine vinegars during ageing. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 23 p. 175–184, 2010.

CERQUEIRA, D. P.; CRUZ, S. H.; FRANCISCO, N. L.; BRAZACA, S.G.C. Estudo da composição centesimal de bagaço de laranja visando a produção de etanol. In: Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP, 2008, Piracicaba. **Anais do 16 SIICUSP**, 2008.

CHARLES, M., MARTIN, B., GINIES, C. ETIEVANT, P., COSTE, G., GUICHARD, E. Potent aroma compounds of two red wine vinegars. **Journal of Agricultural Food Chemistry**, 48, 70-77, 2000.

CHEN C.; TANG H.R.; SUTCLIFFE L.H.; BELTON P.S. Green tea polyphenols react with 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl free radicals in the bilayer of liposomes: direct evidence from electron spin resonance studies. **J Agric Food Chem**. 48:5710–5714, 2000.

COELHO, M. A. Z.; LEITE, S.G.F.; ROSA, M. F.; FURTADO, A.A.L. Aproveitamento de resíduos agroindustriais: produção de enzimas a partir da casca de coco verde. **B.CEPPA**, Curitiba, v. 19, n. 1, p. 3342, jan./jun. 2001.

COLLINS, T; GERDAY, C; FELLER G. Xylanases, xulanases family and extremophilic xylanases. **Microbiology Reviews** 29, p. 3-23, 2005.

CORAZZA, M.; RODRIGUES, D. G.; NOZAKI, J. Preparação e caracterização do vinho de laranja. **Quim. Nova**, v. 24, n. 4, p. 449-452, 2001.

CORDEIRO, Z. J. M.; MATOS, A. P. de; MEISSNER FILHO, P. E. Doenças e métodos de controle. In: BORGES, A,L.; SOUZA, L, da S. **O cultivo da bananeira**, Cruz das Almas: Embrapa-CNPMPF, p. 146-182, 2004.

CUNHA, G. L.; O processamento mínimo do Abacaxi. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br/upload/sbrt3175.pdf?PHPSESSID=7add59c0f85cc88ef81bc34d60a17169>> Acesso em: 10 de novembro de 2010.

DA CUNHA, G. A. P.; MATOS, A. P.; SOUZA, L. F. S.; SANCHES, N. F.; REINHARDT, D. H. R. C.; CABRAL, J. R. S. A cultura do abacaxi, v.12, p. 18-21, 1994.

DATO, M.C.F., PIZAURO JÚNIOR, J.M., MUTTON, M.J.R. Analysis of the secondary compounds produced by *Saccharomyces cerevisiae* and wild yeast strains during the production of “Cachaça”. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.36, n.1, p.70-74, 2005.

DA-SILVA, R.; FRANCO, C. M. L.; GOMES, E. Pectinases, hemicelulases e celulases, ação, produção e aplicação no processamento de alimentos: revisão. **Boletim SBCTA**, v. 31, n. 2, p. 249-260, 1997.

DÁVALOS, A.; BARTOLOMÉ, B.; GOMÉZ-CORDOVÉS, C. Antioxidant properties of commercial grape juices and vinegars. **Food Chemistry**. V. 93 p. 325–330, 2005.

DEL SIGNORE, A. Chemometric analysis and volatile compounds of traditional balsamic vinegars from Modena. **Journal of Food Engineering**. V. 50, 2001.

DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F.; LIMA, L. C. O. Metodologia para elaboração do fermentado de cajá (*Spondias mombin* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n.3, p. 342–350, 2003.

EVANGELISTA, J. Tecnologia de alimentos. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1989.

FACUNDO, H. V. V. F. **Mudanças no perfil sensorial e de voláteis do suco de abacaxi concentrado durante o processamento**. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2009. 82p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Fortaleza, 2009.

FAGUNDES, G. R. YAMANISHI, O. K. Características físicas e químicas de frutos de mamoeiro do grupo 'solo' comercializados em 4 estabelecimentos de Brasília-DF. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 23, n.3., 2001.

FAO. United Nations food and agriculture. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acesso em: 08 de fevereiro de 2013.

FERNANDEZ-GONZALEZ, M.; ÚBEDA, J. F.; VASUDEVAN, T. G.; OTERO, R. R. C.; BIONES, A. I.; Evaluation of polygalacturonase activity in

Saccharomyces cerevisiae wine strains. **FEMS Microbiol. Lett.** 237- 261, 2004.

FIGUEIREDO, B. C.; SOARES, S.E. R.; SOUSA, R. K.; LOURENÇO, R. D. SILVA, C.G.; QUEIROZ, V.S. Aproveitamento do abacaxi na produção de vinagre. **Anais da 57ª Reunião Anual da SBPC - Universidade Federal da Paraíba - UFPB Fortaleza, CE**, 2005.

FUKAYA, M.; PARK, T. S.; TODA, K. Improvement of acetic acid fermentation by molecular breeding and process development. **Journal of Applied Bacteriology**, v. 73, n. 6, p. 447-454, 1992.

GARCIA, J.U., SANTOS, H. I., FIALHO, A. P. GARRO, F. L. T. ANTONIOSI FILHO, N. R., LELES, M. I. G. Estudo da estabilidade térmica de óleos de peixes em atmosfera de nitrogênio. **Eclética Química**, v. 29, n 2, p 41-46, 2004.

GARRUTI, D. S. **Composição de voláteis e qualidade de aroma do vinho de caju**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2001.

GRAHAM, H. D. Stabilization of the Prussian blue color in the determination of polyphenols. **J. Agric. Food Chem.**, Columbus, v. 40, n. 5, p. 801-805, 1992.

GRANADA, G. G.; MENDONÇA, C. R. B.; ROSA, V. P.; ZAMBIAZI, R. C. Vinagres de folhas de videira: aspectos sensoriais. **Boletim do CEPPA**, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 51-56, 2000.

GERVAIS, P.; MOLIN, P. The role of water in solid-state fermentation. **Biochemical Engineering Journal**, v. 13, n. 1, p. 85-101, 2003.

GODFREY, T.; WEST, S. Industrial enzymology. 2nd Ed., New York, MacMillan Publishers Ltd., 1996.

GONÇALVES, N. B. (Org.) **Abacaxi: pós-colheita**. Brasília: EMBRAPA Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2000. cap. 2, p. 13-27. (Frutas do Brasil, 5).

GONDIM, A. M.; MOURA, V. M. F.; DANTAS, S.A.; MEDEIROS, R. L. S.; SANTOS, K. M. Composição centesimal e de minerais em cascas de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v, 25, n, 4, p. 825-827, 2005.

GUIMARÃES FILHO, O. **Avaliação da produção Artesanal da aguardente de banana utilizando *Saccharomyces cerevisiae* CA-1174**. Lavras, 2003. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Lavras: Universidade Federal de Lavras. 82 p. 2003.

HOFFMANN, A. Sistema de produção de Vinagre. Embrapa Uva e vinho. Bento Gonçalves, Ago. 2006. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br>>. Acesso em: 04/05/2010.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R.L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p. 1841-1856, 2005.

IONASHIRO, M. **Fundamentos de Termogravimetria e Análise térmica Diferencial/Calorimetria Exploratória Diferencial**. 1. ed. São Paulo: Giz, 2005.

IBGE, 2013. Levantamento Sistemático da produção agrícola. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 29.07.2014.

IBRAF – Instituto Brasileiro de Frutas. Frutas processadas. Disponível em: <<http://www.ibraf.org.br/estatisticas/>> Export_Processadas. Online. Acesso em: 27 04. 2010.

JAYANI, R. S.; SAXENA, S.; GUPTA, R. Microbial pectinolytic enzymes: A review. **Process Biochemistry**, v. 40, n.9, p. 2931–2944, 2005.

KASHIMA, Y.; IJIMA, M.; OKAMOTO, A.; KOIZUMI, Y.; UDAKA, S.; YANAGIDA, F. Purification and characterization of intracellular esterases related to ethylacetate formation in *Acetobacter pasteurianus*. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, Tokyo, v. 85, n. 6, p. 584-588, 1998.

KASHIMA, Y.; IJIMA, M.; NAKANO, T.; TAYAMA, K.; KOIZUMI, Y.; UDAKA, S.; YANAGIDA, F. Role of intracellular esterases in the production of esters by *Acetobacter pasteurianus*. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, Tokyo, v. 89, n. 1, p. 81-83, 2000.

KIM, K. H.; HONG, J. Supercritical CO₂ pretreatment of lignocellulose enhances enzymatic cellulose hydrolysis. *Bioresource Technology*, v. 77, p. 139-144, 2001.

KEATTCH, C. J.; DOLLIMORE, D.; **An Introduction to Thermogravimetry**, Second Edition, Heyden, London, 1975.

KOHATSU, D.S.; EVANGELISTA, R.M.; LEONEL, S. Características de qualidade da casca, polpa e miolo de goiaba em diferentes estádios de maturação. In: XX Congresso Brasileiro de Fruticultura. 54th Annual Meeting of the Interamerican Society for Tropical Horticulture. Vitória, 2008.

KOBORI, C. N.; JORGE, N. Caracterização dos óleos de algumas sementes de frutas como aproveitamento de resíduos industriais. *Ciênc. agrotec.*, Lavras, v. 29, n. 5, p. 1008-1014, set./out., 2005.

LACERDA, L.G. **Uso de técnicas termoanalíticas na caracterização da hidrólise enzimática parcial de amidos de matérias-primas tropicais.** 2006. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Estadual de Ponta Grossa, 2006, 81 p.

LANDBO, A. K.; MEYER, A.S. Effects of different enzymatic maceration treatments on enhancement of anthocyanins and other phenolics in black currant juice. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 5, n. 4, p. 503-513, 2004.

LARA, C. A. **Produção de aguardente de banana: emprego de enzimas pectinolíticas e efeito de fontes de nitrogênio e quantidade de inóculo na formação de álcoois superiores.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência de alimentos) Universidade Federal de Minas Gerais., 74 p., 2007.

LIEW ABDULLAH, A.G.; SULAIMAN, N.M.; AROUA, M.K.; MEGAT MOHD NOOR, M.J. Response surface optimization of conditions for clarification of carambola fruit juice using a commercial enzyme. **Journal of Food Engineering**, v. 81, n. 1, p. 65-71, 2007.

LLOBODANIN, L. A. G. **Potential of blanquilla pear variety to produce pear spirits: influence of the fermentation and distillation conditions in the final quality of the spirits.** 2008. Tese. Department of Chemical Engineering Universitat Rovira i Virgili, Tarragona, 167 p. Spain, 2008.

LU, S.F.; LEE, F-L.; CHEN, H.K. A thermotolerant and high acetic acid-producing bacterium *Acetobacter* sp I14-2. **Journal of Applied Microbiology**, v. 86, n.1, 1999. p. 55-62.

LYND, L. R.; WEIMER, P. J.; VAN ZYL, W. H.; PRETORIUS, I. S. Microbial cellulose utilization: fundamentals and biotechnology. **Microbiol. Mol. Biol. Rev.**, v.66, n 3, p 506, 2002.

MACHADO, R. L. P. O papel dos Bancos de Alimentos na redução do Desperdício de alimentos. Centro Nacional de Pesquisa de Tecnologia Agroindustrial de Alimentos. EMBRAPA, CTAA. Rio de Janeiro, set/ 2007.

MARANGON, A. L. P.; SILVA, P. H. A. da; MENDES, G. L. Produção de Vinagre de Caqui. Departamento de Tecnologia de Alimentos: Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. 5 p. **Anais...**

MARTINS, A.M.; MATTOSO, L.H.C.; PESSOA, J.D.C. Comportamento Térmico e Caracterização Morfológica das Fibras de Mesocarpo e Carçoço do Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 31, n. 4, p. 1150-1157, 2009.

MARTINS, C.R.; FARIAS, R.M. Produção de alimentos x desperdício: tipos, causas e como reduzir perdas na produção agrícola. **Revista da Faculdade de Zootecnia, Veterinária e Agronomia**, v.9, n.1, p.83-93, 2002.

MECCA, F.; ANDREOTTI, R.; VERONELLI, L. L'aceto: tecnologia industriale e tradizionale emprego nell industria conserveira utilizzazione in cucina. Brescia, 1. Ed., 1979. 320 p.

MELO, B. MELLO, B.; SILVA, C. A.; ALVES, P.R.B. Processamento mínimo de frutas e hortaliças. Universidade Federal de Uberlândia. Disponível em: <<http://www.fruticultura.iciag.ufu.br/pminimo.htm>> Acesso em: 18 de dezembro de 2010.

MENEGUZZO, J.; RIZZON, L. A. Sistema de produção de vinagre. Sistemas de Produção (Embrapa Uva e Vinho), Bento Gonçalves, n. 13, 2006.

MENDES, B. A. B. **Obtenção, caracterização e aplicação de farinha das cascas de abacaxi e de manga**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 78p. 2013.

MIGUEL, A.C.A, ALBERTINI, S.; BEGIATO, G.F. DIAS, J.R.P.S. SPOTO, M.H.F., Aproveitamento agroindustrial de resíduos sólidos provenientes do melão minimamente processado. **Ciênc. Tecnol. Aliment.** Campinas, 2008.

MIYAKAMA, Y; MIYAGAWA, F., NISHIYAMA, Y., MURA, K., TOKUE, C. Antioxidative smoke flavor extration in wood vinegar prepared from drift wood. **Nippon Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi**, v. 50, n. 11, p. 530-536, 2003.

MOLYNEUX, P. The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. **Songklanakarin J. Sci. Technol.** 26, 211–219, 2004.

MORALES, M.L.; TESFAYE W.; GARCIA-PARRILLA, M. C.; CASAS, J. A.; TRONCOSO, A. M. Evolution of the aroma profile of sherry wine vinegars during an experimental aging in wood. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Seville, v.50, p. 3173-3178, 2002.

MUNHOZ, C. L; SILVA, F. C.; VIANA, L. F.; SILVA JUNIOR, Z. P.; RIBEIRO, G. F. A Produção e análise de aceitação de cachaça de mexerica por teste afetivo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 20, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBCTA, 2006. 1 CD-ROM.

MUNIZ, C. R. ; BORGES, M. F.; ABREU, F. A. P.; NASSU, R. T.; FREITAS, C. A. S. Bebidas fermentadas a partir de frutos tropicais. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 309–322, 2002.

NISHIDAI, S.; NAKAMURA, Y.; TORIKAI, K.; YAMAMOTO, M.; ISHIHARA, N.; MORI, H.; OHIGASHI, H. Kurosu, a traditional vinegar produced from

unpolished rice, suppresses lipid peroxidation in vitro and in mouse skin. **Bioscience, Biotechnology and Biochemistry**, v 64, n. 9, p. 1909-1914, 2000.

NOGUEIRA, A.; SANTOS, L. D.; PAGANINI, C.; WOSIACKI, G. Avaliação da fermentação alcoólica do extrato de bagaço de maçã. **Semina: Ciências Agrárias**. V.6, n 2, p 187- 194, 2005.

OLIVEIRA, F. D. **Avaliação da atividade antimicrobiana do vinagre em cortes de dianteiro bovino embalado a vácuo**. 2006. 82 p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Departamento de Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

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

ORBERG, P. K. **Studies on cellulases production from annual ryegrass straw by Trichoderma reesei**. Oregon, 1981. Dissertação (Mestrado), Oregon State University, 1981.

ÖZKAN, M. Degradation of anthocyanins in sour cherry and pomegranate juices by hydrogen peroxide in the presence of added ascorbic acid. **Food Chemistry**, v. 78, n. 4, p. 499-504, 2002.

PALMA, M. S. A.; CARVALHO, L. F. C. P.; GAVÓGLIO, L. C. Vinagres. In: AQUARONE, E. et al. **Biotechnologia Industrial**. São Paulo: Edgard Blücher, 2001. p. 183-208.

PAZ, M. F. PAZ, M. F.; SCARTAZZINI, L. S.; OGLIARI, T. C.; BURLIN, C. Produção e Caracterização do Fermentado Alcoólico de Actinidia deliciosa Variedade Bruno Produzido em Santa Catarina. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS - SINAFERM, 16. 2007. Curitiba. **Anais do 16º SIMPÓSIO NACIONAL DE BIOPROCESSOS**. Curitiba, 2007. CD-ROM.

PEDROSO, Paula R. F. **Produção de vinagre de maçã em biorreator airlift**. 2003. Tese (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 2003.

PELIZER, L. H.; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental. **J. Technol. Manag. Innov.** 2007, Volume 2, Issue 1.

PEREIRA, J. G., OKUMURA, F., RAMOS, L. A., CAVALHEIRO, E. T. G., NÓBREGA, J. A. Termogravimetria : Um novo enfoque para a clássica determinação de cálcio em cascas de ovos. **Quim. Nova**, Vol. 32, 2009.

PINTO, T. M. S ; NEVES A. C., LEÃO M. V., JORGE A. O. Vinegar as an antimicrobial agent for control of *Candida spp.* in complete denture wearers. **Journal of Applied Oral Science**, v. 16, n. 6, p.385-390, 2008.

RAMALHO, A., R. ; VIEIRA JÚNIOR, J. R. ; FERNENDES, C. F. ; ROCHA, R.B. ; MARCOLAN, A. L., CASSARO, J. D. Comunicado técnico/ Embrapa: Características das cultivares de abacaxizeiros cultivadas no Estado de Rondônia. Porto Velho, ago/ 2009.

REYES, S. E. H. **Utilização da casca de banana, *Musa cavendishii*, madura, para produção de álcool e vinagre.** 1991. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa-MG, 1991.

RIZZON, L. A.; MENEGUZZO, J. Elaboração de Vinagre. Bento Gonçalves, 2002. (Documentos) - Embrapa Uva e Vinho.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Avaliação da cv. Merlot para elaboração de vinho tinto. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, suplemento, p.156-161, 2003.

ROÇAFA JUNIOR, H; PADOVAN, F.C.; FARIA, J.B. A new fermented distilled everage from orange liquor. **Alim. Nutr.**, Araraquara, v.16, n.4, p. 321-325, out./ dez. 2005.

ROGERIO, M.C.P. ; BORGES. I. ; NEIVA, J. M. N. ; PIMENTEL, J. C.M. ; CARVALHO, F.C. ; PONTE, T.R. ; COSTA., J.B. ; CATUNDA, A.G.V. Valor nutritivo do resíduo da indústria processadora de abacaxi (*Ananas comosus L.*) em dietas para ovinos. Consumo, digestibilidade aparente e balanços energético e nitrogenado. **Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.**, Belo Horizonte, v. 59, n. 3, 2007.

ROSSI JUNIOR, J. A.; SINGLETON, V. L. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 16, n. 3, p. 144-158, 1965.

SALVIANO, A. T. M., AMARAL, C. R. S.J.; LUCENA, J. E. Ricardo Targino MOREIRA, J. E. R.; NÓBREGA., I. C. C. Elaboração e Aceitação Sensorial de Uma Aguardente Bi-destilada de Jaca (*Artocarpus Heterophilus Lam*). **Anais da II JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA.** Bananeiras, dezembro de 2007.

SANTANA, J. C. C. **Recuperação das enzimas α e β -amilases em sistema bifásico aquoso PEG/CaCl₂ para uso como biocatalizador amiláceos.** Campinas, 2006. 232p. Dissertação - (Mestrado em Engenharia Química), Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, 2006.

SCHIEBER, A.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Byproducts of plant food processing as a source of functional compounds: recent developments. **Trend Food Science Technology, Cambridge**, v. 12, p. 401-413, 2001.

SILVA, A.P.V.; MAIA, G.A.O.; OLIVEIRA, G.F.S.O. Estudo da produção do suco clarificado de cajá (*Spondias tuberosa* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, n.1, p.33-36, 1999.

SILVA JÚNIOR, Z. P. et al. Características físico-químicas da cachaça de abacaxi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 20, 2006, Curitiba. Anais... Curitiba: SBCTA, 2006. 1 CD-ROM.

SILVA, M. B. L., CHAVES. B. P., LELIS, V. G., ALVARENGA, L. M., SILVA, P. H. A Hidrólise enzimática da polpa e qualidade físico-química de aguardente de banana refugo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19, 2004, Recife. **Anais...** Recife: SBCTA, 2004. 1 CD-ROM.

SILVA, M. B. L., CHAVES. B. P., LELIS, V. G., ALVARENGA, L. M., ZUIM, D. R., SILVA, P. H. A. Qualidade Físico Química e Sensorial de aguardentes de polpa de banana e banana integral submetidas a hidrólise enzimática. **Alim. Nutr.**, 20(2): 217-221, 2009.

SILVA, S. A., SOUZA, A. G., CONCEIÇÃO, M. M., ALENCAR, A. L. S., PRASAD, S. CAVALHEIRO, J. M. O. Estudo termogravimétrico e calorimétrico da algaroba. **Quim. Nova**, Vol. 24, No. 4, 460-464, 2001.

SILVA, M. L. C.; COSTA, R. S.; SANTANA, A. S.; KOBLITZ, M. G. B. Compostos fenólicos, carotenóides e atividade antioxidante em produtos vegetais. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v.31, n. 3, p.669- 682, jul/set. 2010.

SOUSA, M. S. B., VIEIRA, L. M., SILVA, M. J. M., LIMA, A. Caracterização nutricional e compostos antioxidantes em resíduos de polpas de frutas tropicais. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v. 35, n. 3, 2011.

SPAGNA, G.; PIFFERI, P.G.; TRAMONTINI, M.; ALBERTINI, A. Pectinlyase immobilization on polyamides for application in the food processing industry. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**, v. 59, n. 4, p. 341-348, 1994.

SPINOSA, W. A. **Isolamento, seleção, identificação e parâmetros cinéticos de bactérias acéticas provenientes de indústrias de vinagre**. 2002. 203 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência de Alimentos, Departamento de Ciência de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas- Unicamp, Campinas, 2002.

STORCK, C. R.; NUNES, G. L.; OLIVEIRA, B. B ; BASSO, C. Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na

alimentação e análise sensorial de preparações. **Ciência Rural**, v.43, n.3, 2013.

TANRIÖVEN, D.; EKSI, A. Phenolic compounds in pear juice from different cultivars. **Food Chemistry**, v. 93, n. 1, p. 89-93, 2005.

TARAGANO, V.M.; PILOSOFF, A.M.R. Application of Doehlert designs for water activity, pH, and fermentation time optimization for *Aspergillus niger* pectinolytic activities production in solid-state and submerged fermentation. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 25, n. 3-5, p. 411-419, 1999.

TESSARO, D. ; LARSEN, A. C. ; DALLAGO, R. C. ; DAMASCENO, S. G. ; SENE, L. ; COELHO, S. R. M. Avaliação das fermentações alcoólica e acética para produção de vinagre a partir de suco de laranja. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 32, n. 2, p.201-205, 2010.

TORRES NETO, A. B. SILVA, M. E.; SILVA, W. B.; SWARNAKAR, R. ; SILVA, F. L. H. Kinetic and physico-chemical characterization of cashew (*Anacardium occidentale* L.) wine. **Química Nova**, v. 29, n. 3, p. 489-492, 2006.

UENOJO, M.; PASTORE, G. M. Pectinases: aplicações industriais e perspectivas. **Quim. Nova**, v. 30, n. 2, 388-394, 2007.

UTYAMA, I. K. A. **Avaliação da atividade antimicrobiana e citotóxica in vitro do vinagre e do ácido acético: perspectivas na terapêutica de feridas**. 2003. 113 p. Dissertação (Mestrado em Enfermagem) - Departamento de Escola de Enfermagem, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2003.

VIRGILI, F.; SCACCINI, C. Cardiovascular disease and nutritional phenolics. In: POKORNY, J.; YANISHLIEVA, N.; GORDON, M. **Antioxidants in food: Practical applications**. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited. Cap. 5, 2001.

WENDLANDT, W. W. **Thermal Methods of Analysis**, Interscience Publishers, New York, 1964.

WENDLANDT, W. W. **Thermal Analysis in Chemical Analysis**; Ewing, P. J.; Winefordner, J. D., eds.; 3rd ed., John Willey: New York, 1986.

ZANCANARO J. O. **Otimização do processo lento de fermentação acética**. 1988. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo. 69 p. São Paulo, 1988

ZILIOLI, E. **Composição química e propriedades funcionais no processamento de vinagres**. 2011. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos) Departamento de Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 84 p., 2011

Capítulo 2

Avaliação físico-química e termogravimétrica da polpa e do abacaxi integral hidrolisados e não-hidrolisados

Resumo

O Brasil é um grande produtor de abacaxi e apresenta perdas pós-colheita que somadas aos resíduos provenientes do processamento, precisam ser aproveitados. Este trabalho avaliou a perda de massa e os teores de sólidos solúveis totais, açúcares redutores totais, pectina, hemicelulose, lignina e celulose da polpa de abacaxi e do abacaxi integral (polpa e casca), submetidas e não submetidas à hidrólise enzimática com pectinases, hemicelulases, amilases e celulases. A hidrólise enzimática aumentou o rendimento de suco extraído de abacaxi, tanto da sua polpa (8,84%) quanto da fruta integral (19,65%). As curvas de perda de massa de polpa de abacaxi hidrolisada e não hidrolisada obtidas pela termogravimetria foram similares. O efeito da hidrólise enzimática foi mais acentuado quando se avaliou amostras integrais. Na maioria das amostras, a hidrólise diminuiu os teores de pectina, hemicelulose, lignina e celulose, além de aumentar o teor de sólidos solúveis totais e açúcares redutores totais.

1. Introdução

A fruticultura no Brasil tem uma perspectiva de mercado mais favorável que outros países em virtude da diversidade climática e das novas tecnologias existentes, sendo possível produzir praticamente o ano inteiro, o que não ocorre nas principais regiões fruticultoras do mundo (ALVARENGA *et al.*, 2013).

O Brasil é um grande produtor de frutas, e parte da produção não é consumida e nem utilizada pelas indústrias. Além disso, produz resíduos de

elevado valor agregado, provenientes do processamentos de frutas, como o abacaxi, que é produzido praticamente o ano inteiro.

A crescente preocupação com o meio ambiente vem mobilizando vários segmentos do mercado e tornando fundamental identificar alternativas viáveis à utilização de resíduos (PELIZER *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2009). Estudos recentes vêm sendo desenvolvidos para buscar alternativas de minimização das perdas das indústrias de alimentos.

Muitas frutas são processadas para fabricação de sucos naturais, sucos concentrados, doces em conserva, polpas e extratos, os quais possuem resíduos que são descartados, sendo que poderiam ser utilizados para diminuir o desperdício das indústrias de alimentos (KOBORI e JORGE, 2005).

As cascas das frutas podem ser úteis em outros processamentos, podendo ser usadas em processos fermentativos, como a fermentação alcoólica e acética, principalmente por serem matérias-primas com elevados teores de carboidratos. Nas fermentações alcoólicas, tem-se que fazer uma hidrólise enzimática para quebrar os polissacarídeos em monossacarídeos fermentáveis pelo microrganismo específico. Essa operação pode ser feita por enzimas diferentes, dependendo da composição de cada matéria-prima. Para aumentar também o rendimento da extração do suco da fruta e diminuir a sua viscosidade, o que ocasionará um maior rendimento da fermentação alcoólica, é necessário também fazer uma hidrólise enzimática da polpa das frutas com enzimas pectinolíticas. Outro aspecto importante é quantificar os polissacarídeos presentes nestes substratos antes e após a hidrólise enzimática, para definição das enzimas a serem utilizadas e verificar a eficiência do tratamento enzimático.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da hidrólise enzimática e comparara composição dos principais polissacarídeos presentes na matéria-prima antes e após a hidrólise, por análises físico-químicas e termogravimétricas.

2. Material e Métodos

Os experimentos foram conduzidos no laboratório de Microbiologia Industrial e Biocatálise da Faculdade de Farmácia (LAMIB) e no Laboratório de Análises Térmicas do Departamento de Química da UFMG.

2.1. Matéria-prima

Foram utilizados abacaxis da variedade *pérola* (*Ananas comosus* (L.) Merril) no último estágio de maturação obtido de mercados locais, em Belo Horizonte, Minas Gerais (Brasil).

Para a hidrólise enzimática, foram utilizadas enzimas pectinolíticas, celulasas, amilases e hemicelulasas, cedidas pela Novozymes e pela Granotec.

2.2. Métodos

2.2.1 Higienização das frutas

Os abacaxis (6 kg) foram higienizados em água corrente e deixados em solução clorada (200 ppm) por 15 min (BRASIL, 2004).

2.2.2 Processamento da matéria-prima e hidrólise enzimática

Os abacaxis (3 kg) foram descascados manualmente e reservados para outros tratamentos. Outra porção de abacaxi não foi descascada e corresponde à fruta integral, constituída de polpa e casca, conforme mostrado **Figura 1**.

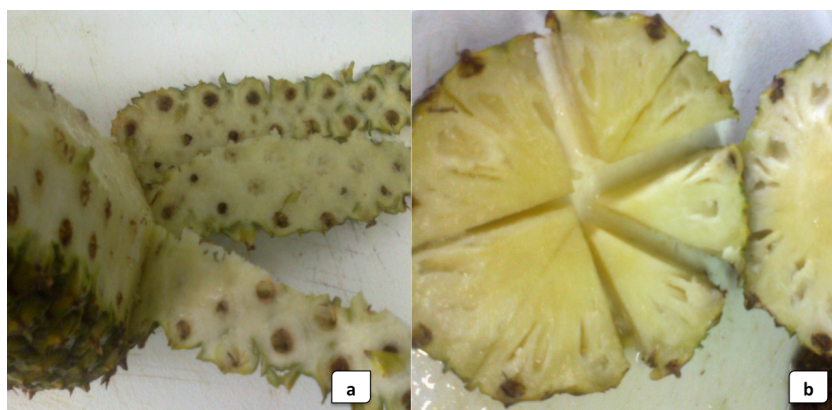


Figura 1- Abacaxi descascado (a) e abacaxi integral (b)

Posteriormente, as frutas (polpa e abacaxi integral) foram trituradas em liquidificador industrial (*Poli / Metalúrgica, Siemens Ltda, LB-15, Brusque, SC, Brasil*). As polpas e os abacaxis integrais foram submetidos à hidrólise enzimática com as respectivas enzimas: pectinases, celulases, amilases e hemicelulases, cedidas pela Novozymes e pela Granotec, obtendo-se amostras de polpa e de abacaxi integral hidrolisadas e não hidrolisadas, constituindo 4 grupos: polpa de abacaxi (PA), polpa de abacaxi hidrolisada (PAH), abacaxi integral (AI) e abacaxi integral hidrolisado (AIH), conforme o esquema da **Figura 2**.

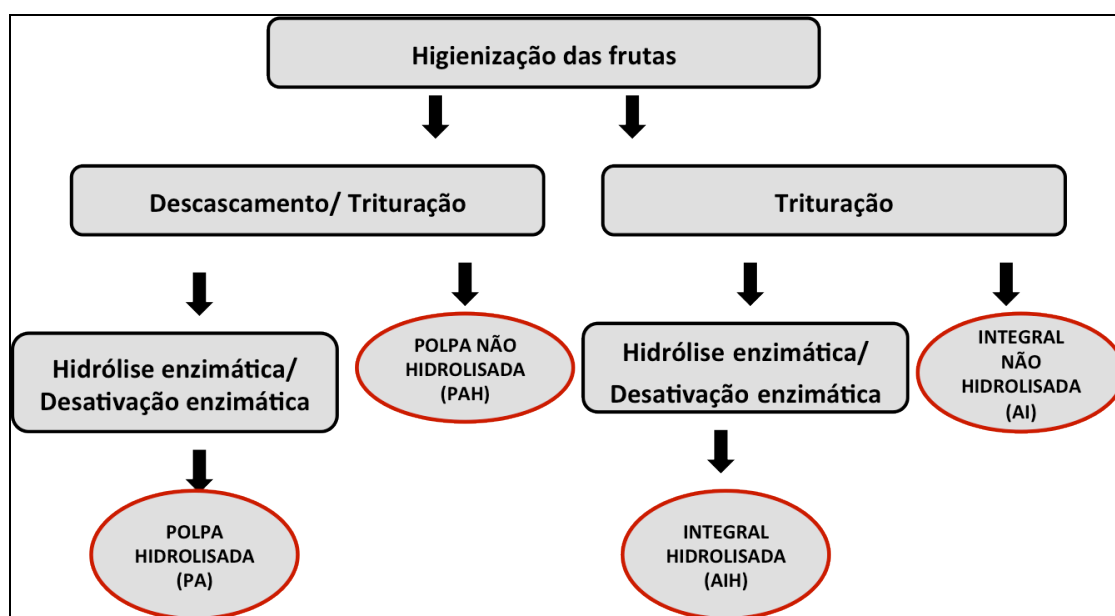


Figura 2 – Esquema de operações sucessivas na divisão de amostras de abacaxi

As amostras foram hidrolisadas utilizando as enzimas Pectinex Ultra-SP, de acordo com o procedimento descrito por LARA (2007), Celluclast^R, segundo YULIARTI (2011), Spring alfa e Summer Xylan segundo os fornecedores (GRANOTEC, 2009) conforme a **Tabela 1**. Desta forma, foram adicionadas inicialmente, celulase e hemicelulase, posteriormente, pectinase e por último, amilase.

Tabela 1 – Enzimas utilizadas e condições de hidrólise enzimática

| Enzimas | Pectinase | Celulase | Hemicelulase | Amilase |
|--------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|
| Nome comercial | Pectinex Ultra SP | Celluclast [®] | Summer Xylan | Spring Alfa |
| Concentração (ppm) | 250 | 1000 | 60 | 600 |
| Tempo (min) | 78 | 30 | 30 | 30 |
| Temperatura (°C) | 35 | 35 | 35 | 55 |
| Referências | LARA (2007) | YULIARTI (2011) | GRANOTEC (2009) | GRANOTEC (2009) |

As amostras foram hidrolisadas enzimaticamente de acordo com as condições mostradas na **Tabela 1**. Para a manutenção de temperatura constante durante a hidrólise utilizou-se banho maria digital, *Nova Ética, modelo 314DN*, e agitação constante. Após cada tratamento enzimático, foi feita a inativação enzimática a 90 °C por 5 min, em banho-maria.

As amostras de abacaxi (polpa e integral) hidrolisadas e não hidrolisadas foram submetidas às análises termogravimétricas e físico-químicas. Foram obtidos, aproximadamente 1 kg de amostra para cada grupo.

2.2.3 Termogravimetria

Todas as amostras pertencentes aos quatro grupos foram analisadas por termogravimetria. As curvas termogravimétricas foram obtidas utilizando uma termobalança TGA-50H (Shimadzu).

Foram utilizadas massas de amostras variando entre 11,0 – 17,0 mg, em cadinho de alumina (Al_2O_3), sob atmosfera dinâmica de nitrogênio (fluxo de 50 mL min^{-1}) e razão de aquecimento igual a 10°C min^{-1} . O aquecimento foi realizado desde a temperatura ambiente até 750 °C.

2.2.4. Análises físico-químicas

As amostras de abacaxis, pertencentes aos grupos (AI, AIH, PA e PAH) foram analisadas quanto aos teores de amido (IAL, 2005), sólidos solúveis totais (AOAC, 1992), teor de polpa (Koch, 1971) hemicelulose, pectina, lignina e celulose (Schieber, et al., 2005).

Para a determinação do teor de polpa, as amostras foram centrifugadas e foram medidas a massa total, a massa de sobrenadante e a massa de precipitado, por diferença. As determinações foram feitas antes e depois da centrifugação e os dados expressos em porcentagem. Considerou-se teor de polpa ou teor de sobrenadante, como a porcentagem de sobrenadante obtida em relação à massa total de amostra avaliada (Koch, 1971).

2.2.5. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os resultados das análises foram comparados por Análise de Variância (ANOVA) e teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade utilizando o software EXCEL. As análises foram realizadas em triplicata.

3. Resultados e Discussão

3.1. Hidrólise enzimática

As amostras de abacaxi submetidas ao tratamento enzimático apresentaram-se menos viscosas, como mostra a **Figura 3**.

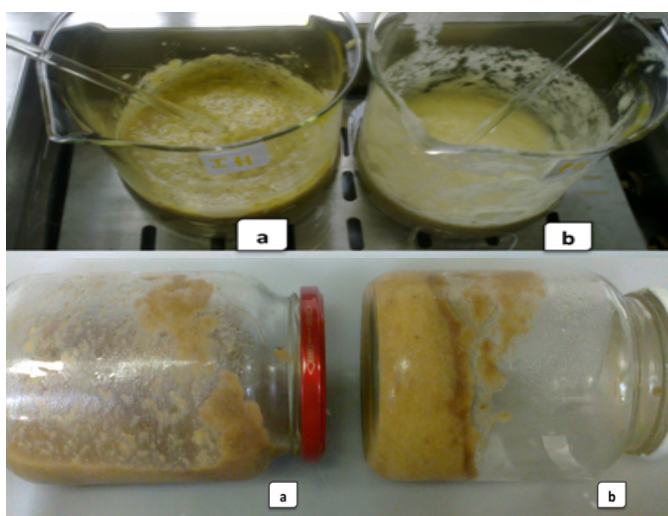


Figura 3 – Amostra integral hidrolisada (a) e amostra não hidrolisada (b)

O teor de sobrenadante, isto é, maior quantidade de sobrenadante obtida após centrifugação, foi maior nas amostras de polpa de abacaxi e de abacaxi integral, submetidas à hidrólise enzimática (**Tabela 2**).

Tabela 2 - Teores de polpa de abacaxi e abacaxi integral

| Abacaxi | Teor de sobrenadante (g/100g) |
|----------------------------|-------------------------------|
| Polpa (PA) | 65,47 ± 0,26 ^b |
| Polpa hidrolisada (PAH) | 71,26 ± 0,12 ^a |
| Integral (AI) | 50,99 ± 0,31 ^c |
| Integral Hidrolisada (AIH) | 61,01 ± 0,10 ^b |

*Médias numa mesma coluna seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey

A diminuição da viscosidade do meio em função da hidrólise enzimática aumenta o rendimento de extração de suco, aumentando, portanto, o teor de polpa, devido à quebra dos polissacarídeos, como foi observado em processamento de suco de cajá (SILVA *et al.*, 1999) e manga (ALVARENGA *et al.* 2006).

Com a hidrólise enzimática da polpa de abacaxi, houve aumento de 8,84% do teor de sobrenadante obtido após a centrifugação da amostra. Nas amostras de abacaxi integral, com a utilização da hidrólise enzimática, o aumento do teor de sobrenadante foi de 19,65%.

Oliveira *et al.* (2006) avaliando o método de liquefação enzimática na extração de suco de maçã, verificaram um aumento de 19% no rendimento de suco obtido pelo processo de liquefação e consideraram economicamente viável para a indústria, mesmo com o custo adicional da aquisição da enzima.

3.2. Termogravimetria

Os resultados obtidos pela análise termogravimétrica indicam que as amostras hidrolisadas e não hidrolisadas apresentam decomposição térmica completa a 700 °C.

A perda de massa de abacaxi integral e de abacaxi integral hidrolisado submetidas a temperaturas elevadas estão mostrados na **Figura 4**.

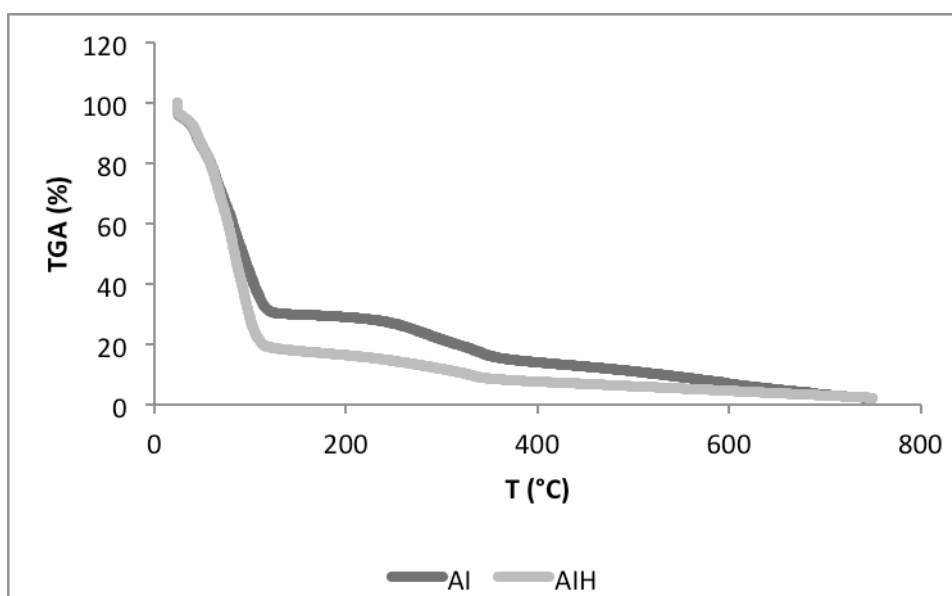


Figura 4 - Perda de massa de abacaxi integral (AI) e abacaxi integral hidrolisado (AIH)

A perda de massa da amostra hidrolisada foi maior em temperaturas iniciais quando comparada à perda de massa da amostra não hidrolisada. Inicialmente, a hidrólise enzimática facilitou a degradação térmica. Segundo Aggarwall e Dollimore (1998) durante a hidrólise enzimática, ocorrem mais alterações estruturais de modo a disponibilizar uma maior área para a ação do calor e conseqüentemente facilitando a degradação térmica.

Na curva referente à amostra de abacaxi integral não hidrolisado (AI), onde há maiores teores de pectina, amido, hemicelulose, celulose e lignina em relação às amostras de abacaxi integral hidrolisado (AIH), pode-se perceber que ocorreu, até 100 °C, uma variação inicial com perda de massa de aproximadamente 70%. Para a amostra hidrolisada (AIH) a perda correspondeu a aproximadamente a 80% da massa.

Verificou-se que todas as amostras exibiram três estágios de perda de massa. O primeiro estágio ocorreu em temperatura próxima a 100°C e pode ser atribuída a perda de água por evaporação. O segundo estágio, até aproximadamente 350 °C, está relacionado à decomposição dos compostos orgânicos presentes. O terceiro estágio de decomposição pode ser associado à degradação térmica da celulose, hemicelulose e lignina, levando à produção de

carvão. Acima de 700°C, as curvas de perda de massa para todas as amostras não apresentam mais nenhum evento térmico, indicando a estabilidade térmica da estrutura carbonácea formada conforme o gráfico da **Figura 4**.

Segundo Carneiro (2010), entre 350 e 600 °C ocorre a decomposição da lignina. A partir do momento que a porcentagem de massa atingiu o terceiro estágio, toda a parte orgânica das amostras foi queimada, restando majoritariamente compostos inorgânicos, que são mais estáveis a temperaturas elevadas.

Tarley e Arruda (2004) observaram a decomposição da hemicelulose e da celulose entre 250 e 360 °C e a decomposição da lignina ente 360 e 525 °C. Diferentemente, Morán *et al.* (2008) reportaram que a hemicelulose e a lignina são os primeiros a se degradarem, por volta dos 200 °C, sendo que a lignina persiste até a temperatura de 700 °C, enquanto que a hemicelulose pirolisa completamente aos 315 °C. Segundo este mesmo autor, a degradação térmica da celulose ocorre entre 315 °C e 400 °C.

As curvas de degradação térmica para as amostras de polpa de abacaxi (PA) e polpa de abacaxi hidrolisada (PAH) são apresentadas na **Figura 5**. O efeito da hidrólise enzimática na perda de massa da polpa de abacaxi (PA) foi menos pronunciado do que nas amostras integrais (AI), provavelmente devido à maior concentração de polissacarídeos da amostra integral (AI).

As curvas de perda de massa foram semelhantes para a polpa de abacaxi (PA) e para a polpa de abacaxi hidrolisada (PAH), o que comprova a relação similar entre os seus constituintes orgânicos.

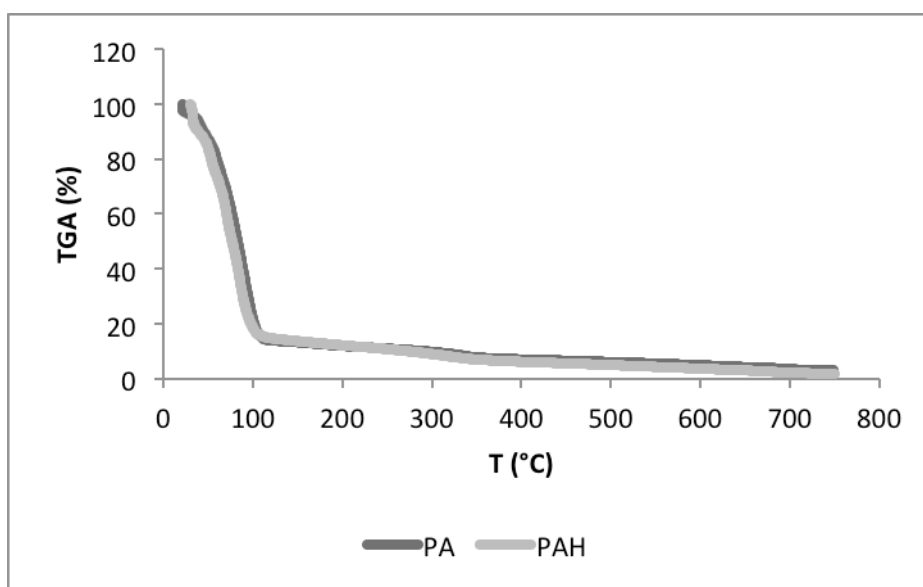


Figura 5 - Perda de massa de polpa de abacaxi (PA), polpa de abacaxi hidrolisada (PAH)

De acordo com o gráfico da **figura 4**, a partir de 100 °C ocorreu uma maior perda de massa nas amostras integrais não hidrolisadas (AI) pela presença dos polissacarídeos não hidrolisados, como a pectina, a hemicelulose, o amido, a celulose e a lignina, que exigem temperaturas maiores para que ocorra a degradação térmica.

As curvas da análise térmica diferencial (DTA) evidenciaram um pico endotérmico acentuado, em torno de 100 °C, confirmando a saída de água sinalizada pela perda de massa nas curvas termogravimétricas. Notou-se ainda um pico endotérmico discreto em torno de 350-380 °C, que pode ser atribuído à liberação de voláteis oriundos da decomposição dos compostos orgânicos, principalmente nas amostras de abacaxi integral (APÊNDICE A).

3.3. Análises físico-químicas

Os teores de hemicelulose, pectina, sólidos solúveis totais, amido, lignina e celulose determinados nas amostras de abacaxi são mostrados na **Tabela 3**.

Tabela 3 - Caracterização de abacaxi submetidos e não submetidos à hidrólise

| Parâmetros/ Tratamentos | AI ¹ | AIH ² | PA ³ | PAH ⁴ |
|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Hemicelulose (%) | 1,02 ± 0,26 ^a | 0,72 ± 0,20 ^{ab} | 0,57 ± 0,06 ^b | 0,47 ± 0,12 ^b |
| Lignina + Celulose (%) | 1,90 ± 0,40 ^a | 0,73 ± 0,21 ^b | 0,82 ± 0,13 ^b | 0,67 ± 0,06 ^b |
| Amido (%) | 0,22 ± 0,03 ^a | 0,09 ± 0,02 ^b | 0,17 ± 0,08 ^{ab} | 0,11 ± 0,04 ^{ab} |
| Pectina (%) | 0,18 ± 0,03 ^a | 0,04 ± 0,01 ^b | 0,16 ± 0,01 ^a | 0,02 ± 0,01 ^b |
| Sólidos solúveis totais (°Brix) | 10,00 ± 0,20 ^d | 11,73 ± 0,40 ^c | 12,83 ± 0,29 ^b | 14,57 ± 0,12 ^a |

* Médias numa mesma linha seguidas da mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey

1 *Abacaxi Integral*

2 *Abacaxi Integral hidrolisado*

3: *Polpa de abacaxi*

4: *Polpa de abacaxi hidrolisada*

A amostra de abacaxi integral não hidrolisado (AI) apresentou teores significativamente maiores de lignina+celulose que as amostras de polpa de abacaxi não hidrolisada (PA), demonstrando as diferenças de composição da casca e da polpa e indicando maior teor desses polissacarídeos na casca. Esse resultado explica a perda de massa mais acentuada na amostra integral hidrolisada (**Figura 4**).

O abacaxi integral hidrolisado (AIH) apresentou teores de lignina + celulose, amido e pectina significativamente menores que o abacaxi integral não hidrolisado (AI), devido à ação das enzimas utilizadas. Na hidrólise da polpa de abacaxi, o teor de pectina diminuiu 88%.

A polpa de abacaxi hidrolisada (PAH) apresentou menor teor de pectina que a polpa não hidrolisada (PA), mas não houve diferenças significativas em relação aos teores de hemicelulose, lignina + celulose e amido, confirmando os resultados apresentados na curva de perda de massa da polpa de abacaxi (**figura 5**).

Nas amostras não hidrolisadas, tanto de polpa de abacaxi (PA) quanto de abacaxi integral (AI), foram encontrados valores significativamente inferiores de sólidos solúveis totais (SST) em relação às amostras hidrolisadas, confirmando o aumento desses valores quando a matéria-prima é submetida à hidrólise enzimática.

Os resultados obtidos para os teores de SST estão dentro da faixa encontrada por Guerra e Livera (1999) ao avaliarem a polpa de abacaxi *pérola*. Estes autores obtiveram teores de sólidos solúveis variando de 8,6 a 15,0 °Brix. Fagundes *et al.* (2001) obtiveram teor de sólidos solúveis de abacaxi *pérola* entre de 12,5 a 14,7 °Brix e Manica (1999) quando avaliou a mesma variedade de abacaxi encontrou valores entre 13,1 e 15,1 °Brix em frutos maduros.

Thé *et al.* (2010) relataram que o conteúdo de pectina da polpa de abacaxi varia de 0,01 a 0,06% e que a consistência da polpa de abacaxi depende dos teores de celulose, hemicelulose e pectinas na fruta. Os teores de pectina encontrados para a polpa de abacaxi hidrolisada (PAH), no presente estudo, encontram-se dentro da faixa relatada por estes autores.

4. Conclusão

Pelas análises termogravimétricas, as curvas de perda de massa de polpa de abacaxi hidrolisada e não hidrolisada foram similares.

Nas amostras de abacaxi integral, a hidrólise diminuiu os teores de amido, pectina e lignina + celulose. Na hidrólise da polpa de abacaxi, o teor de pectina diminuiu 88%. Em todas as amostras, a hidrólise aumentou o teor de sólidos solúveis totais.

A hidrólise enzimática aumentou o rendimento de suco extraído de abacaxi, tanto da sua polpa (8,84%) quanto da fruta integral (19,65%), evidenciando a importância da hidrólise enzimática para melhor aproveitamento da fruta.

5. Referências Bibliográficas

AGGARWAL, P.; DOLLIMORE, D. A thermal analysis investigation of partially hydrolyzed starch. **Thermochimica Acta**, v.319, p.17-25, 1998.

ALVARENGA, L. M.; ALVARENGA, R. M., DUTRA, M.B.L.; OLIVEIRA, E.S. Avaliação da fermentação e dos compostos secundários em aguardente de banana e manga. **Alim. Nutrição**, Araraquara v. 24, n. 2, p. 195-201, 2013.

ALVARENGA, L. M.; MAIA, A. B. R. A.; OLIVEIRA, E. S. Processamento, avaliação química e sensorial de aguardente de manga (*Mangifera indica* L.). In: Congresso brasileiro de ciência e tecnologia de alimentos, 20, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBCTA, 2006. 1 CD-ROM.

ASSOCIATION OF OFFICIAL AGRICULTURAL CHEMISTS- AOAC. **Official methods of analysis of the Association of the Agricultural Chemists**, 12 ed, Washington: AOAC, 1992.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução – RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004.

CARNEIRO, C. N. **Caracterização e aplicação de cascas de arroz como bioadsorvente na remoção de íons de cobre e chumbo em meio aquoso**. 2010 116p. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de Roraima – Boa Vista, 2010.

FAGUNDES, G.R. ; YAMANISHI, O.K. ; BORGIO, L.A. ; MANICA, I. Características físicas e químicas do abacaxi 'Pérola' comercializado em 4 estabelecimentos de Brasília – DF. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 22, n. especial, p. 22-25, 2000.

GRANOTEC DO BRASIL S, A. **Nutrição e Biotecnologia**. Pesquisa e Desenvolvimento. Regulamentação técnica, 2009.

GUERRA, N. B.; LIVERA, A. V. Correlação entre o perfil sensorial e determinações físicas e químicas do abacaxi cv. 'Pérola'. **Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal**, v. 21, n. 1, p. 32-35, 1999.

IAL, Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4 ed. São Paulo, 2005. 1018p.

KOBORI, C. N. AND JORGE, N. Caracterização dos Óleos de Algumas Sementes de Frutas como Aproveitamento de Resíduos Industriais, **Ciênc, agrotec**, v.29, n.5, p .1008-1014, 2005.

KOCH, J. H. D. Determination of falsified orange juice, **Deutsche Lebensmittel-Rundschau**, v, 6, p 185-195, 1971.

LARA, C. A. **Produção de aguardente de banana: emprego de enzimas pectinolíticas e efeito de fontes de nitrogênio e quantidade de inóculo na formação de álcoois superiores.** 2007. 74p. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos), Belo Horizonte, Brasil: Universidade Federal de Minas Gerais; 2007.

MANICA, I. Fruticultura tropical 5: abacaxi. Porto Alegre: Cinco Continentes, 1999. 501 p.

MOHAPATRA, D.; MISHRA, S.; SUTAR, N. Banana and its by-product utilization: an overview, **Journal of Scientific & Industrial Research**, v, 69, 2010.

MORÁN, J.I.; ALVAREZ, V.A.; CYRAS, V.P.; VÁZQUEZ, A. Extraction of cellulose and preparation of nanocellulose from sisal fibers. **Cellulose**, v. 15, 2008.

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

PELIZER, H. L.; PONTIERI H. M.; MORAES O. I. Utilização de resíduos agroindustriais em processos biotecnológicos como perspectiva de redução do impacto ambiental, São Paulo: **Journal of technology management & innovation**, v. 2, 2007.

SILVA, A.P.V.; MAIA, G.A.O.; OLIVEIRA, G.F.S. Estudo da produção do suco clarificado de cajá (*Spondias tuberosa L.*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.19, n.1, p.33-36, 1999

SILVA, M. B. L. ; CHAVES, B. P. ; LELIS, V. G. ; ALVARENGA, L. M. ; ZUIM, D. R. ; SILVA, P. H. A. Qualidade Físico Química e Sensorial de aguardentes de polpa de banana e banana integral submetidas a hidrólise enzimática. **Alimentos e Nutrição**, 20(2): 217-221, 2009.

SCHIEBER, A.; FÜGEL, R.; HENKE, M.; CARLE, R. Determination of the fruit content of strawberry fruit preparations by gravimetric quantification of hemicellulose, **Food Chemistry**, 2005; 91: 365-371.

TARLEY, C. R. T.; ARRUDA, M. A. Z. Bisorption of heavy metals using rice milling by- products.Characterization and application for removal of metals from aqueous effluents. **Chemosphere**, p. 987-995, 2004.

THÉ, P. M. P.; NUNES, R. P.; MOREIRA DA SILVA, L.I.M., ARAÚJO, B.M. Características físicas, físico-químicas, químicas e atividade enzimática de

abacaxi cv. smooth cayenne recém colhido. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara v. 21, n. 2, p. 273-281, 2010.

YULIARTI, O.; MATIA-MERINO, L.; GOH, K. T.; MAWSON J.; BRENNAN, C. Characterisation of gold kiwifruit pectin isolated by enzymatic treatment, **Int J Food Sci Tech**, v. 47, p. 633–639, 2012.

Capítulo 3

Fermentação alcoólica de polpa de abacaxi com e sem adição de casca: Cinética da fermentação e compostos secundários

Resumo

O abacaxi é um fruto de regiões tropicais e subtropicais altamente consumido em todo o mundo e com grandes índices de perdas. Produtos obtidos por fermentação alcoólica de resíduos e excedentes de frutas são alternativas para minimizar as perdas provenientes da pós-colheita e do processamento de frutas na indústria. A qualidade de um fermentado alcoólico depende do teor dos compostos secundários no produto final. Neste estudo, foi avaliado o potencial para o aproveitamento de resíduos provenientes do processamento de abacaxi na fermentação alcoólica. Os meios de fermentação utilizados consistiram da polpa de abacaxi adicionada de 0, 10, 20 ou 30 % de resíduos (cascas). Realizou-se também a caracterização físico-química dos fermentados alcoólicos de abacaxi. Os teores de etanol, açúcares redutores totais e acidez titulável total foram determinados nos mostos e nos fermentados alcoólicos. Foram determinados os parâmetros cinéticos de fermentação: rendimento em etanol (%), eficiência da levedura (%) e produtividade da fermentação alcoólica ($\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$). Os fermentados de abacaxi com adição de 10% de casca e sem adição de casca, submetidos à hidrólise enzimática foram analisados quanto à acidez, teor de sólidos solúveis totais, pH, teor alcoólico, ésteres totais (acetato de etila, lactato de etila), aldeídos (acetaldeído), álcoois superiores totais (n-propanol, isobutanol, isoamílicos), metanol, furfural, 1-butanol e 2-butanol. Os melhores rendimentos em etanol foram obtidos nas fermentações dos mostos com adição de 10% de casca submetidas à hidrólise enzimática e sem adição de casca. O fermentado alcoólico obtido do abacaxi integral (30% de casca) hidrolisado não diferiu significativamente do mosto com 20% de casca hidrolisada em relação a todos os parâmetros cinéticos avaliados. Todos os compostos determinados nos fermentados de abacaxi estão dentro dos limites recomendados na literatura. A adição de 10% de casca

ao mosto de abacaxi não interferiu negativamente na qualidade físico-química do produto fermentado.

1. Introdução

O Brasil é um importante produtor mundial de frutas, mas apresenta altos índices de desperdício, incluindo o não aproveitamento de excedentes da safra, principalmente por se tratar de matéria-prima susceptível à degradação. Por isso, são descartadas, diariamente, grandes quantidades de frutas que não apresentam qualidade para o consumo *in natura*, pois apresentam defeitos nas cascas, tamanhos, coloração, consistência, entre outros fatores (TESSARO *et al.*, 2010). Além disso, o processamento de frutas gera uma grande quantidade de resíduos como cascas, bagaços, sementes, caroços e outros resíduos que podem ser aproveitados.

As cascas de frutas apresentam altos valores de carboidratos, podendo ser utilizadas em processos fermentativos, após tratamento enzimático. A utilização de resíduos do processamento de frutas pode gerar novos produtos, além de evitar o desperdício. Portanto, é necessário desenvolver tecnologias que permitam o aproveitamento dos resíduos e proporcionem um incremento à renda do pequeno produtor.

As matérias-primas açucaradas são os melhores substratos para fermentação alcoólica. Bortolini *et al.* (2001) estudaram as fermentações alcoólica e acética de sucos de kiwi. Hernández-gómez *et al.* (2002) produziram aguardente de melão a partir de melão inteiro, polpa e semente e somente polpa. Nogueira *et al.* (2005) avaliaram a fermentação alcoólica do extrato de bagaço de maçã. Asquieri *et al.* (2009) produziram aguardente de jabuticaba a partir da casca e borra da fabricação de fermentado de jabuticaba. Silva *et al.* (2009) produziram aguardente de banana a partir de casca e polpa de banana e verificaram a qualidade físico-química e sensorial dessas aguardentes.

Produtos obtidos a partir da fermentação de resíduos e excedentes de frutas são alternativas para produtores rurais que cultivam frutas, evitando perdas pós-colheita consideráveis durante a safra. Entretanto, estudos mais abrangentes devem ser realizados, por se tratar de produtos novos no mercado nacional.

A legislação brasileira define fermentado de frutas como a bebida com graduação alcoólica de quatro a quatorze por cento em volume, a vinte graus Celsius, obtida da fermentação alcoólica do mosto de frutos sadios, frescos e maduros (BRASIL, 1997).

A fabricação de fermentados de frutas já está bem estabelecida e muitas frutas tropicais foram utilizadas com sucesso nesse processo, como a laranja (CORAZZA *et al.*, 2001), a ata, a mangaba e a ciriguela (MUNIZ *et al.*, 2002), o camu-camu (MAEDA e ANDRADE, 2003), a acerola (SANTOS *et al.*, 2005), o caju (TORRES NETO *et al.*, 2006) e a jaca (ASSIS NETO, 2010).

A fermentação alcoólica de suco de frutas produz etanol como produto principal e muitos outros componentes secundários, como aldeídos, metanol, alcoóis superiores, ácidos e ésteres, que contribuem para a qualidade do fermentado (DATO *et al.*, 2005). A análise dos componentes secundários é importante para verificar se as características do produto estão dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira (GARRUTI, 2001).

Na literatura consultada, encontram-se vários trabalhos nos quais foram determinados vários compostos secundários de diferentes bebidas fermentadas, tais como: fermentado de mandacaru (ALMEIDA *et al.*, 2011), de cajá (DIAS *et al.*, 2003), de caju (TORRES NETO *et al.*, 2006), de uva (RIZZON e MIELE, 2003) e do fruto da palma forrageira (LOPES *et al.*, 2005), dentre outros.

O objetivo deste trabalho foi comparar os parâmetros cinéticos da fermentação alcoólica da polpa de abacaxi sem e com adição de cascas e avaliar a qualidade dos fermentados alcoólicos, determinando os compostos secundários .

2. Material e Métodos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Microbiologia Industrial e Biocatálise da Faculdade de Farmácia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

2.1. Material

Utilizou-se abacaxi da variedade *pérola* (*Ananas comosus* (L.) Merrill) no último estágio de maturação obtido de mercados locais, em Belo Horizonte, Minas Gerais (Brasil).

Para os ensaios de fermentação foram utilizados fermento prensado úmido comercial (marca *Itaiquara*) constituído de células de *Sacharomyces cerevisiae*.

Na hidrólise enzimática, foram utilizadas enzimas pectinase (Pectinex Ultra SP), celulase (Celluclast[®]), amilase (Spring alfa) e hemicelulase (Summer Xylan), cedidas pela Novozymes e pela Granotec.

2.2. Métodos

2.2.1. Processamento da matéria-prima e hidrólise enzimática

As frutas foram higienizadas em água corrente e deixadas em solução clorada (200 ppm) por 15 min (BRASIL, 2004).

Logo após, as frutas foram descascadas manualmente, as cascas reservadas e adicionadas às polpas na proporção de 10, 20 e 30 % em relação à massa total. Todas as amostras foram trituradas em liquidificador industrial (*Poli / Metalúrgica, Siemens Ltda, LB-15, Brusque, SC, Brasil*) e subdivididas conforme a **Tabela 1**.

Após a trituração, as amostras foram hidrolisadas, conforme descrito na metodologia do **capítulo 2**, com as enzimas descritas na **Tabela 2**.

Posteriormente, foi feita a desativação enzimática a 90°C por 5 min., em banho-maria, *Nova Ética, modelo 314DN*.

Tabela 1 – Mostos utilizados na fermentação alcoólica

| Abacaxi | Hidrólise | Mostos |
|----------------------------------|------------------|-------------------|
| Polpa sem adição de casca | Não | MA ₀ |
| Polpa sem adição de casca | Sim | MAH ₀ |
| Polpa adicionada de 10% de casca | Não | MA ₁₀ |
| Polpa adicionada de 10% de casca | Sim | MAH ₁₀ |
| Polpa adicionada de 20% de casca | Não | MA ₂₀ |
| Polpa adicionada de 20% de casca | Sim | MAH ₂₀ |
| Polpa adicionada de 30% de casca | Não | MA ₃₀ |
| Polpa adicionada de 30% de casca | Sim | MAH ₃₀ |

Tabela 2 – Enzimas utilizadas e condições de hidrólise enzimática

| Enzimas | Pectinase | Celulase | Hemicelulase | Amilase |
|--------------------|-------------------|-------------------------|---------------------|--------------------|
| Nome comercial | Pectinex Ultra SP | Celluclast [®] | Summer Xylan | Spring Alfa |
| Concentração (ppm) | 250 | 1000 | 60 | 600 |
| Tempo (min) | 78 | 30 | 30 | 30 |
| Temperatura (°C) | 35 | 35 | 35 | 55 |
| Referências | LARA (2007) | YULIARTI (2011) | GRANOTEC (2009) | GRANOTEC (2009) |

2.2.2. Fermentação alcoólica

As polpas de abacaxi com 0, 10, 20 e 30 % de casca, submetidas ou não a hidrólise enzimática foram fermentadas em frascos Erlenmeyers de 250 mL, contendo 100 mL de mosto e inoculado com fermento úmido (20g L^{-1}), com 80 % de umidade, incubados em estufa, à 30 °C. As fermentações foram conduzidas em três repetições.

Antes de iniciar a fermentação alcoólica foi feita a correção do teor de sólidos solúveis totais da polpa para 13°Brix, com adição de água destilada. Para esse ajuste, utilizou-se o refratômetro manual de 0 a 32°Brix (IAL, 1985).

Foram retiradas amostras de mosto após a inoculação e no tempo final de fermentação. As amostras foram centrifugadas em centrífuga *Janetzki* por 10 min a aproximadamente 7000 g e mantidas sob refrigeração entre 4 e 8 °C para análises físico-químicas posteriores.

2.2.3. Análises físico-químicas

Foram determinados os açúcares redutores totais (ART) e a acidez titulável total (expressa em ácido acético), nas amostras antes e após a fermentação. Além destas análises, foi feita a determinação do teor de etanol nos mostos fermentados. Todas as análises foram feitas em triplicata.

Para a determinação dos açúcares redutores totais (ART) no início e no final da fermentação, foi utilizada a metodologia do DNS (ácido 3,5 dinitrossalicílico) desenvolvida por Miller (1959). Baseia-se na reação entre o açúcar redutor e o ácido 3,5-dinitrosalicílico (cor amarelo), que é reduzido a um composto colorido avermelhado, o ácido 3-amino- 5-nitrosalicílico, oxidando o monossacarídeo redutor (MILLER, 1959). As leituras da absorvância das amostras foram efetuadas em espectrofotômetro, a 540nm. Como a polpa de fruta contém açúcares redutores (glicose e frutose) e açúcares não redutores (sacarose), esta determinação foi precedida de uma hidrólise ácida, para que a sacarose fosse convertida em açúcares redutores (glicose e frutose). Uma

alíquota de 2 mL da amostra foi transferida para um frasco Erlenmeyer de 25 mL e adicionou-se 2 mL de ácido clorídrico 2 mol.L^{-1} . O frasco Erlenmeyer foi colocado em banho-maria a $70 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 30 minutos, em seguida foi resfriado e seu conteúdo foi neutralizado com 3 mL de hidróxido de sódio 2 mol L^{-1} . Transferiu-se a amostra para um balão volumétrico de 100 mL e o volume foi completado com água destilada.

A acidez total titulável (ATT) foi determinada por titulometria com NaOH a $0,1 \text{ mol . L}^{-1}$. O método de determinação da acidez titulável total consiste na neutralização dos ácidos totais presentes na amostra pela utilização de uma base. Os valores foram expressos em g de ácido acético por 100 mL de amostra de acordo com a metodologia do Instituto Adolfo Lutz – IAL (2008).

Para a determinação do etanol, as amostras dos meios fermentados (vinhos) foram previamente destiladas por arraste de vapor, em microdestilador de álcool (Modelo Te-012). A concentração de etanol foi determinada espectrofotometricamente pelo método do dicromato de potássio modificado (SALIK e POVOH, 1993). Nesta reação, em meio ácido, o etanol é oxidado a ácido acético e a solução adquire tonalidade verde proporcional à concentração de etanol na amostra. O íon bicromato de cor amarela é reduzido a íon cromoso, de cor verde, que absorve a 600 nm. A intensidade da absorção é proporcional à concentração de íon cromoso formado e do etanol oxidado (CROWELL, 1961).

O teor de Sólidos Solúveis Totais (SST) foi determinado por leitura direta em refratômetro manual *Instrutemp* com escala de 0 a $32 \text{ }^\circ\text{Brix}$ e precisão de $0,2 \text{ }^\circ\text{Brix}$. Essa determinação consiste na medida do índice de refração das soluções e sua conversão a sólidos solúveis totais expressos em $^\circ\text{Brix}$, segundo metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz- IAL (2008).

O pH (potencial hidrogeniônico) foi determinado por leitura direta em potenciômetro digital previamente calibrado com soluções tampões de pH 4,0 e 7,0 de acordo com a metodologia descrita pela a AOAC (1995).

2.2.4. Cálculo dos parâmetros cinéticos da fermentação

Os parâmetros calculados foram a produtividade em etanol ($\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$), rendimento em etanol (%) e eficiência da levedura (%).

A produtividade em etanol expressa a massa de etanol produzida (g) por volume (L) de meio em fermentação por unidade de tempo (h). O rendimento em etanol foi determinado pela quantidade de etanol formada em relação àquela teórica segundo o teor de açúcar determinado no mosto. A quantidade de etanol esperada foi calculada considerando-se que 1g de açúcares redutores totais produzem 0,511g de etanol, conforme descrito na equação 1.

$$\text{Rendimento em etanol (\%)} = \frac{\text{Etanol produzido}}{\text{Etanol esperado}} \times 100 = \frac{\text{Etanol produzido (g. L}^{-1}\text{)}}{\text{ART}_0 \cdot 0,511} \times 100 \quad (1)$$

onde ART_0 = Açúcares redutores totais no tempo inicial

0,511 = Fator determinado pela estequiometria da reação

A eficiência da levedura é a fração do açúcar convertido em etanol, de acordo com a equação 2.

$$\text{Eficiência da levedura (\%)} = \frac{\text{Etanol produzido (g. L}^{-1}\text{)}}{(\text{ART}_0 - \text{ART}_f) \times 0,511} \times 100 \quad (2)$$

onde ART_0 = Açúcares redutores totais no tempo inicial

ART_f = Açúcares redutores totais ao final da fermentação

0,511 = Fator determinado pela estequiometria da reação

2.2.5. Acompanhamento da fermentação e produção de CO_2

Foi realizado um estudo cinético das fermentações que apresentaram maiores valores de rendimento em etanol, eficiência da levedura e produtividade em etanol. Para a confecção das curvas de desprendimento de

CO₂, consumo de ART e produção de etanol, foram coletadas, periodicamente, amostras dos meios de fermentação e determinados o teor de ART e etanol. As fermentações foram realizadas em três repetições.

Para a determinação do tempo de término da fermentação foram usados os dados tabelados de liberação horária de CO₂ em gramas/100 mL de vinho. A análise dos mesmos levou ao estabelecimento de alguns critérios para determinar se a fermentação havia terminado, seja pelo esgotamento do açúcar do meio, ou pela inibição da levedura. O tempo final é aquele a partir do qual a fermentação evolui a uma velocidade baixa, consumindo parcelas muito pequenas de açúcar do meio. Os critérios a serem satisfeitos para considerar a fermentação finalizada foram aplicados na ordem de sequência, segundo Silva, (2003).

I – Liberação horária de CO₂ igual ou menor que 0,0999 g CO₂/ 100 mL de vinho;

II – Liberação horária de CO₂ menor que 5 % da quantidade estequiométrica total a ser liberada.

III – Liberação horária de CO₂ na fase de declínio da fermentação, ou seja, após a fase principal de liberações mais elevadas, menor que 50% do valor imediatamente anterior (SILVA, 2003).

2.2.6. Determinação dos compostos voláteis

Foram determinados os seguintes compostos: ésteres totais (acetato de etila, lactato de etila), aldeídos (acetaldeído), álcoois superiores totais (npropanol, isobutanol, isoamílicos), metanol, furfural, 1-butanol e 2-butanol por cromatografia.

As análises cromatográficas (CG/ FID) foram realizadas de acordo com manual operacional de bebidas e vinagres (BRASIL, 2005), em cromatógrafo a gás, sistema de detecção FID, marca Intecrom, modelo Geração 8000 e coluna capilar carbowax 0,53 mm X 30m X 1,00uM, com temperatura do detector de

180 °C e do injetor de 140°C, fluxo de nitrogênio de 30 mL min⁻¹, de hidrogênio de 30 mL min⁻¹ e de ar: de 300 mL min⁻¹. A amostra foi previamente destilada e utilizou-se curva padrão. Utilizou-se 1-pentanol como padrão interno.

2.2.7. Análise estatística

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado. Os resultados das análises foram comparados por Análise de Variância (ANOVA) e teste Tukey, ao nível de 5% de probabilidade utilizando o software EXCEL. As análises foram realizadas em triplicata.

A médias dos teores de acidez, teor de sólidos solúveis, acidez titulável total, ART e pH como também dos compostos secundários foram avaliados por teste t de student por meio do software SISVAR desenvolvido por Ferreira (2011).

3. Resultados e Discussão

3.1. Análises físico-químicas

Os valores de acidez total titulável e açúcares redutores totais de todos os tratamentos nas fermentações alcoólicas de abacaxi, em condições iniciais e finais do processo e os teores de etanol são mostrados na **Tabela 3**.

Os teores de ART finais dos mostos de abacaxi fermentados variaram entre 5,9 e 11,3 g L⁻¹. Sem a hidrólise enzimática, os teores residuais de ART foram de 5,9; 6,9; 9,4 e 11,3 g L⁻¹, nos mostos com 0, 10, 20 e 30% de casca respectivamente. Nas amostras que sofreram hidrólise enzimática, os teores residuais de ART foram de 6,7; 7,2; 8,1 e 7,1 g L⁻¹, com adição de 0, 10, 20 e 30% de casca, respectivamente. Esses resultados demonstraram que a adição de casca ao mosto em maiores quantidades, resulta em maiores teores de

açúcares residuais, possivelmente pelo aumento da viscosidade do meio, o que dificulta um maior contato das células com o mosto.

Tabela 3 - Açúcares redutores totais, acidez titulável total e etanol nos mostos de abacaxi

| Mostos de abacaxi | ART ₀ ¹ | ART _f ² | ATT ₀ ³ | ATT _f ⁴ | Etanol ⁵ |
|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| MA ₀ | 118,4±0,07 ^{bc} | 5,91±0,03 ^d | 0,52±0,10 ^a | 0,58±0,12 ^a | 52,5±1,4 ^{abc} |
| MAH ₀ | 119,8±0,11 ^{ab} | 6,71±0,07 ^{cd} | 0,51±0,11 ^a | 0,57±0,13 ^a | 59,4±2,3 ^a |
| MA ₁₀ | 121,6±0,05 ^a | 6,89±0,04 ^{cd} | 0,52±0,11 ^a | 0,58±0,10 ^a | 52,3±3,8 ^{abc} |
| MAH ₁₀ | 120,8±0,04 ^a | 7,24±0,02 ^{cd} | 0,52±0,10 ^a | 0,58±0,15 ^a | 58,4±2,5 ^{ab} |
| MA ₂₀ | 120,6±0,22 ^a | 9,38±0,12 ^{ab} | 0,54±0,10 ^a | 0,59±0,12 ^a | 45,2±2,2 ^{cd} |
| MAH ₂₀ | 120,3±0,14 ^{ab} | 8,13±0,10 ^{bc} | 0,55±0,11 ^a | 0,59±0,12 ^a | 50,4±2,2 ^{abcd} |
| MA ₃₀ | 117,1±0,32 ^c | 11,25±0,39 ^a | 0,54±0,13 ^a | 0,61±0,15 ^a | 41,3±1,9 ^d |
| MAH ₃₀ | 118,0±0,12 ^{bc} | 7,07±0,10 ^{cd} | 0,54±0,10 ^a | 0,62±0,10 ^a | 49,4±0,8 ^{bcd} |

*Médias que não possuem as mesmas letras numa mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey (p < 0,05).

1: Açúcares redutores Totais no tempo inicial (g. L⁻¹)

2: Açúcares redutores Totais no tempo final ou residual (g. L⁻¹)

3: Acidez Total Titulável no tempo inicial (g. 100 mL⁻¹)

4: Acidez Total Titulável no tempo final (g. 100 mL⁻¹)

5: Etanol (g. L⁻¹)

MA₀ Mosto de abacaxi sem adição de casca

MAH₀ Mosto de abacaxi hidrolisado e sem a casca

MA₁₀: Mosto de abacaxi com 10% de casca adicionada

MAH₁₀: Mosto de abacaxi com 10% de casca adicionada e hidrolisado

MA₂₀ Mosto de abacaxi com 20% de casca adicionada

MAH₂₀ Mosto de abacaxi com 20% de casca adicionada e hidrolisado

MA₃₀ Mosto de abacaxi com 30% de casca adicionada

MAH₃₀ Mosto de abacaxi com 30% de casca adicionada e hidrolisado

Os teores de etanol obtidos ao final da fermentação alcoólica de abacaxi variaram de 41,3 g L⁻¹ na fermentação com a adição de 30% de casca sem hidrólise enzimática a 59,4 g L⁻¹ quando foi utilizada somente a polpa hidrolisada.

No fermentado obtido com a utilização de 10% de casca, obteve-se teores de etanol de 52,3 e 58,4 g L⁻¹ para o não hidrolisado e o hidrolisado, respectivamente. Já no fermentado obtido com a utilização de 20% de casca, o teor de etanol foi de 45,2 g L⁻¹ quando não se realizou a hidrólise enzimática e 50,4 g L⁻¹ quando a polpa e a casca foram hidrolisadas antes da fermentação.

A quantidade de etanol obtida foi menor nos mostos adicionados de maiores porcentagens de casca.

3.2. Parâmetros cinéticos da fermentação

A média dos parâmetros cinéticos da fermentação de abacaxi são apresentados na **Tabela 4**.

A hidrólise favoreceu a produção de etanol em todos os tratamentos, ocasionando o aumento do rendimento em etanol.

Na fermentação da polpa de abacaxi sem adição de casca hidrolisada, houve um aumento do rendimento em etanol de 10,3 % em relação à polpa hidrolisada. Já na fermentação alcoólica do mosto de abacaxi com adição de 10 % de casca hidrolisada, o aumento do rendimento em etanol foi de 8,3 %.

Nas fermentações de abacaxi com adição de 20 e 30 % de casca ao mosto, o rendimento em etanol aumentou 12,5 e 19 % respectivamente, com o uso da hidrólise enzimática. Em todas as fermentações, a hidrólise enzimática aumentou o rendimento em etanol.

Tabela 4 - Média dos parâmetros cinéticos da fermentação dos mostos

| Mostos de abacaxi | Rendimento em etanol (%) | Eficiência da levedura (%) | Produtividade em etanol (g L⁻¹ h⁻¹) |
|--------------------------|---|---|--|
| MA ₀ | 79,18±1,85 ^b | 84,10±2,11 ^b | 1,90±0,10 ^{bc} |
| MAH ₀ | 87,31±0,41 ^a | 93,27±0,47 ^a | 2,03±0,01 ^a |
| MA ₁₀ | 76,76±0,85 ^{bc} | 82,13±0,98 ^b | 1,81±0,01 ^{cd} |
| MAH ₁₀ | 83,11±2,63 ^a | 89,21±3,04 ^a | 1,94±0,01 ^{ab} |
| MA ₂₀ | 66,80±0,98 ^d | 72,43±1,09 ^c | 1,57±0,01 ^e |
| MAH ₂₀ | 75,14±0,50 ^c | 81,54±0,60 ^b | 1,77±0,03 ^d |
| MA ₃₀ | 63,04±0,15 ^e | 67,78±0,18 ^d | 1,44±0,01 ^f |
| MAH ₃₀ | 74,98±0,17 ^c | 80,57±0,20 ^b | 1,73±0,02 ^d |

*Médias que não possuem as mesmas letras numa mesma coluna são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

MA₀ Mosto de abacaxi sem adição de casca

MAH₀ Mosto de abacaxi hidrolisado e sem a casca

MA₁₀: Mosto de abacaxi com 10% de casca adicionada

MAH₁₀: Mosto de abacaxi com 10% de casca adicionada e hidrolisado

MA₂₀ Mosto de abacaxi com 20% de casca adicionada

MAH₂₀ Mosto de abacaxi com 20% de casca adicionada e hidrolisado

MA₃₀ Mosto de abacaxi com 30% de casca adicionada

MAH₃₀ Mosto de abacaxi com 30% de casca adicionada e hidrolisado

Em relação à eficiência da levedura, quando se utilizou a hidrólise enzimática, houve um aumento médio de 12,7 % da eficiência considerando as fermentações sem adição de casca e com adição de 10, 20 e 30 % de casca de abacaxi no mosto. Já para a produtividade da fermentação, o aumento médio da produtividade, considerando todas as fermentações, foi 11,7 % com o uso da hidrólise enzimática.

Nas fermentações com adição de 20 % e 30 % de casca foram obtidos menores teores de rendimento em etanol, eficiência da levedura e produtividade da fermentação, provavelmente pelo aumento da viscosidade do meio em função da maior concentração de cascas, o que pode dificultar a fermentação. Na fermentação de abacaxi, os melhores parâmetros cinéticos também foram encontrados quando a polpa sem casca e hidrolisada foi fermentada. A utilização de 10 % de casca com tratamento enzimático, não diferiu da fermentação da polpa sem casca hidrolisada e foi superior ao tratamento sem casca e sem hidrólise.

Nas fermentações das polpas com hidrólise enzimática foi obtido maior rendimento em etanol que as fermentações da polpa sem hidrólise enzimática, demonstrando a necessidade de hidrolisar as frutas, ricas em polissacarídeos não fermentáveis pela levedura. Os mesmos resultados foram observados ao analisar a eficiência da levedura e a produtividade da fermentação.

Os parâmetros cinéticos da fermentação da polpa com adição de 10% de casca hidrolisada e polpa sem casca hidrolisada não diferiram significativamente entre si, demonstrando que a adição de 10% de casca de abacaxi ao mosto de fermentação alcoólica não diminuiu o rendimento em etanol e a eficiência da levedura.

Bortolini *et al.* (2001) encontraram rendimentos da fermentação alcoólica inferiores aos encontrados neste trabalho variando entre 38,65 e 47,23%, em estudo de fermentação alcoólica de suco de kiwi.

Alvarenga *et al.* (2013) estudaram a fermentação de polpa de manga e de banana e encontraram rendimentos em etanol de 82,9 e 77,2%, respectivamente, valores inferiores aos obtidos na fermentação de abacaxi utilizando somente a polpa hidrolisada.

Observou-se que os resultados obtidos para os parâmetros fermentativos de rendimento em etanol foram semelhantes aos obtidos em estudos de parâmetros fermentativos por Oliveira, 2001, que encontrou valores

de rendimento em etanol que variaram entre 24,3 % e 90,5 %, em fermentações utilizando 150 g.L^{-1} de glicose como substrato.

As **Figuras 1, 2 e 3** ilustram as curvas de fermentação alcoólica em relação ao consumo de açúcar, produção de etanol e liberação de CO_2 .

Analisando as curvas de liberação de CO_2 (**Figura 1**), de consumo de ART (**Figura 2**) e de produção de etanol (**Figura 3**), verificou-se que não houve grande diferença entre os tratamentos com 10 % de adição de casca hidrolisada e sem adição de casca, sugerindo a possibilidade do uso de resíduo na fermentação alcoólica.

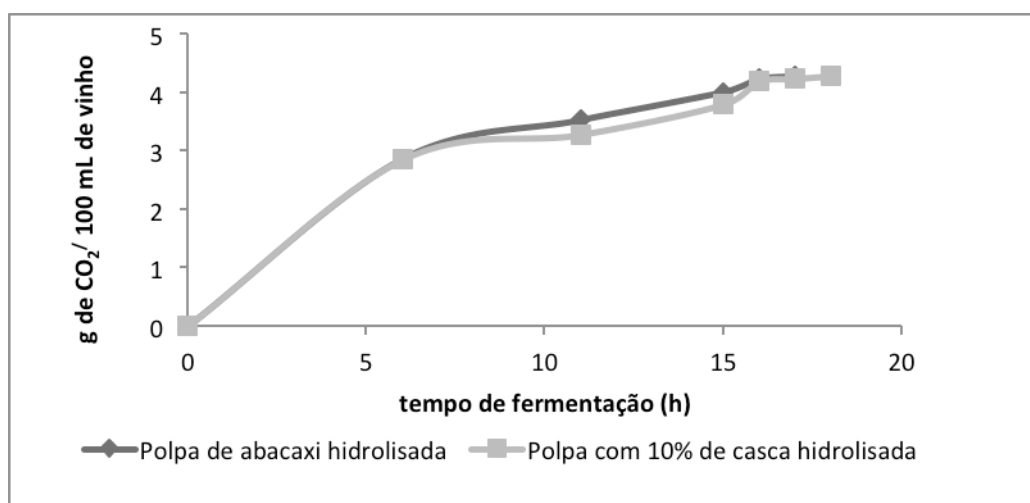


Figura 1 – Desprendimento de CO_2 durante a fermentação de mosto de abacaxi

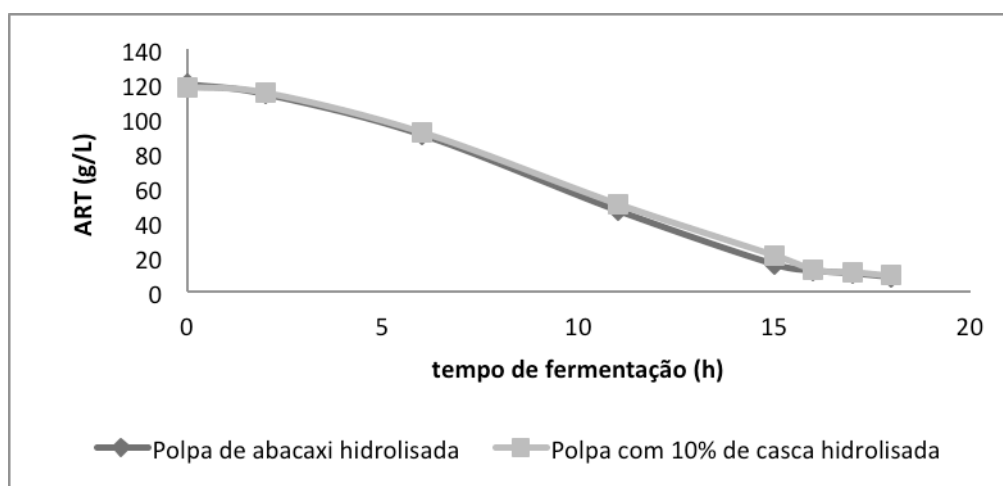


Figura 2 – Consumo de açúcares redutores totais durante a fermentação de mosto de abacaxi

O tempo de fermentação dos mostos de polpa de abacaxi e de polpa de abacaxi com adição de 10% de casca foi de 18h, quando a liberação horária de CO₂ foi igual ou menor que 0,0999 g CO₂/ 100 mL de meio. Foram obtidas curvas similares de desprendimento de CO₂ no acompanhamento das fermentações alcoólicas com e sem adição de casca de abacaxi.

Menezes (2006) quantificou os teores de açúcares redutores em tempos pré-determinados durante a fermentação de resíduos do processamento úmido de café na produção de etanol. No início da fermentação, o teor de açúcares foi de 87,45 g L⁻¹ e o teor de açúcar residual foi de 12,1 g L⁻¹. Aproximadamente 25 g L⁻¹ de etanol foram produzidas em 12 h de fermentação.

Lu *et al.* (2010) fermentaram um hidrolisado de sabugo de milho com 70 g L⁻¹ de glicose com levedura de panificação e mostraram que a fermentação teve duração de aproximadamente 36h. Ao final da fermentação, a concentração de etanol foi de 30 g L⁻¹.

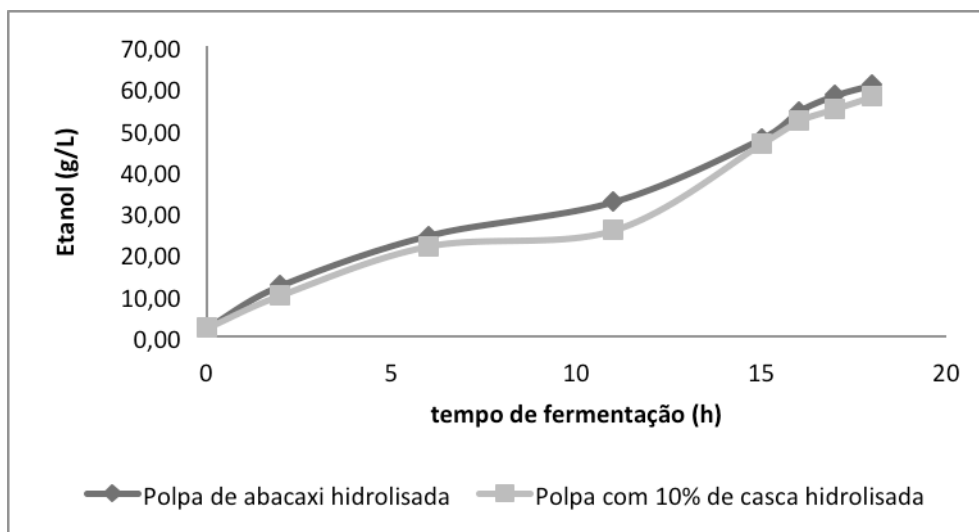


Figura 3 – Produção de etanol durante a fermentação de mosto de abacaxi

Neste trabalho, utilizando cascas de abacaxi na fermentação alcoólica, foram obtidos teores de etanol superiores aos encontrados por Menezes (2006) que utilizou resíduo de café e por Lu *et al.* (2010) na fermentação o sabugo de milho hidrolisado.

Schwan *et al.* (2001) verificaram que na fermentação do caldo de cana, de 18 a 20° Brix, utilizando *S. cerevisae* não selecionada, a fermentação praticamente estabilizou após um período de 12 h, em menor tempo do que os encontrados neste trabalho.

Bajaj e Sharma (2010) estudaram a fermentação alcoólica de melaço contendo 160 g L⁻¹ de açúcares com uma cepa selecionada de levedura *S. cerevisae* e obtiveram, após 24 h de fermentação, 7,4% (v/v) de etanol, valor superior ao encontrado neste trabalho. As variações encontradas nos parâmetros cinéticos da fermentação podem ser justificadas pelas diferentes condições de fermentação utilizadas, tais como: pH, temperatura, tipo de substrato, quantidade de inóculo, linhagem de levedura, dentre outras.

Os resultados das análises de acidez, teor de sólidos solúveis totais, pH e teor alcoólico estão descritos na **Tabela 5**.

Tabela 5 - Análises físico-químicas dos fermentados alcoólicos de abacaxi

| Parâmetros | Fermentado de abacaxi | |
|---------------------|----------------------------|--------------------------|
| | Com adição de 10% de casca | Sem adição de casca |
| ATT ¹ | | |
| INICIAL | 4,6 ± 0,1 ^a | 4,1 ± 0,1 ^a |
| FINAL | 5,5 ± 0,1 ^a | 5,2 ± 0,2 ^a |
| SST ² | | |
| INICIAL | 13,0 ± 0,0 ^a | 13,0 ± 0,0 ^a |
| FINAL | 3,8 ± 0,2 ^a | 3,5 ± 0,2 ^a |
| pH | | |
| INICIAL | 3,70 ± 0,15 ^a | 3,85 ± 0,08 ^a |
| FINAL | 3,35 ± 0,13 ^a | 3,40 ± 0,07 ^a |
| Etanol ³ | | |
| FINAL | 6,8 ± 0,2 ^a | 5,9 ± 0,1 ^b |

* médias seguidas por uma mesma letra, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo teste t.

1: Acidez Total Titulável (g. L-1)

2: Sólidos Solúveis Totais (°Brix)

3: Etanol (°GL)

Os valores de acidez total do fermentado de abacaxi, com e sem adição de casca, foram 4,6 e 4,1 g L⁻¹, respectivamente. Estes valores são superiores à acidez encontrada para o fermentado de caju (3,3 g L⁻¹) estudado por Costa *et al.*, (2013) e inferiores à acidez do fermentado de laranja (8,1 g L⁻¹) (CORAZZA, 2001). Para os fermentados de frutas, os teores de acidez total devem estar compreendidos na faixa de 3,0 a 7,8 g L⁻¹ (50 a 130 meq/L) (BRASIL, 2008).

A concentração de ácido acético nos fermentados de frutas, geralmente, representa 60 a 95 % da acidez total. O ácido acético é o principal ácido orgânico produzido pela levedura *S. cerevisiae* durante a fermentação, sendo expresso em acidez volátil (RIZZON *et al.*, 1994). A quantidade excessiva de ácido confere um gosto desagradável de vinagre ao produto (ALMEIDA *et al.*, 2011).

Quanto à porcentagem de sólidos solúveis residuais, foram encontrados valores de 3,5 e 3,85 °Brix para os fermentados de abacaxi, sem e com adição de casca. Esses valores podem ser explicados pela presença de açúcares não fermentescíveis e outros sólidos solúveis (CORAZZA *et al.*, 2001; SILVA *et al.*, 2005), o que foi observado em outros fermentados de frutas (CORAZZA *et al.*, 2001; Dias *et al.*, 2003). Muniz *et al.* (2002) encontraram 5,36; 5,76 e 6,26°Brix nos fermentados de ata, ciriguela e mangaba, respectivamente.

O pH em torno de 3,5 confere ao fermentado maior resistência às infecções (contaminações por microrganismos). Geralmente, o fermentado de fruta apresenta pH variando entre 3,0 e 4,0 (HASHIZUME, 2001), como o encontrado para os fermentados de abacaxi, com e sem adição de 10% de casca ao mosto. O valor baixo de pH confere resistência do produto à infecção bacteriana (HASHIZUME, 2001). O pH igual a 3,4 encontrado para o fermentado de abacaxi sem adição de casca é considerado ideal para que o produto apresente maior resistência às infecções. Corazza *et al.* (2001) obtiveram um pH final de 3,3 em fermentado de laranja. Em fermentados de polpa de jabuticaba foi atingido pH final de de 3,3 (ASQUIERI *et al.*, 2004). Para o fermentado de mangaba, ata e ciriguela, Muniz *et al.* (2002) obtiveram

pH de 3,21; 4,12 e 3,06, respectivamente. Lopes e Silva (2006) obtiveram para o fermentado de figo da Índia um pH final de 3,5.

Nos fermentados de abacaxi obtidos com casca e sem casca, o teor alcoólico encontrado foi de 6,8 e 5,9 °GL, respectivamente (**Tabela 5**). Verifica-se que o teor alcoólico dos fermentados de abacaxi estão dentro do que estabelece a legislação brasileira sobre bebidas (BRASIL, 1997).

O etanol é o principal componente do fermentado de fruta, sendo apenas menor que a água (TORRES NETO *et al.*, 2006). Muniz *et al.* (2002) encontraram 8,4; 9,8 e 10,1 °GL para o fermentado de ata, mangaba e ciriguela, respectivamente. Os maiores teores de etanol podem ser obtidos em mostos contendo maiores teores de açúcares inicial ou com maior tempo de fermentação. Arruda *et al.* (2003) estudaram a produção fermentado de banana e obtiveram bebidas com graduação alcoólica variando de 8,9 a 9,1% v/v. Resultados semelhantes foram obtidos por Reddy e Reddy (2009) em fermentado de manga.

Na **Tabela 6**, encontram-se os resultados obtidos para o fermentado alcoólico de abacaxi e de fermentados de fruta pesquisados por outros autores, em relação ao pH, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e grau alcoólico.

Os resultados encontrados neste trabalho foram similares aos obtidos por Parente *et al.* (2014) na produção de fermentado alcoólico de polpa de abacaxi. Teores de etanol superiores foram encontrados na obtenção de fermentado alcoólico de jaca (ASQUIERI *et al.*, 2008), melancia (FONTAN *et al.*, 2011) e morango (ANDRADE *et al.*, 2013), dentre outros, devido às diferenças de processamento, matéria-prima e métodos analíticos.

Tabela 6 - Análises físico-químicas do fermentado alcoólico de abacaxi e fermentados alcoólicos encontrados na literatura

| Amostra | Etanol¹ | SST² | ATT³ | pH | Referência |
|---------------------|---------------------------|------------------------|------------------------|-----------|----------------------------------|
| Polpa de abacaxi | 5,90 | 4,00 | 0,52 | 3,40 | Presente estudo |
| Abacaxi com casca | 6,80 | 3,35 | 0,55 | 3,35 | Presente estudo |
| Polpa de abacaxi | 11,20 | - | 0,47 | 3,68 | Araújo <i>et al.</i> , 2009 |
| Fruto mandacaru | 10,40 | 5,50 | 0,30 | 3,89 | Almeida <i>et al.</i> , 2006 |
| Polpa de jabuticaba | 10,00 | 3,90 | 0,33 | 4,00 | Asquieri <i>et al.</i> , 2004 |
| Casca de jabuticaba | 13,00 | 8,70 | 0,78 | 3,30 | Asquieri <i>et al.</i> , 2004 |
| Polpa de jaca | 13,00 | - | 0,10 | 3,91 | Asquieri <i>et al.</i> , 2008 |
| Polpa de melancia | 10,00 | 6,00 | 0,45 | 4,10 | Fontan <i>et al.</i> , 2011 |
| Polpa de abacaxi | 5,90 | 4,50 | 1,03 | 3,77 | Parente <i>et al.</i> , 2014 |
| Polpa de morango | 9,62 | 8,00 | 0,45 | 3,51 | Andrade <i>et al.</i> , 2013 |
| Pseudofruto do caju | 11,50 | 3,60 | 0,72 | 3,50 | Torres Neto <i>et al.</i> , 2006 |

1: Grau alcoólico (°GL).

2: Sólidos Solúveis Totais Finais (°Brix).

3: Acidez Total Titulável Final (g. 100 mL⁻¹).

3.3. Determinação dos compostos voláteis

Os teores de ésteres, aldeídos, alcoóis superiores, álcool n-butílico, álcool secbutílico, metanol e furfural dos fermentados obtidos estão descritos na **Tabela 7**. As concentrações de acetato de etila encontradas no fermentado de abacaxi com casca e sem casca, foram de 60 e 26,6 mg L⁻¹, respectivamente. Os teores obtidos foram inferiores aos encontrados na bebida fermentada de mandacaru (ALMEIDA *et al.*, 2011) e no fermentado de cajá (DIAS *et al.*, 2003), iguais a 118,93 e 250 mg L⁻¹, respectivamente.

Tabela 7 - Compostos voláteis dos fermentados de abacaxi

| Compostos voláteis mg L ⁻¹ de bebida | Fermentado de abacaxi | |
|--|--------------------------|--------------------------|
| | Com casca | Sem casca |
| Ésteres | | |
| Acetato de etila | 60,0 ± 2,6 ^a | 26,6 ± 0,5 ^b |
| Lactato de etila | 0,0 | 0,0 |
| Aldeídos | | |
| Acetaldeído | 30,6 ± 2,5 ^a | 31,0 ± 4,0 ^a |
| Furfural | 0,0 | 0,0 |
| Álcoois superiores | | |
| n-propílico | 46,1 ± 0,9 ^b | 61,3 ± 0,8 ^a |
| isobutílico | 58,1 ± 0,9 ^b | 62,3 ± 0,6 ^a |
| isoamílico | 193,0 ± 0,9 ^a | 169,9 ± 1,0 ^b |
| n butílico | 0,0 | 0,0 |
| secbutílico | 0,0 | 0,0 |
| Alcool metílico | 65,2 ± 1,5 ^b | 74,2 ± 2,9 ^a |

*médias seguidas por uma mesma letra, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo teste t.

Os teores elevados de acetato de etila proporcionam gosto acético nos vinhos, prejudicial a sua qualidade (RIZZON *et al.*, 1994). Oliveira (2001) afirma que concentrações de acetato de etila abaixo de 200 mg L⁻¹ conferem um odor agradável ao produto fermentado, o que contribui para o aroma do produto. O composto possui aroma frutado e está presente em diversas matérias-primas utilizadas. Dentre os componentes ésteres nos fermentados e seus destilados, o acetato de etila é o que apresenta maior quantidade, em torno de 80% dos ésteres dos fermentados (SALTON *et al.*, 2000, HASHIZUME, 2001; ALMEIDA *et al.*, 2011).

De acordo com Garruti (2001), as concentrações de acetato de etila variando entre 50 a 80 mg L⁻¹ contribuem favoravelmente ao aroma do produto final. Considerando essa faixa sugerida por Garruti (2001), somente o fermentado alcoólico de abacaxi produzido com a casca de abacaxi apresentou

a concentração de acetato de etila ideal para contribuir para o aroma desejável do produto.

Os teores de acetato de etila e álcool isoamílico foram maiores nos fermentados alcoólicos obtidos com a utilização de casca de abacaxi. Não houve diferença significativa quanto ao teor de acetaldeído nos fermentados. Os teores dos demais compostos voláteis analisados foram superiores nos fermentados obtidos sem a utilização da casca de abacaxi.

Nos fermentados de abacaxi, sem adição de casca, os valores de acetaldeído encontrados foram de aproximadamente $31,0 \text{ mg L}^{-1}$. Já nos fermentados com adição de casca de abacaxi, os teores encontrados foram de $30,6 \text{ mg L}^{-1}$. Os teores obtidos foram inferiores aos encontrados na bebida fermentada de mandacaru (ALMEIDA *et al.*, 2011) e no fermentado de caju (TORRES NETO *et al.*, 2006), iguais a $154,33$ e 690 mg L^{-1} , respectivamente. O acetaldeído é formado durante a fermentação alcoólica, a partir de aminoácidos presentes no meio, pela oxidação do etanol e pode ser também formado pela oxidação do mosto devido ao excesso de aeração. Quando presente em alta concentração, é responsável pelo odor de oxidado (GARRUTI, 2001, SALTON *et al.*, 2000; DIAS *et al.*, 2003, ALMEIDA *et al.*, 2011).

Nos fermentados de abacaxi, as concentrações de alcoóis superiores encontradas foram menores que 400 mg L^{-1} , o que pode favorecer o aroma do produto. Concentrações de alcoóis superiores acima deste valor contribuem negativamente na qualidade final do produto fermentado, por estarem relacionados a odores desagradáveis (SALTON *et al.*, 2000; GARRUTI, 2001; OLIVEIRA, 2001; GUIMARÃES, 2006). As concentrações de alcoóis superiores no fermentado de abacaxi foram inferiores às concentrações de $1905,63 \text{ mg L}^{-1}$, encontradas no fermentado de mandacaru (ALMEIDA *et al.*, 2011). Em todos os fermentados, as concentrações de álcool isoamílico foram menores que a concentração de 676 mg L^{-1} , obtida no fermentado de cajá (DIAS *et al.*, 2003).

Nos fermentados alcoólicos de abacaxi, com e sem casca, os valores de metanol encontrados foram de 65,2 e 74,2 mg L⁻¹. O metanol presente no fermentado é indesejável devido a sua toxicidade. É um composto tóxico aos seres humanos, provocando, quando consumido, em produtos com concentrações acima do permitido, a queda do pH no sangue do consumidor afetando o sistema respiratório, levando à cegueira e/ou até a morte (CARDOSO, 2006). Caso ocorra sua produção, não deve ultrapassar o limite de 350 mg L⁻¹ do fermentado ou 500 mg de metanol por 100 mL de álcool anidro (SALTON *et al.*, 2000).

O maior problema da produção de fermentados de frutas é o teor de metanol, por ser proveniente da degradação da pectina. Nos fermentados de abacaxi, a adição de casca não proporcionou um aumento no teor de metanol, já que os teores de pectina foram semelhantes conforme mostrado na **Tabela 2** do **Capítulo 2**.

Concentrações de metanol superiores aos valores encontrados nos fermentados de abacaxi foram obtidas em fermentados de outras frutas, como 139,0 mg L⁻¹ em fermentado de uva (RIZZON e MIELE, 2003), 100 mg L⁻¹ em fermentados de caju (TORRES NETO *et al.*, 2006) e 356,77 mg L⁻¹ em fermentado de mandacaru (ALMEIDA *et al.*, 2011).

4. Conclusão

Os melhores rendimentos em etanol foram alcançados nas fermentações dos mostos com adição de 10% de casca hidrolisada e sem adição de casca.

A adição de 10% de casca à polpa de abacaxi não influenciou no rendimento em etanol, na eficiência da levedura e na produtividade, em relação à polpa sem adição de casca, o que sugere a possibilidade de aproveitamento de resíduos do processamento desta fruta sem alterações nos parâmetros fermentativos.

Todos os compostos secundários dos fermentados de abacaxi ficaram dentro dos limites encontrados na literatura. A adição de 10% de casca ao mosto de abacaxi não interferiu negativamente na qualidade físico-química do produto fermentado.

Desta forma, as cascas de abacaxi podem ser utilizadas tanto por pequenos produtores como pelas grandes indústrias de processamento na obtenção de fermentados alcoólicos, destilados, vinagre e etanol.

5. Referências bibliográficas

ALMEIDA, M. M.; SILVA, F. L. H.; CONRADO, L. S.; MOTA, J. C.; FREIRE, R. M. M. **Estudo cinético e caracterização da bebida fermentada do *cereus jamacaru p. dc.*** Revista Verde (GVAA), v.6, n.2, p. 176 – 183, 2011.

ALVARENGA, L. M.; ALVARENGA, R. M., DUTRA, M.B.L.; OLIVEIRA, E.S. Avaliação da fermentação e dos compostos secundários em aguardente de banana e manga. **Alim. Nutrição**, Araraquara v. 24, n. 2, p. 195-201, 2013.

ALVARENGA, L. M.; MAIA, A. B. R. A.; OLIVEIRA, E. S. Processamento, avaliação química e sensorial de aguardente de manga (*Mangifera indica* L.). In: Congresso brasileiro de ciência e tecnologia de alimentos, 20, 2006, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBCTA, 2006. 1 CD-ROM.

ALMEIDA, M.M.; TAVARES, D.P.S.A.; ROCHA, A.S.; OLIVEIRA, L.S.C.; SILVA, F.L.H.; MOTA, J.C. Cinética da produção do fermentado do fruto do mandacaru. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 8, n. 1, p. 35-42, 2006.

AMORIM, H.V.; BASSO, L.C.; ALVES, D.G. Processos de produção de álcool – controle e monitoramento. Piracicaba: FERMENTEC/FEALQ/ESALQ-USP, 1996, 93p.

ANDRADE, M. B; PERIM, G.A.; SANTOS, T.R.T.; MARQUES, R.G. Fermentação alcoólica e caracterização de fermentado de morango. **Biochemistry and Biotechnology Reports**, v. 2, n. 3, p. 265-268, 2013.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis of the Association. 2v. Washington, 1995.

ARAÚJO, K.G.L.; SABAA-SRUR, A. B. U.; RODRIGUE, F. S.; Luciana MANHÃES, L. R. T.; CANTO, M. W. Utilização de abacaxi (*Ananas comosus* L.) cv. Pérola e Smooth cayenne para a produção de vinhos - estudo da composição química e aceitabilidade. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, Campinas, 29(1): 56-61, jan.-mar. 2009.

ARRUDA, A. R.; CASIMIRO, A. R. S.; GARRUTI, D. S.; ABREU, F. A. P. Processamento de bebida fermentada de banana. *Revista Ciência Agrônômica*, v. 34, n. 2, p. 161-167, 2003.

ASQUIERI, E. R.; CANDIDO, M. A.; DAMIANI, C.; ASSIS, E. M. Fabricación de vino blanco y tinto de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* Berg) utilizando la pulpa y la cáscara respectivamente. **Alimentaria**. v. 355, n. 1, p. 97-109, 2004.

ASQUIERI, E. R. RABÊLO, A. M. S., SILVA, A. G. M. Fermentado de jaca: estudo das características físico-químicas e sensoriais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 28, n. 4, p.881-887, 8 out. 2008.

ASQUIERI, E. R.; SILVA, A. G. M.; CANDIDO, M. A. Aguardente de jabuticaba obtida da casca e borra da fabricação de fermentado de jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. Campinas. 2009.

ASSIS NETO, E. F.; CRUZ, J. M. P.; BRAGA, A. C. C.; SOUZA, J. H. P. Elaboração de bebida alcoólica fermentada de jaca (*Artocarpus heterophyllus Lam.*). **Revista Brasileira de Tecnologia Industrial**, v. 4, n. 2, p. 186-197, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 13920: Determinação do teor alcoólico, 4p. ABNT/CB-13. 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Acidez titulável total, volátil total e fixa - NBR 13856. São Paulo: ABNT, 1997.

BAJAJ, B. K.; SHARMA, S. Construction of killer industrial yeast *saccharomyces cerevisiae* hau-1 and its fermentation performance. **Brazilian Journal of Microbiology**, São Paulo, v.41, n2, p.477-485, 2010.

BORTOLINI, F.; SANT'ANNA, E. S.; TORRES, R. C. Comportamento das fermentações alcoólica e acética de sucos de kiwi (*Actinidia deliciosa*); composição dos mostos e métodos de fermentação acética. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 21, n. 2, p. 236-243, 2001.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução – RDC nº 216, de 15 de setembro de 2004.

BRASIL, Decreto nº 2314. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, 1997.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº24, de 08 de setembro de 2005: manual operacional de bebidas e vinagres. Brasília, DF, 2005.

BRASIL. Portaria n. 64 de 23 de abril de 2008. Aprovam os regulamentos técnicos para a fixação dos padrões de identidade e qualidade para as bebidas alcoólicas fermentadas: fermentado de fruta, sidra, hidromel, fermentado de cana, fermentado de fruta licoroso, fermentado de fruta composto e saquê. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2008.

CARDOSO, M. G., ed.; **Produção de Aguardente de Cana**, 2ª ed., Ed. UFLA: Lavras, 2006.

CASIMIRO, A.R.S.; FEITOSA, T.; BORGES, M.F.; GARRUTTI, D.S.; CAMPOS, J.O.S.; BRINGEL, M.H.F. Avaliação de leveduras industriais na fermentação de suco de caju. Fortaleza: Embrapa- CNPAT, 2000. 14 p. (Circular Técnica, 4).

COSTA, A. G. F.; OLIVEIRA, C. S.; LOPES, F. L.G.; SANTANA, J. C. C.; SOUZA, R. R.; **Anais** do XIV Simpósio Nacional de Fermentações, Florianópolis, Brasil, 2003.

CORAZZA, M. L.; RODRIGUES, D. G.; NOZAKI, J. Preparação e Caracterização do Vinho de Laranja. **Química Nova**, v.24, n.4, agosto/2001, p.449-452.

CROWELL, E. A.; J. F. GUYMON, J. F.; INGRAHAM, J. L. Techniques for studying the mechanism of higher alcohol formation by yeast. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 12, p. 111-116, 1961.

DATO, M.C.F., PIZAURO JÚNIOR, J.M., MUTTON, M.J.R. Analysis of the secondary compounds produced by *Saccharomyces cerevisiae* and wild yeast strains during the production of “Cachaça”. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.36, n.1, janeiro-março/2005, p.70-74.

DIAS, D. R.; SCHWAN, R. F.; LIMA, L. C. O. Metodologia para elaboração de fermentado de cajá (*Spondias mombin* L.). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 3, p. 342-350, 2003.

Ferreira, D. F. Sisvar: um sistema computacional de análise estatística. *Ciência E Agrotecnologia*, v. 35, 2011.

FONTAN, R. C. I.; VERÍSSIMO, L. A. A.; SILVA, W. S.; RENATA BONOMO, R. C. F.; VELOSO, C. M. Cinética da fermentação alcoólica na elaboração de vinho de melancia. **B.CEPPA**, Curitiba, v. 29, n. 2, p. 203-210, 2011.

GARRUTI, D. S. **Composição de voláteis e qualidade de aroma do vinho de caju**. Tese de Doutorado, Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2001.

GARRUTI, D.S., FRANCO, M.R.B., SILVA, M.A.A.P., JANZANTTI, N.S., ALVES, G.L. Evaluation of volatile flavour compounds from cashew apple (*Anacardium occidentale* L.) juice by the Osme gas chromatography/olfactometry technique. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, 83, 1455–1462., 2003.

GRANOTEC DO BRASIL S. A, Nutrição e Biotecnologia. Pesquisa e Desenvolvimento. Regulamentação técnica, 2009.

GUIMARÃES, D. P. **Avaliação do estresse e do potencial fermentativo de isolados de *Saccharomyces* na microvinificação da jabuticaba**. 2006, 97 p. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola), Universidade Federal de Lavras, 2006.

HASHIZUME, T. **Biotecnologia na Produção de Alimentos**; Aquarone, E.; Borzani, W.; Schmidell, W.; Lima, U. A., eds.; Edgard Blücher Ltda: São Paulo, 2001, cap. 2.

HASHIZUME, T. Manual prático da fabricação de vinhos de frutas. Campinas, 1991. ITAL-Instituto de Tecnologia de Alimentos.

HERNÁNDEZ-GÓMEZ, L. F.; ÚBEDA, J.; BRIONES, A. Melon fruit distillates: comparison of different distillation methods. **Food Chemistry**, v. 82, p. 539-543, 2003.

IAL, Instituto Adolfo Lutz. Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3.ed., São Paulo, 1985.

IAL. Instituto Adolfo Lutz.. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. São Paulo: IAC, 2008.

LARA, C. A. **Produção de aguardente de banana: emprego de enzimas pectinolíticas e efeito de fontes de nitrogênio e quantidade de inóculo na formação de álcoois superiores**. 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Universidade Federal de Minas Gerais. 74 p. 2007.

LEE, S. J.; UMANO, K.; SHIBAMOTO, T.; LEE, K. G. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum*) and thyme leaves (*Thymes vulgaris* L.) and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 91, n. 1, p. 131-137, 2005.

LOPES, R. V. V.; SILVA, F. L. H. Elaboração de fermentados a partir de figo-da-Índia. **Revista de Biologia e Ciência da Terra**. v. 6, n. 2, p. 305-315, 2006.

LU, Y.F., WANG, Y.H., XU, G.Q., CHU, J., ZHUANG, Y.P., ZHANG, S.L. Influence of high solid concentration on enzymatic hydrolysis and fermentation of steamexploded corn stover biomass. **Appl. Biochem. Biotechnol.** 160, 360–369, 2010.

MAEDA, R. N.; ANDRADE, J. S. Aproveitamento do camu-camu (*Myrciaria dúbia*) para produção de bebida alcoólica fermentada. **Acta Amazônica**, v. 33, n. 3, p. 489-497, 2003.

MAIA, A.B.R.A.; RIBEIRO, J.C.G.M.; SILVEIRA, L.C. I Curso Associação Mineira de produtores de Cachaça de Qualidade – Produção artesanal de cachaça de qualidade. Belo Horizonte. AMPAQ, 1995. 104 p.

MENEZES, E. G. T. **Produção de etanol utilizando resíduos do processamento úmido do café**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal de Lavras, 2012.

MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Anal. Chem.**, v. 31, p. 426-428, 1959.

MUNIZ, C.R.; BORGES, M.; ABREU, F.A.P., NASSU, R.T.; FREITAS C.A.S. Bebidas fermentadas a partir de frutos tropicais. **Boletim do Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos**, v. 20, n. 2, p. 309-322, 2002.

NOGUEIRA, A.; SANTOS, L. D.; PAGANINI, C.; WOSIACKI, G. Avaliação da fermentação alcoólica do extrato de bagaço de maçã. **Semina: Ciências Agrárias**. V.6, n 2, p 187- 194, 2005.

OLIVEIRA, E.S. **Características fermentativas, formação de compostos voláteis e qualidade da cachaça de cana obtida por linhagens de leveduras isoladas de destilarias artesanais**. 2001. 135 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade de Campinas, 2001.

PARENTE, G. D. L.; ALMEIDA, M. M.; SILVA, J. L.; SILVA, C. G.; ALVES, M. F. Cinética da produção do fermentado alcoólico de abacaxi 'pérola' e caracterização da bebida. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v 9., n. 2, p. 230 - 247, 2014.

REDDY, L.V.A.; REDDY, O.V.S. Effect of enzymatic maceration on synthesis of higher alcohols during mango wine fermentation. **Journal of Food Quality**, n.32, p.34-37, 2009.

RIZZON, L. A.; ZANUZ, M. C.; MANFREDINI, S. **Como Elaborar Vinho de Qualidade na Pequena Propriedade**, 3a ed., Embrapa: Bento Gonçalves, 1994.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Avaliação da cv. Merlot para elaboração de vinho tinto. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, p.156-161, 2003.

SALIK, F.L.M.; POVOH, N.P. Método espectrofotométrico para determinação de teores alcoólicos em misturas hidroalcoólicas. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5, 1993, Águas de São Pedro. **Anais ... Piracicaba: STAB**, 1993. p. 262-266.

SALTON, M.A.; DAUDT, C.E.; RIZZON, L.A. Influência do dióxido de enxofre e cultivares de videira na formação de alguns compostos voláteis e na qualidade sensorial do destilado de vinho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.3, 2000, p.302-308.

SANTOS, S. C.; ALMEIDA, S. S.; TOLEDO, A. L.; SANTANA, J. C. C.; SOUZA, R. R. Elaboração e análise sensorial do fermentado de acerola. **Brazilian Journal of Food Technology**, p. 47-50, 2005.

SCHWAN, R. F.; MENDONÇA, A. T.; SILVAJR., J. J.; RODRIGUES, V.; WHEALS, A. E. Microbiology and physiology of cachaça fermentations. **Antonie van Leeuwenhoek**, Amsterdam, v. 79, n. 1, p. 89-96, 2001.

SILVA, C. L. C. **Seleção de linhagens de *Saccharomyces cerevisiae* floculantes e linhagens não produtoras de sulfeto de hidrogênio e sua influência na qualidade de cachaça**. 2003. Dissertação (Mestrado em Ciências de Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, 121 p. 2003.

SILVA, M. B. L., CHAVES. B. P., LELIS, V. G., ALVARENGA, L. M., ZUIM, D. R., SILVA, P. H. A. Qualidade Físico Química e Sensorial de aguardentes de polpa de banana e banana integral submetidas a hidrólise enzimática. **Alim. Nutr.**, v. 20, n.2, 2009.

YULIARTI, O. ; MATIA-MERINO, L.; GOH, K. T.; MAWSON J.; BRENNAN, C. Characterisation of gold kiwifruit pectin isolated by enzymatic treatment. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 47, p 633–639, 2012.

TESSARO, D.; LARSEN, A. C.; DALLAGO, R. C.; DAMASCENO, S. G.; SENE, L.; COELHO, S. R. M. Avaliação das fermentações alcoólica e acética para a produção de vinagre a partir de suco de laranja. **Acta Scientiarum Technonology**. Maringá, v. 32, n. 2, p. 201-205, 2010.

TORRES NETO, A.B.; SILVA, M.E.; SILVA, W.B.; SWARNAKAR, R.; SILVA, F.L.H. Cinética e caracterização físico-química do fermentado do pseudofruto do caju (*Anacardium occidentale* L.) **Química Nova**, v.29, n.3, 2006, p.489-492.

Capítulo 4

Fermentado acético de abacaxi: Produção, qualidade físico-química, teor de fenólicos totais e principais compostos voláteis

Resumo

Os vinagres são condimentos amplamente utilizados, tanto para realçar o sabor dos alimentos, como para conservá-los. A composição química do vinagre está relacionada com a qualidade, a tecnologia e a matéria-prima utilizada na sua elaboração. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um fermentado acético aproveitando as cascas de abacaxi, verificar sua qualidade físico-química, avaliar o teor de compostos secundários e fenólicos totais. As fermentações foram conduzidas por 27 dias em temperatura ambiente. O fermentado acético foi produzido pelo processo lento, e, logo após, foi filtrado e pasteurizado. O vinagre apresentou-se dentro do limite da legislação brasileira, com teor alcoólico inferior a 1^oGL e acidez volátil superior a 4% (v/v). O teor de compostos fenólicos totais variou de 10,20 a 21,85 mg de catequina por 100 mL de amostra, sendo predominante nos fermentados acéticos obtidos a partir de mostos adicionados de casca de frutas. Os valores de atividade antioxidante encontrados nos fermentados acéticos de abacaxi com adição de 10 e 30% de casca foram 30,27 e 49,31 $\mu\text{Mol TEAC.mL}^{-1}$, respectivamente. Os teores dos compostos voláteis ficaram dentro dos limites recomendados na literatura. A obtenção de vinagre a partir de frutas que perderam seu valor mercadológico e cascas provenientes das indústrias de processamento é uma alternativa para minimização de perdas e complementação de renda de pequenos produtores rurais.

1. Introdução

Entre os produtos obtidos a partir do aproveitamento de excedentes da safra de frutas, especialmente nas propriedades rurais que, de outra forma, não poderiam competir no mercado, tem-se o vinagre. O vinagre é utilizado no mundo inteiro como condimento, aromatizante e conservante de alimentos. É proveniente, em geral, de duas fermentações sucessivas, a alcoólica e a acética. Portanto, toda a matéria-prima usada para a fermentação alcoólica serve, em princípio, como matéria-prima para a fermentação acética (EVANGELISTA, 1989; IVANOV, 2011).

O aproveitamento de frutas para a produção de vinagre mostra-se como uma alternativa para elevar a renda familiar dos pequenos produtores rurais. As frutas de fácil degradação, tendem a gerar aos pequenos produtores altos índices de desperdício. A produção do vinagre a partir dessas frutas não comercializáveis é uma forma de implementar a sustentabilidade nesse processo produtivo (ARAÚJO *et al.*, 2012). Segundo Bortolini, Sant'anna e Torres (2001), o Brasil pode reduzir as perdas financeiras decorrentes dos desperdícios da pós-colheita, incluindo nesse processo o aproveitamento de frutas que perdem seu valor comercial por apresentarem defeitos.

Dessa maneira, os avanços tecnológicos na indústria de alimentos e bebidas do país são imprescindíveis para o desenvolvimento de uma economia sustentável no campo, já que contribuem para o melhor aproveitamento dos excedentes da produção durante o ano todo.

Do total de aproximadamente 170 milhões de litros de vinagre consumidos anualmente no Brasil, cerca de 80% são referentes ao vinagre de álcool. Depois do vinagre de álcool, o produto elaborado à base de vinho é o mais consumido no país, seguido pelo vinagre balsâmico e pelos vinagres de frutas, principalmente o vinagre de maçã (ANAV, 1999; SUMAN, 2012).

Segundo Tessaro *et al.* (2010), o vinagre de frutas possui características nutricionais e sensoriais superiores quando comparado a outros tipos de vinagres. Possuem sabor e aroma próprios, propriedades funcionais e são

considerados complementos indispensáveis à alimentação humana, pela ação nutritiva e biorregulatória (LU, LEE e CHEN, 1999; AQUARONE *et al.*, 2001).

O vinagre é um produto de fácil acesso no país, porém com pouco valor comercial, provavelmente por desconhecimento dos brasileiros dos benefícios do seu consumo e por consequência do pequeno número de estudos desenvolvidos sobre este tema (BELLINI, 2006; ZILIOLI, 2011).

O objetivo deste trabalho foi elaborar um vinagre a partir de polpa de abacaxi com adição de 10 e 30 % de cascas, realizar a caracterização físico-química dos produtos obtidos, quantificar os compostos fenólicos totais e os principais compostos voláteis, e compará-los entre si, verificar a viabilidade de produção, e confrontar com os limites impostos pela legislação brasileira.

2. Material e Métodos

2.1. Processamento

Inicialmente, realizou-se a fermentação alcoólica de polpa de abacaxi adicionada de 10 e 30 % de cascas, de acordo com Alvarenga *et al.* (2014). Considerando o maior aproveitamento de resíduos, os mostos com adição de 30% de casca também foram avaliados nas fermentações acéticas.

Os fermentados alcoólicos de abacaxi foram submetidos à fermentação acética, pelo processo lento. Os ensaios de fermentação acética foram conduzidos em recipientes com capacidade de 8 L, cobertos com gaze para permitir a aeração e com torneiras na parte inferior para a retirada das amostras, sem interferir na formação da mãe do vinagre, como é mostrado na **Figura 1**.



Figura 1 - Recipientes utilizados na fermentação acética de fermentados alcoólicos

Antes de iniciar a fermentação acética foi realizada a correção do mosto, ajustando o teor de acidez para 2,5 % (m/v), com vinagre forte pasteurizado e ajustando o teor alcoólico para 8,2 °GL, com álcool de cereais, levando em consideração o teor alcoólico do vinagre forte (ZANCANARO, 2001; MALAJOVICH, 2009).

O vinagre forte não pasteurizado, proveniente da fábrica de vinagre de álcool, localizada na região metropolitana de Belo Horizonte, MG, foi usado como inóculo. Para isso, foi realizado um balanço de material (**Tabelas 1 e 2**).

Para iniciar a fermentação foram utilizados 0,6 L de vinagre forte não pasteurizado como inóculo. O tempo de fermentação foi de 27 dias e foi considerada finalizada quando o teor alcoólico e a acidez atingiram o valor máximo de 1°GL e mínimo de 4% (m/v) respectivamente. Durante a fermentação acética, foram retiradas amostras a cada 3 dias para a determinação de acidez titulável total, pH, teor de sólidos solúveis totais e teor alcoólico.

Tabela 1 – Balanço geral e por componente para o ajuste do teor de acidez e teor alcoólico

| Parâmetros | Inóculo* | Vinagre forte (pasteurizado) | Álcool de cereais | Mosto (10% de casca) | Mosto corrigido |
|----------------------|----------|------------------------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| Volume (L) | 0,60 | 1,00 | 0,18 | 4,20 | 5,98 |
| Acidez total (% m/v) | 8,20 | 8,00 | 0,00 | 0,45 | 2,48 |
| Teor alcoólico (°GL) | 2,00 | 2,00 | 98,00 | 6,80 | 8,26 |

* Vinagre forte não pasteurizado

Tabela 2 – Balanço geral e por componente para o ajuste do teor de acidez e teor alcoólico

| Parâmetros | Inóculo* | Vinagre forte (pasteurizado) | Álcool de cereais | Mosto (30% de casca) | Mosto corrigido |
|----------------------|----------|------------------------------|-------------------|----------------------|-----------------|
| Volume (L) | 0,60 | 0,90 | 0,21 | 4,20 | 5,91 |
| Acidez total (% m/v) | 8,20 | 8,00 | 0,00 | 0,58 | 2,46 |
| Teor alcoólico (°GL) | 2,00 | 2,00 | 98,00 | 6,10 | 8,32 |

* Vinagre forte não pasteurizado

O fermentado acético foi filtrado em gaze para retirar os resíduos sólidos (**Figura 2**), e em seguida foi pasteurizado a 65°C por 30 minutos e envasado a quente, como recomendado por Xavier *et al.* (2009).

Nos fermentados acéticos obtidos foram determinados os principais compostos voláteis por cromatografia gasosa (CG/FID), o teor de compostos fenólicos totais e atividade antioxidante. Amostras comerciais também foram analisadas.

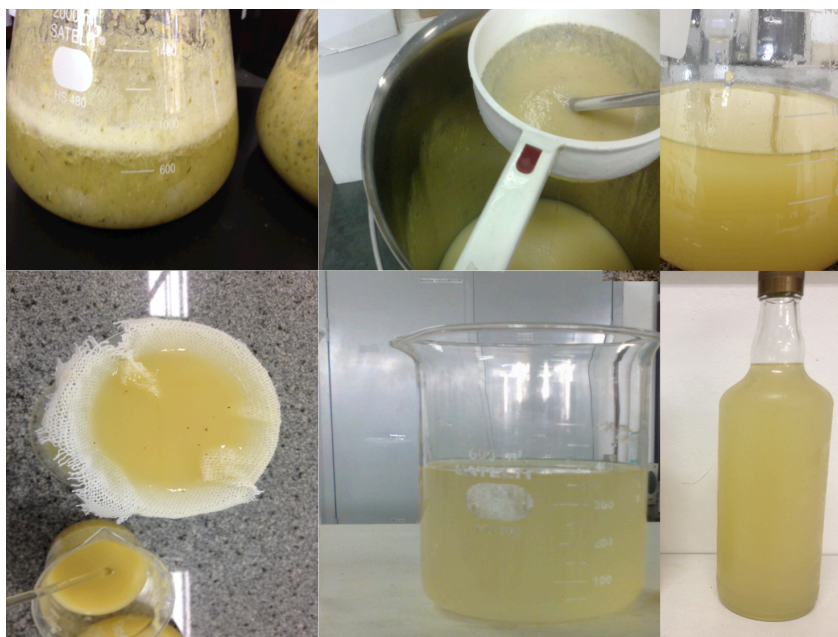


Figura 2 - Processamento de fermentado acético de abacaxi em escala de bancada

2.2. Análises físico-químicas

Foi determinada a acidez total titulável (ATT) por titulometria com NaOH a $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$. O método de determinação da acidez titulável total consiste na neutralização dos ácidos totais presentes na amostra pela utilização de uma base. Os valores foram expressos em g de ácido acético por 100 mL de polpa ou meio fermentado de acordo com a metodologia do IAL (2008).

A acidez volátil foi determinada após destilação das amostras por arraste de vapor e posterior titulação com NaOH $0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$, segundo metodologia do IAL (2008).

O teor de Sólidos Solúveis Totais (SST) foi determinado por leitura direta em refratômetro manual *Instrutemp* com escala de 0 a 32 °Brix e precisão de 0,2 °Brix. Essa determinação consiste na medida do índice de refração das soluções e sua conversão a sólidos solúveis totais expressos em °Brix, segundo metodologia descrita pelo Instituto Adolfo Lutz- IAL (2008).

O pH (potencial hidrogeniônico) foi determinado por leitura direta em

potenciômetro digital previamente calibrado com soluções tampões de pH 4,0 e 7,0 de acordo com a metodologia descrita pela AOAC (1995).

Os teores alcoólicos dos mostos foram determinados espectrofotometricamente pelo método do dicromato de potássio modificado (SALIK e POVOH, 1993). Nesta reação, em meio ácido, o etanol é oxidado a ácido acético e a solução adquire tonalidade verde proporcional à concentração de etanol na amostra. O íon bicromato de cor amarela é reduzido a íon cromoso, de cor verde, que absorve a 600 nm. A intensidade da absorção é proporcional à concentração de íon cromoso formado e do etanol oxidado (CROWELL, 1961).

2.3. Rendimento da fermentação acética

O rendimento GK foi calculado a partir dos teores de etanol e ácido acético nos fermentados alcoólicos e acéticos.

Segundo Adams (1998), a soma da concentração do etanol (% v/v) e do ácido acético (% m/v) é igual à concentração total (CT) ou GK (*Gesammte Konzentration*).

(1)

$$\text{Rendimento GK} = \frac{\text{GK final}}{\text{GK inicial}} \times 100$$

Onde:

GK final = Etanol final + Ac. acético final

GK inicial = Etanol inicial + Ac. acético inicial

Nos processos industriais, a razão entre a concentração de ácido acético do fermentado acético produzido e a concentração total do fermentado alcoólico corresponde ao rendimento em ácido ($Y_{\text{ácido}}$) (EBNER, FOLLMANN, SELLMER, 1983).

Lima *et al.* (2001) descreveram o rendimento como sendo a razão entre a quantidade de produto formado e concentração total de substrato e produto.

O rendimento em ácido $Y_{\text{ácido}}$ foi calculado conforme a equação:

$$Y_{\text{ácido}} = \frac{\% \text{ acidez do produto}}{\% \text{ CT do fermentado alcoólico}} \quad (2)$$

Onde:

Y ácido: rendimento em ácido

% acidez do produto: concentração de ácido produzido (%)

% CT do fermentado alcoólico: concentração total do fermentado alcoólico (% (v/v) de etanol + % (m/v) de ácido acético)

A produtividade (P) foi calculada pela quantidade produzida de ácido acético em relação ao tempo ($\text{g L}^{-1} \text{h}^{-1}$), de acordo com a equação:

$$P = \frac{\text{quantidade de ácido acético (g)}}{\text{volume de fermentado (L). tempo de fermentação(h)}} \quad (3)$$

2.4. Compostos Fenólicos

Os compostos fenólicos totais dos fermentados alcoólicos e acéticos foram quantificados de acordo com a metodologia de Swain e Hillis (1959). As amostras foram diluídas em água destilada. Foram realizadas três repetições e os resultados foram expressos em mg de catequina por 100 mL, considerando o fator de diluição da amostra.

2.5. Determinação da atividade antioxidante

Os fermentados alcoólicos e acéticos foram analisados quanto à atividade antioxidante pelo método DPPH (2,2-diphenyl-1-picryl-hidrazil), segundo metodologia analítica proposta por Brand-Williams *et al.* (1995).

Na avaliação da atividade antioxidante pelo método do DPPH, promove-se uma reação de óxido-redução entre o composto antioxidante e o radical livre DPPH, que pode ser monitorada pela diminuição da absorbância a 515 nm. A solução de DPPH é estável e apresenta coloração arroxeadada e a medida que a reação do DPPH com o antioxidante acontece, observa-se uma descoloração da solução, cujo clareamento é proporcional à atividade antioxidante do extrato analisado.

Os resultados foram expressos em “atividade antioxidante equivalente ao trolox” ou “TEAC”, em μMol de trolox por mL de amostra ($\mu\text{Mol.mL}^{-1}$), considerando o fator de diluição da amostra.

2.6. Determinação de compostos voláteis

Foram determinados: ésteres (acetato de etila, lactato de etila), aldeídos (acetaldeído, furfural), álcoois superiores (n-propanol, isobutanol, isoamílicos, 1-butanol e 2-butanol) e metanol. As análises foram realizadas em triplicata no Laboratório Amazile Biagioni Maia (LABM), em Belo Horizonte.

As análises cromatográficas foram realizadas de acordo com manual operacional de bebidas e vinagres (BRASIL, 2005), em cromatógrafo a gás, sistema de detecção FID, marca *Intecrom*, modelo Geração 8000 e coluna carbowax 0,53 mm X 30m X 1,00 μM , com temperatura do detector de 180 °C e do injetor de 140 ° C, fluxo de nitrogênio, hidrogênio e de ar de 30, 30 e 300 mL min⁻¹, respectivamente. As amostras foram previamente destiladas antes da injeção no cromatógrafo. Utilizou-se 1-pentanol como padrão interno.

2.7. Análise estatística

Os resultados das análises foram avaliados por teste t de student utilizando o software SISVAR desenvolvido por Ferreira (2011).

3. Resultados e Discussão

As amostras de vinagre produzidas (**figura 3**) apresentaram-se dentro do limite da legislação brasileira, com teor alcoólico inferior a 1 °GL e acidez volátil superior a 4 % (m/v).



Figura 3- Fermentados acéticos de abacaxi

Os resultados obtidos para os teores de etanol, acidez, Brix e pH avaliados durante os 27 dias de fermentação acética se encontram nas **Figuras 4 e 5** e no APÊNDICE B.

Os teores de etanol determinados no decorrer dos 27 dias de fermentação acética diminuíram e os teores de acidez total titulável aumentaram, conforme as **Figuras 4 e 5**. Comparando as curvas de produção de ácido e consumo de etanol, não houve diferença no perfil das curvas, já que os fermentados alcoólicos foram padronizados quanto ao teor alcoólico e acidez no início do processo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Barbosa (2014) em fermentação acética de manga pelo método lento em 28 dias de fermentação. Ao produzir vinagre de laranja, Araújo, Silva e Abud (2012) encontraram valores de etanol e acidez próximos aos obtidos na fermentação de abacaxi, porém em tempo maior de fermentação acética.

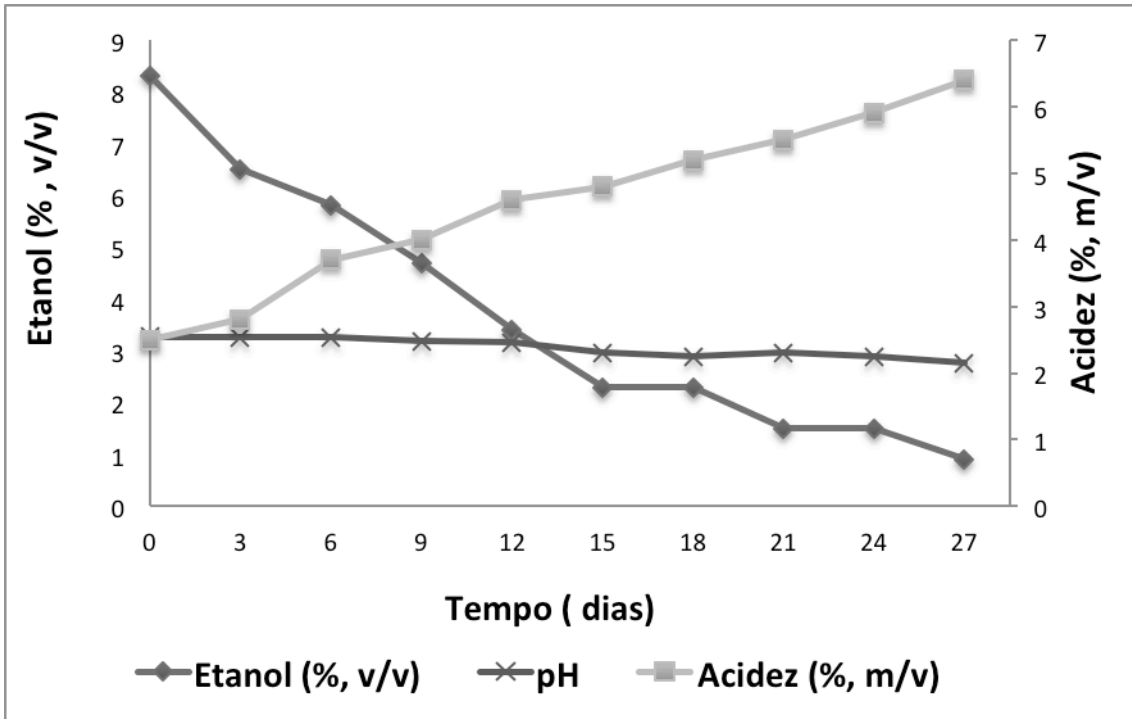


Figura 4 – Teores de etanol, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e pH durante a fermentação acética de polpa de abacaxi adicionada de 10% de casca

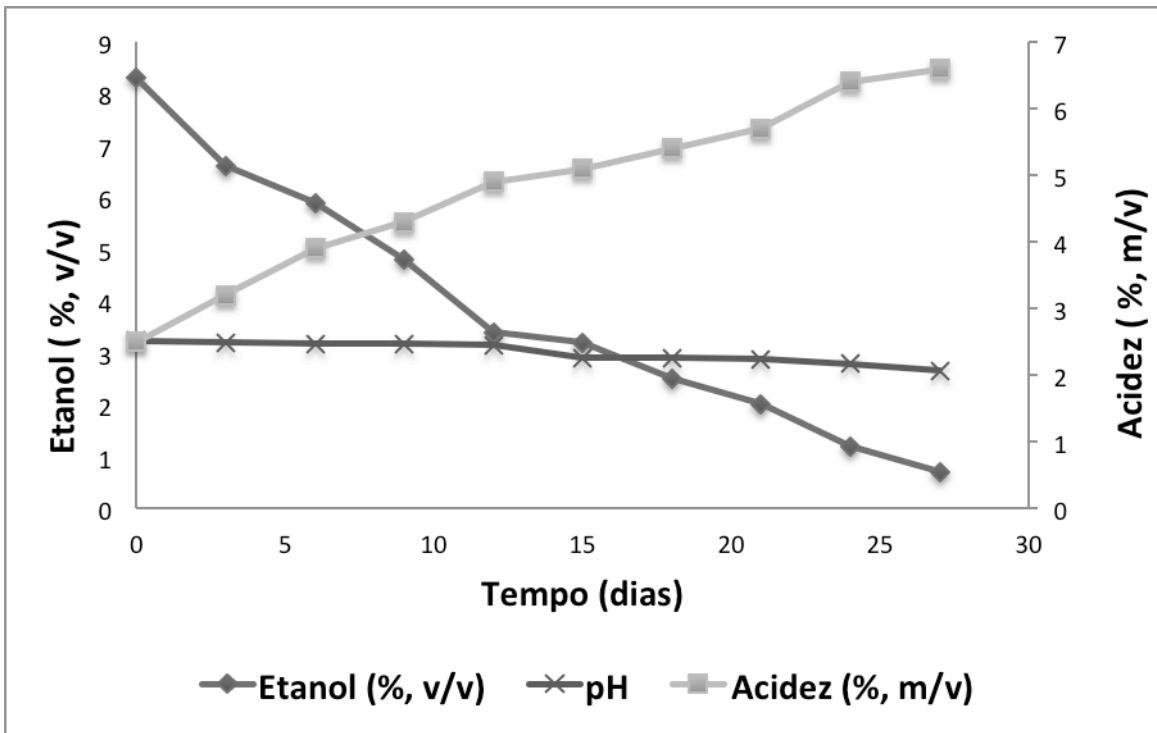


Figura 5 – Teores de etanol, acidez total titulável, sólidos solúveis totais e pH durante a fermentação acética de polpa de abacaxi adicionada de 30% de casca

3.1. Análises físico-químicas e rendimento da fermentação

A **Tabela 3** apresenta os teores de etanol, acidez total titulável e acidez volátil no tempo inicial e final da fermentação acética de polpa de abacaxi adicionada de 10 e 30 % de casca.

Os teores de etanol dos fermentados acéticos obtidos foram 0,92 e 0,95% para o fermentado com adição de 10 e 30% de casca, respectivamente. Estes teores estão de acordo com a legislação brasileira. Segundo a legislação, a graduação alcoólica do vinagre não pode exceder a 1°GL (BRASIL, 1999).

Os valores de acidez total titulável dos fermentados acéticos de abacaxi foram 6,4 e 6,3 g 100 mL⁻¹, para os fermentados acéticos com adição de 10 e 30% de casca, respectivamente.

Tabela 3 – Etanol, acidez total titulável e acidez volátil no tempo inicial e final da fermentação acética

| Fermentado acético de polpa de abacaxi | Tempo de acetificação (dias) | Etanol (% v/v) | Acidez total titulável (%) | Acidez volátil (%) |
|---|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| Com adição de 10% de casca | 0 | 8,30 ± 0,0 | 2,50 ± 0,0 | - |
| | 27 | 0,92 ± 0,15 | 6,40 ± 0,25 | 6,05 ± 0,16 |
| Com adição de 30% de casca | 0 | 8,30 ± 0,0 | 2,50 ± 0,0 | - |
| | 27 | 0,95 ± 0,34 | 6,30 ± 0,23 | 5,97 ± 0,28 |

A acidez total do vinagre é expressa em ácido acético, principal ácido orgânico do vinagre, porém outros ácidos orgânicos estão presentes, dentre eles os principais são: tartárico, cítrico, málico, láctico, succínico em vinagres

(COCCHI *et al.*, 2002, GEUM-SOON-OH *et al.*, 2003, RIZZON e MIELE, 1998, SANARICO *et al.*, 2003).

Ao produzir vinagre de laranja pelo método lento, Araújo *et al.* (2012) encontraram teores de acidez de 4,3 a 5,2 g 100 mL⁻¹, valores inferiores ao encontrados neste trabalho.

Schmoeller e Balbi (2010) caracterizaram vinagres comerciais da região de Curitiba/PR e obtiveram valores de acidez total superiores aos encontrados neste trabalho, variando de 7,9 a 11,0 g 100mL⁻¹.

Os valores de acidez titulável total encontrados por Barbosa (2014) para o fermentado acético de manga, foram 4,68, 3,96 e de 4,00 g 100mL⁻¹, teores inferiores aos obtidos na fermentação de abacaxi e também obtidos na fermentação pelo método lento.

Zilioli (2011), ao estudar a composição de vinagres produzidos por diferentes fontes, obteve valores de acidez total de 8,68 para o vinagre de arroz, 6,70 para o vinagre de cana, 7,78 para o vinagre de milho, 5,42 para o vinagre de mel e 8,76 g 100 mL⁻¹ para o vinagre de uva.

Pedroso (2003) relatou que algumas indústrias vêm utilizando a determinação de acidez total como uma aproximação da acidez volátil, ressaltando que essa aproximação simplifica os procedimentos práticos pela rapidez e facilidade em avaliar o desempenho das culturas quanto à produção de ácido acético, já que para a determinação da acidez volátil, as amostras devem ser previamente destiladas.

Estudando a produção de vinagre de maçã, Pedroso (2003) realizou experimentos medindo-se a acidez volátil e a acidez total no vinagre pronto no sentido de correlacionar essas duas análises e concluiu que pode-se utilizar a análise de acidez total para simplificar o processo de determinação de ácido acético no vinagre pronto.

Segundo a legislação, o vinagre ou fermentado acético deve conter uma acidez volátil mínima de 40 g por litro expressa em ácido acético (4%) e deve

ser obrigatoriamente pasteurizado (BRASIL, 1999).

A legislação específica, ainda, algumas características sensoriais para os vinagres. Quanto ao aspecto, o fermentado acético deve ser líquido, límpido e sem depósito. Em relação à cor, deve ter uma cor de acordo com a matéria-prima que lhe deu origem. O cheiro deve ser característico, e o sabor, ácido. (BRASIL, 1999).

Na **Tabela 4**, são apresentados os valores de acidez volátil dos fermentados produzidos e o padrão de acidez volátil dos fermentados acéticos simples, duplo e triplo. Conforme a **Tabela 4**, os fermentados acéticos de abacaxi produzidos com adição de 10 e 30% de casca são fermentados acéticos simples e obtiveram acidez volátil de 6,05 e 5,97 g 100 mL⁻¹, respectivamente.

Tabela 4 - Teores de etanol e acidez volátil dos fermentados de abacaxi e padrão de acidez volátil e teor de etanol para fermentados acéticos simples, duplo e triplo

| Fermentado acético | Acidez volátil (g 100 mL ⁻¹) | | Teor alcoólico(°GL) | |
|-----------------------|--|---------|----------------------|--------|
| | Mínimo | Máximo | Mínimo | Máximo |
| Adição de 10% casca | 6,05 ± 0,16 | | 0,92 ± 0,08 | |
| Adição de 30% casca | 5,97 ± 0,28 | | 0,74 ± 0,06 | |
| Ferm. ac. simples | 4,0 ** | 7,9 ** | ---- | 1,0* |
| Ferm. ac. duplo | 8,0 ** | 11,9 ** | ---- | 1,0* |
| Ferm. ac. triplo | 12,0 ** | ---- | ---- | 1,0* |

Fonte: BRASIL, 1997 *; BRASIL, 1999 **

Os principais parâmetros cinéticos obtidos nas fermentações acéticas de polpa de abacaxi adicionada de 10 e 30% de casca são mostrados na **tabela 5**.

Os rendimentos GK obtidos para os fermentados acéticos de polpa de abacaxi adicionados de 10 e 30% de casca foram 67,8 e 67,3%, respectivamente, e não houve diferença estatística entre eles. Suman (2012) encontrou rendimentos GK variando de 31,54 a 66,08% em processos de fermentação acética de gengibre e fécula pelo método lento durante 27 dias. Bortolini *et al.* (2001) utilizando kiwi na produção de vinagre pelos processos submersos e gerador obtiveram rendimentos de GK altos para todos os tratamentos (98,07% a 100,21%).

Tabela 5 – Parâmetros cinéticos da fermentação acética de abacaxi

| Parâmetros cinéticos | Fermentado acético de abacaxi (10% de casca) | Fermentado acético de abacaxi (30% de casca) |
|---|---|---|
| Rendimento GK (%) | 67,8 ±0,04 ^a | 67,3 ± 0,05 ^a |
| Rendimento Y _{ácido} (%) | 59,3 ±0,02 ^a | 58,3 ±0,02 ^a |
| Produtividade em ácido acético (g L ⁻¹ h ⁻¹) | 0,060 ±0,004 ^a | 0,058 ±0,004 ^a |

*médias seguidas por uma mesma letra, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo teste t.

Os rendimentos GK dos processos de acetificação foram próximos aos valores encontrados para fermentados acéticos de manga obtidos por Barbosa (2014), que apresentam valores de GK de 70,41, 59,20 e 62,00%. As variações nos valores de GK podem ser devido às perdas que ocorreram por evaporação de compostos voláteis. Na ausência de perdas por evaporação, a concentração total permaneceria constante e igual a 100% durante o período de acetificação.

O rendimento em ácido $Y_{\text{ácido}}$ dos fermentados acéticos de polpa de abacaxi, com adição de 10 e 30% de casca foram 59,3 e 58,3%, respectivamente. Esses valores estão próximos aos relatados por Zilioli (2011) para fermentados acéticos de cana (61%), carambola (64%) e toranja (54%) e inferiores aos rendimentos encontrados para fermentados acéticos de milho (71%) e aos de manga, obtidos por Barbosa (2014), que encontrou rendimentos próximos a 80%. Esta diferença se deve provavelmente ao teor de ácido acético inicial na fermentação.

Bortolini, Santanna e Torres (2001) estudando a fermentação alcoólica e acética de kiwi, encontraram valores de produtividades em ácido acético entre 0,83 e 1,73 g L⁻¹ h⁻¹, em processos rápidos (12h). Segundo Pedroso (2003), o produto formado pelo processamento lento é um vinagre de boa qualidade, porém este tipo de processo é de baixa produtividade. O fator limitante para a quantidade produzida é o fornecimento de oxigênio, pois o recipiente utilizado neste processo não possui aerador.

A produtividade média máxima de ácido acético obtida em biorreator clássico foi 0,066 g L⁻¹ h⁻¹ para a fermentação acética de maçã (PEDROSO, 2003), valor próximo ao encontrado para a fermentação acética de abacaxi com adição de casca. Não houve diferença significativa entre os parâmetros cinéticos dos fermentados acéticos produzidos com polpa de abacaxi adicionada de 10 e 30% de casca (**tabela 5**), provavelmente pela correção do teor de etanol dos fermentados alcoólicos utilizados na fermentação acética.

3.2. Compostos fenólicos e atividade antioxidante

Os resultados obtidos para o teor de compostos fenólicos totais estão apresentados na **Tabela 6**.

Tabela 6 – Teor de compostos fenólicos totais em fermentados alcoólicos e acéticos

| Amostras | Fenólicos totais (mg de catequina/ 100mL) |
|--|--|
| Fermentado alcoólico de abacaxi sem casca | 10,33 ± 0,34 |
| Fermentado alcoólico de abacaxi (10% de casca) | 12,01± 0,44 |
| Fermentado alcoólico de abacaxi (30% de casca) | 17,65 ± 0,51 |
| Fermentado acético de abacaxi sem casca | 10,20 ± 0,35 |
| Fermentado acético de abacaxi (10% de casca) | 13,56 ± 0,34 |
| Fermentado acético de abacaxi (30% de casca) | 21,85 ± 0,34 |
| Fermentado acético de maçã comercial | 8,56 ± 0,95 |
| Fermentado acético de álcool comercial | 1,34 ± 0,76 |
| Fermentado acético balsâmico comercial | 14,12 ± 0,87 |

Os teores de fenólicos totais encontrados para os fermentados acéticos de polpa de abacaxi com adição de 0, 10 e 30% de casca foram de 10,20, 13,56 e 21,85 mg de catequina por 100 mL de amostra, respectivamente. Estes resultados estão próximos aos de teores de fenólicos totais encontradas por Vanin *et al.* (2012) ao analisar o teor de fenólicos totais de diferentes vinagres produzidos no Brasil. Estes autores encontraram teores variando de 1,02 a 16,00 mg de catequina por 100 mL de amostra.

Os teores de fenólicos totais do fermentado acético de abacaxi foram superiores aos encontrados para os vinagres de álcool, vinho branco, agrin branco, maçã, laranja e de arroz e inferiores aos teores dos vinagres balsâmicos, estudados também por Vanin *et al.* (2012).

Os compostos fenólicos totais englobam substâncias como tocoferóis, fenóis simples, ácidos fenólicos, cumarinas, flavonóides, taninos e ligninas, considerados os maiores responsáveis pela atividade antioxidante em frutos, por sua grande capacidade reativa (SOARES, 2002).

O teor de fenólicos totais em pesquisas de diferentes autores, em

amostras de frutas e vinagres estão descritos na **Tabela 7**.

Storck *et al.* (2013) estudaram a composição de folhas, talos, cascas e sementes de vegetais e verificaram que as partes usualmente descartadas dos vegetais contêm, de forma geral, teores de polifenóis mais altos que a parte habitualmente consumida.

A prática alimentar de utilização dos vinagres, especialmente os balsâmicos, permite a ingestão de compostos ricos em polifenóis e antioxidantes que podem ter algum efeito protetor sobre com a saúde (VANIN *et al.*, 2012). As catequinas estão entre os principais fenóis e antioxidantes, são muito instáveis em soluções alcalinas, mas estáveis em soluções ácidas (CHEN, 2000; ZHU, ZHANG, HUR *et al.*, 2014).

Tabela 7 – Fenólicos totais em pesquisas de diferentes autores

| Amostras | Fenólicos totais (mg de catequina/ 100mL) | Referências |
|--------------------|--|----------------------------|
| Polpa de kiwi | 108,00 | Imeh e Khokhar, 2002 |
| Polpa de abacaxi | 81,37 | Melo <i>et al.</i> , 2008 |
| Polpa de tangerina | 78,29 | Melo <i>et al.</i> , 2008 |
| Polpa de uva | 138,93 | Melo <i>et al.</i> , 2008 |
| Polpa de manga | 70,76 | Melo <i>et al.</i> , 2008 |
| Polpa de banana | 215,70 | Faller e Fialho, 2009 |
| Vinagre de álcool | 1,02 | Vanin <i>et al.</i> , 2012 |
| Vinagre balsâmico | 15,00 | Vanin <i>et al.</i> , 2012 |
| Vinagre de laranja | 3,06 | Vanin <i>et al.</i> , 2012 |
| Polpa de banana | 0,00 | Storck <i>et al.</i> 2013 |
| Casca de banana | 38,73 | Storck <i>et al.</i> 2013 |

O conteúdo de catequina em derivados de extratos de chá diminuiu rapidamente por 70 - 80%, a pH 7,4, durante 60 min, mas a atividade antioxidante e a concentração de polifenóis diminuí em cerca de 25 % (RECORD e

LANE, 2001). Mudanças de pH durante a fermentação pode influenciar a atividade antioxidante, alterando o conteúdo e a estrutura dos compostos fenólicos (HUR *et al.*, 2014)

É necessário compreender o efeito de vários fatores, como microrganismos, meio de cultivo, temperatura e pH, na fermentação e como esses fatores se relacionam com alterações de produção de compostos de atividade antioxidante (HUR *et al.*, 2014).

A **Tabela 8** descreve a concentração e a atividade antioxidante das amostras dos fermentados alcoólicos e acéticos de polpa e casca de abacaxi, expressos em “atividade antioxidante equivalente ao trolox” ou “TEAC”, em μMol de trolox por mL de amostra ($\mu\text{Mol.mL}^{-1}$), considerando o fator de diluição da amostra e porcentagem, respectivamente.

Tabela 8 – Atividade antioxidante de fermentados alcoólicos e acéticos

| Amostras | Concentração ($\mu\text{Mol TEAC. mL}^{-1}$) |
|--|--|
| Fermentado alcoólico de abacaxi sem casca | 21,37± 0,41 |
| Fermentado alcoólico de abacaxi (10% de casca) | 26,30± 0,53 |
| Fermentado alcoólico de abacaxi (30% de casca) | 42,31± 1,02 |
| Fermentado acético de abacaxi sem casca | 20,14± 0,52 |
| Fermentado acético de abacaxi (10% de casca) | 30,27± 0,63 |
| Fermentado acético de abacaxi (30% de casca) | 49,15± 0,98 |
| Fermentado acético de maçã comercial | 46,28± 0,87 |
| Fermentado acético de álcool comercial | 7,83± 0,65 |
| Fermentado acético balsâmico comercial | 31,23± 0,75 |

Os valores de atividade antioxidante encontrados nos fermentados acéticos de abacaxi com adição de de 0, 10 e 30% de casca foram 20,14; 30,27 e 49,31 $\mu\text{Mol TEAC.mL}^{-1}$, respectivamente. Lima (2014), estudando a produção de vinagre de amora-preta, verificou pelo método DPPH, valores de

atividade antioxidante superiores, variando de 103,5 a 107,7 $\mu\text{mol TEAC mL}^{-1}$. Já Budak e Guzel-Seydim (2010) encontraram valor inferior de atividade antioxidante em vinagre de uva (13,50 $\mu\text{mol TEAC. mL}^{-1}$).

Brandão (2013) produziu fermentado alcoólico de yacon e avaliou seu potencial antioxidante pelo método DPPH. Este autor encontrou 1,605 $\mu\text{mol TEAC.mL}^{-1}$ de fermentado, valor inferior aos obtidos neste trabalho nos fermentados alcoólicos e acéticos de abacaxi.

Cruz (2012) analisou a capacidade antioxidante de vinagres comercializados em Portugal e verificou que o vinagre balsâmico foi o que apresentou o valor mais elevado de atividade antioxidante, independentemente do método utilizado. Verzelloni *et al.* (2007), compararam os valores da atividade antioxidante de diversos vinagres e observaram que outro método deu origem a valores absolutos superiores aos obtidos pelo método DPPH. Cruz (2012) estudou vinagres de vinho branco, de frutas e de arroz e verificou uma correlação elevada entre a composição fenólica e a atividade antioxidante total dos vinagres pesquisados.

A fermentação foi usada para aumentar o conteúdo de compostos fenólicos bioativos em matérias-primas e produtos vegetais, aumentando, conseqüentemente, a sua atividade antioxidante (LEE, HUNG, E CHOU, 2008; TORINO *et al.*, 2013, HUR *et al.* 2014). Alguns fatores podem influenciar o efeito da fermentação sobre a atividade antioxidante em produtos de origem vegetal. A fermentação, por exemplo, pode melhorar a atividade antioxidante devido principalmente a um aumento na quantidade de compostos fenólicos e flavonóides, que são resultantes de uma reação de hidrólise microbiana. Além disso, a fermentação induz a quebra estrutural das paredes celulares da planta, levando à liberação ou a síntese de outros compostos com propriedades antioxidantes. Os mecanismos que afetam a atividade antioxidante durante a fermentação são bem variados. Mais estudos são necessários para estabelecer os mecanismos precisos para estes processos (HUR *et al.*, 2014).

Su e Silva (2005) estudaram a atividade antioxidante de mirtilo e seus produtos obtidos por fermentação e concluíram que processo de vinificação reduziu significativamente o conteúdo de antocianinas totais e teor de polifenóis totais de subprodutos, mas não afetou significativamente a atividade antioxidante. Estes autores observaram também que a acetificação diminuiu significativamente teores de antocianinas totais, polifenóis totais e atividade antioxidante. Ainda neste mesmo estudo, ficou claro que estes produtos ainda mantiveram importantes concentrações de fenólicos e atividades antioxidantes.

3.3. Determinação dos compostos voláteis

Os resultados das análises cromatográficas são mostrados na **Tabela 9**. Os três grupos de compostos voláteis mais importantes no aroma de vinagres são ácidos, álcoois e ésteres (ZILIOLI, 2011).

Os teores de acetato de etila e acetaldeído foram maiores nos fermentados acéticos obtidos a partir de polpa de abacaxi com adição de apenas 10% de casca. Já os álcoois superiores e o metanol, foram maiores nos fermentados acéticos obtidos nos mostos adicionados de 30% de casca. Grande parte dos ésteres são provenientes da fermentação do álcool, ou pela reação de ácidos e álcoois. As reações de esterificação, retiram ácidos e alcoóis do meio, formando ésteres aromáticos, podendo explicar os valores maiores de ésteres e aldeídos quando o conteúdo de álcoois foi menor e considerando que os aldeídos são essenciais para a síntese dos álcoois superiores (FICAGNA, 2005; BELLINI, 2006). Oliveira (2001) afirma que concentrações baixas de acetato de etila podem favorecer o aroma do produto.

Tabela 9 - Principais compostos voláteis nos fermentados acéticos de polpa de abacaxi adicionados de 10 e 30% de casca

| Compostos voláteis mg L ⁻¹ de bebida | Fermentado de abacaxi | |
|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Vinagre – 10% (Fermentado acético) | Vinagre – 30% (Fermentado acético) |
| Ésteres | | |
| Acetato de etila | 300,88 ± 1,56 ^a | 209,80 ± 0,39 ^b |
| Lactato de etila | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 |
| Aldeídos | | |
| Acetaldeído | 39,4 ± 0,73 ^a | 5,96 ± 0,43 ^b |
| Furfural | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 |
| Álcoois superiores | | |
| n-propílico | 0,0 ± 0,0 | 9,43 ± 0,20 ^a |
| isobutílico | 0,0 ± 0,0 | 20,81 ± 0,54 ^a |
| isoamílico | 5,54 ± 0,07 ^b | 39,81 ± 1,24 ^a |
| n butílico | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 |
| secbutílico | 0,0 ± 0,0 | 0,0 ± 0,0 |
| Álcool metílico | 8,25 ± 0,25 ^b | 36,91 ± 0,79 ^a |

* médias seguidas por uma mesma letra, em uma mesma linha, não diferem entre si pelo teste t.

O teor de de acetato de etila encontrado no fermentado acético de abacaxi foram de 300,88 e 209,80 mg L⁻¹ nos fermentados com adição de 10 e 30% de casca, respectivamente. Teores variando entre 46,95 e 593,75 e mg L⁻¹ foram obtidos por Zilioli (2011) ao analisar diferentes amostras de vinagre, sendo que este éster foi o único composto volátil detectado em todas as amostras de vinagres analisadas. O acetato de etila é formado pelas esterases intracelulares de *Acetobacter* na presença de etanol e ácido acético, possui aroma agradável, é encontrado em diversas matérias-primas utilizadas no processamento de vinagres e representa, geralmente, 80% dos ésteres dos

fermentados (PEDDIE, 1990; KASHIMA *et al.*, 1998; SALTON *et al.*, 2000, HASHIZUME, 2001; BELLINI, 2006; ZILIOLI, 2011).

O teor de acetaldeído encontrado para os fermentados acéticos de polpa de abacaxi com adição de 10 e 30% de casca foram de 39,4 e 5,96 mg L⁻¹, respectivamente. Resultados diferentes foram encontrados em vinagres obtidos de outras matérias-primas. Estudando vinagres de vinho tinto, Callejón *et al.* (2010) obtiveram teores de acetaldeído entre 0,005 e 0,025 mg L⁻¹ em vinagres não envelhecidos. Na pesquisa de vinagres balsâmicos, Del Signore (2001) encontrou resultados para acetaldeído que variaram entre 1,23 e 7,13 mg L⁻¹. Zilioli (2011) encontrou concentração de acetaldeído variando de 44,79 mg L⁻¹ no vinagre de arroz e 566,11 mg L⁻¹ em vinagre de kiwi, analisando diferentes tipos de vinagre. O acetaldeído é formado no decorrer da fermentação alcoólica, sendo um produto do metabolismo primário da fermentação e pode ser formado pela oxidação do mosto em função da aeração excessiva. Um alto teor de acetaldeído é responsável pelo odor de oxidado (SALTON *et al.*, 2000; GARRUTI, 2001; DIAS *et al.*, 2003).

O teor de metanol encontrado para os fermentados acéticos de abacaxi foram de 8,25 e 36,91 mg L⁻¹, respectivamente. Pesquisando vinagres de uva, maçã e malte, o valor de metanol médio encontrado por Artilles, Romero e Torre (1993) foi de aproximadamente 46,71 mg L⁻¹. A legislação brasileira não estabelece limite de metanol em fermentados acéticos. Segundo Rizzon e Meneguzzo (2002), os teores de metanol nos vinagres de vinho não devem ultrapassar 130 e 1000 mg L⁻¹, na Itália e na Espanha, respectivamente. O consumo de pequenas quantidades dos vinagres produzidos levaria à ingestão de uma quantidade de metanol correspondente a valores muito inferiores aos estabelecidos como tóxicos por alguns autores (BLINDER; VOGES; LAUGE, 1988; MEDINSKY; DORMAN, 1994; ZILIOLI, 2011).

Estudando a composição química de diferentes vinagres, Zilioli (2011) encontrou, em média, concentração de metanol de 1232,66 mg L⁻¹. Nesta mesma pesquisa, a concentração de metanol foi maior em vinagre de maçã (1360,70 mg L⁻¹) e menor em vinagre de cana (1101,61 mg L⁻¹). Segundo este

autor, as diferentes técnicas abordadas, as matérias-primas utilizadas para a obtenção dos produtos e os métodos de produção utilizados, podem explicar a diferença nos valores obtidos.

Rizzon e Miele (1998), determinaram, por cromatografia gasosa, alguns compostos como acetato de etila, metanol e etanol. De acordo com esses autores, o teor de metanol encontrado no vinagre deve ser proporcional ao teor de metanol do mosto fermentado utilizado na acetificação, por ser um álcool encontrado naturalmente nos fermentados alcoólicos e conseqüentemente nos fermentados acéticos.

O álcool isobutílico foi encontrado nos fermentados acéticos de abacaxi, com adição de 10 e 30% de casca, e apresentou teores de 0 e 20,81 mg L⁻¹, respectivamente. O vinagre de mel estudado por Zilioli (2011) apresentou teores de isobutanol de 777,87 mg L⁻¹, bem superiores aos encontrados nos fermentados de abacaxi. Os alcoóis superiores conferem características sensoriais desejáveis quando estão presentes em baixas concentrações e podem ser importantes por ter ação solvente sobre outras substâncias, influenciando sua volatilidade e na qualidade sensorial. Na análise sensorial, o limite de detecção destes compostos geralmente estão abaixo de 100 mg L⁻¹ (SALO; NYKÄNEN; SUOMALAINEM, 1972; OLIVEIRA, 2001; ZILIOLI, 2011).

4. Conclusão

A produção de vinagre é uma alternativa para o aproveitamento de frutas que perderam seu valor mercadológico. É possível aproveitar resíduos de abacaxi, tais como as cascas, na produção de vinagre, complementando o orçamento de pequenos produtores rurais.

Todos os compostos voláteis dos fermentados acéticos de abacaxi estão dentro dos limites recomendados na literatura.

O teor de compostos fenólicos e sua atividade antioxidante são superiores nos fermentados acéticos obtidos a partir de mostos adicionados de casca de abacaxi.

5. Referências bibliográficas

- ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas - NBR 13920: **Determinação do teor alcoólico**, 4p. ABNT/CB-13. 1997.
- ADAMS, M. R. Vinegar. In: WOOD, B. J. B. **Microbiology of fermented foods**. London: Elsevier Applied Science, 1998. v. 1, p. 1-44.
- ANAV, Associação Nacional das Industrias de Vinagres. Disponível em: http://www.anav.com.br/clipping_interna.php?id=26 Acesso em: 26/06/2010
- ALVARENGA, L.M. DUTRA, M.B.L. ALVARENGA, R.M., LACERDA, I.C.A. ; YOSHIDA, M.I; OLIVEIRA, E.S. Analysis of alcoholic fermentation of pulp and residues from pineapple processing, **CyTA - Journal of Food**, DOI: 10.1080/19476337.2014.902865, 2014.
- AQUARONE, E.; ZANCANARO JR. Vinagres. In: **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. v. 5, p. 105-123.
- AQUARONE, E.; BORZANI, W.; LIMA, V.A. Biotecnologia: engenharia bioquímica. São Paulo: Edgard Blucher, 2001. v. 2, 539 p.
- ARAÚJO, L. T. ; SILVA, C. E. F.; ABUD, A. K. S. Produção de vinagre de laranja “lima” em vinagreira artesanal. **Scientia Plena**, Aracaju, v. 8, n. 12, 2012.
- ARTILES, A. A.; ROMERO, C. D.; TORRE, A. H. Caracterization fisicoquimica de diferentes tipos de vinagres: determination de algunos parametros de naturaleza volátil. **Alimentaria**, v. 11, p. 105-107, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Acidez titulável total, volátil total e fixa** - NBR 13856. São Paulo: ABNT, 1997.
- BARBOSA, C. D. **Obtenção de fermentado alcoólico e acético de manga (*mangifera indica L.*)**, 133 p., 2014. Dissertação (Mestrado em Ciência de Alimentos). Faculdade de Farmácia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2014.
- BELLINI, M. Z. **Caracterização bioquímica dos vinagres brasileiros**. 2006. 82p. Tese - Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP. Campinas, 2006.
- BLINDER, F.; VOGES, E. LAUGE, P. The problem of methanol concentration admissible in distilled fruit spirits. **Food Additives Contam.** v. 5, n. 3, 1988.
- BRANDÃO, C. C. Desenvolvimento de fermentado alcoólico de yacon. 74 p. Dissertação. Universidade Federal de Goiás, .2013

BRAND-WILIAMS, W.; CUVELIER, M.E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 25-30. 1995.

BRASIL, Decreto nº 2314. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da República

BRASIL. Decreto n. 12.486 de 20 de outubro de 1978. **Normas técnicas especiais relativas a alimentos e bebidas**. Diário Oficial do Estado de São Paulo, São Paulo, 21 out. 1978. p. 20.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa n. 36, 14 de outubro de 1999. Estabelece o regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para fermentados acéticos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 15 out. 1999. Seção 1, p. 76.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 6**, de <<http://www.anav.com.br/legislacao.php?id=29>>. Acesso em: 22 maio 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa nº24, de 08 de setembro de 2005**: manual operacional de bebidas e vinagres. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <www.agricultura.gov.br>. Acesso em: 10 set. 2008.

BORTOLINI, F.; SANT'ANNA, E. S.; TORRES, R. C. Comportamento das Fermentações Alcoólicas e Acética de Sucos de Kiwi (*Actinidia deliciosa*); Composição dos Mostos e Métodos de Fermentação Acética. **Ciência e Tecnologia de Alimentos. Campinas**, v. 21, n. 2, p. 236-243, 2001.

BUDAK, H. N., GUZEL-SEYDIM, Z. B. Antioxidant activity and phenolic content of wine vinegars produced by two different techniques, **Journal Science Food Agriculture**, New York, n.90 v. 12, p.2021-2026, 2010.

CALLEJÓN, R.M., TORIJA M.J., MAS, A., M.L. MORALES, TRONCOSO, A.M., Changes of volatile compounds in wine vinegars during their elaboration in barrels made from different woods, **Food Chemistry**, Espanha, v. 120, n.15, p. 561-571, 2010.

CHEN C, TANG HR, SUTCLIFFE LH, BELTON PS. Green tea polyphenols react with 1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl free radicals in the bilayer of liposomes: direct evidence from electron spin resonance studies. **J Agric Food Chem**. v.48, p.5710–5714, 2000.

COCCHI, M.; LAMBERTINI, P.; MANZINI, D.; MARCHETTI, A.; ULRICI, A. Determination of Carboxylic acids in vinegar and in Aceto Balsâmico Tradizionale di Modena by HPLC and GC methods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 2002; v.50, n. 19, p. 5255-5261, 2002.

CROWELL, E. A.; J. F. GUYMON, J. F.; INGRAHAM, J. L. Techniques for studying the mechanism of higher alcohol formation by yeast. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 12, p. 111-116, 1961.

CRUZ, M. A. M. **Vinagres comercializados em portugal: avaliação da capacidade antioxidante e da composição fenólica**, 2012. Dissertação (Mestrado em Qualidade e Tecnologia Alimentar). Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Viseu, 2012.

DATO, M.C.F., PIZAURO JÚNIOR, J.M., MUTTON, M.J.R. Analysis of the secondary compounds produced by *Saccharomyces cerevisiae* and wild yeast strains during the production of “Cachaça”. **Brazilian Journal of Microbiology**, v.36, n.1, p.70-74, 2005.

DEL SIGNORE, A. Chemometric analysis and volatile compounds of traditional balsamic vinegars from Modena. **Journal of Food Engineering**, v. 50, p 77-90, 2001.

EBNER, H.; FOLLMANN, H.; SELLMER, S. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. VCH Verlagsgesellschaft, 1996, Vol A27, Germany.

EVANGELISTA, J. Tecnologia de Alimentos. 2. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1989.

FALLER, A.L.K.; FIALHO, E. Disponibilidade de polifenóis em frutas e hortaliças consumidas no Brasil. **Revista de Saúde Pública**, v.43, n.2, p.211-218, 2009.

FICAGNA, E. **Influência do tempo de maceração na composição química do fermentado e do destilado de pêssego [*prunus persica (l) batsch*], cv. chiripá**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

GARRUTI, D. S. **Composição de voláteis e qualidade de aroma do vinho de caju**. 2001. 218 p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Brasil, 2001.

GEUM-SOON-OH; KIL-JIN-KANG; YEONG-PYO-HONG; YEOUNG-SUN-AN; HY-ANG-MI-LEE. Distribution of organic acids in traditional and modified fermented foods. **Journal of the Korean Society of Food Science and Nutrition**. 2003; v. 32, n.8, p. 1177-1185.

HUR S. J.; LEE, S. Y.; KIM, Y. C.;, CHOI, I.; KIM, G. B. Effect of fermentation on the antioxidant activity in plant based foods. **Food Chemistry**, v. 160, 1 2014. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.03.112.

IAL, Instituto Adolfo Lutz. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análises de alimentos**. 4 ed. São Paulo, 2005. 1018p.

IMEH. U.; KHOKHAR. S. Distribution of Conjugated and Free Phenols in Fruits: Antioxidant Activity and Cultivar Variations. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, p. 6.301- 6.306, 2002.

IVANOVI, R. C. **Fermentação acética: abordando transformações químicas e bioquímicas**. 2011. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Química) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2011.

KASHIMA, Y.; IJIMA, M.; OKAMOTO, A.; KOIZUMI, Y.; UDAKA, S.; YANAGIDA, F. Purification and characterization of intracellular esterases related to ethylacetate formation in *Acetobacter pasteurianus*. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, Tokyo, v. 85, n. 6, p. 584-588, 1998.

LEE, S. J.; UMANO, K.; SHIBAMOTO, T.; LEE, K. G. Identification of volatile components in basil (*Ocimum basilicum*) and thyme leaves (*Thymes vulgaris L.*) and their antioxidant properties. **Food Chemistry**, v. 91, n. 1, p. 131-137, 2005.

LEE, I. H., HUNG, Y.-H., & CHOU, C.-C. (2008). Solid-state fermentation with fungi to enhance the antioxidative activity, total phenolic and anthocyanin contents of black bean. **International Journal of Food Microbiology**, v. 121, n. 2, 150–156, 2008.

LU, S. F.; LEE, F. L.; CHEN, H. K. A thermotolerant and high acetic acid-producing bacterium *Acetobacter sp.* 114-2. **Journal of Applied Microbiology**, v. 86, n. 1, p. 55-62, 1999.

LIMA, K. P. **Produção de Vinagre como Estratégia de Aproveitamento Tecnológico da Amora-Preta: Avaliação dos Processos Submerso e do Processo lento**. 2014. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2014, 120p.

MALAJOVICH, M.A. Vinagres. **Biotecnologia na vida cotidiana: manual de atividades práticas de Biotecnologia**. Rio de Janeiro, Edições da Biblioteca Max Feffer do Instituto de Tecnologia ORT, 2009.

MELO, E. A., MACIEL, M. I. S., LIMA, V. A. G., ARAÚJO, C. R. Teor de fenólicos totais e capacidade antioxidante de polpas congeladas de frutas. **Alimentos e Nutrição**, v. 19, n. 1, p. 67-72, 2008.

Medinsky M. A.; Dorman D. C. Assessing risks of low-level methanol exposure. **CIIT Act**, v. 14, n. 7, 1994.

MOLYNEUX, P. The use of the stable free radical diphenylpicryl-hydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. **Songklanakarin J. Sci. Technol**, v. 26, p. 211–219, 2004.

MENEGUZZO, J.; RIZZON, L. A. Sistema de produção de vinagre. *Sistemas de Produção (Embrapa Uva e Vinho)*, Bento Gonçalves, n. 13, ago. 2006.

NATERA, R.; CASTRO, R., GARCIA-MORENO, M.V.; HERNÁNDEZ, M.J.; GARCIA BARROSO, C. Chemometric Studies of Vinegar from Different Raw Materials and Processes of Production. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 51, p. 3345- 3351, 2003.

OLIVEIRA, E. S. **Características fermentativas, formação de compostos voláteis e qualidade da aguardente de cana obtida por linhagens de leveduras isoladas de destilarias artesanais**. 2001. 135p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2001.

OLIVEIRA, F. D. **Avaliação da atividade antimicrobiana do vinagre em cortes de dianteiro bovino embalado a vácuo**. 2006. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência de Alimentos, Departamento de Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

PEDDIE, H. A. B. Ester formation in brewery fermentations. **Journal of Institute of Brewing**, v. 96, p.327-331, 1990.

PEDROSO, P. R. F. **Produção de vinagre de maçã em biorreator Airlift**. Dissertação- Universidade Federal de Santa Catarina (Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química). Florianópolis, 2003.

RECORD, I. R., & LANE, J. M. (2001). Simulated intestinal digestion of green and black teas. **Food Chemistry**, v.73, n.4, 481–486.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Características analíticas de vinagres comerciais de vinhos brasileiros. **Braz. J. Food Technol.**, Campinas, v. 1, n. 1,2, p. 25-31, 1998.

RIZZON, L. A.; MENEGUZZO, J. *Elaboração de Vinagre*. Bento Gonçalves, 2002. (Documentos) - Embrapa Uva e Vinho.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Avaliação da cv. Merlot para elaboração de vinho tinto. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.23, suplemento, p.156-161, 2003.

RIZZON, L. A.; MIELE, A. Determinação de acetoína e metanol em vinagres de vinhos brasileiros. **B.CEPPA**, Curitiba, v. 21, n. 1, 2003.

SALIK, F.L.M.; POVOH, N.P. Método espectrofotométrico para determinação de teores alcoólicos em misturas hidroalcoólicas. In: CONGRESSO NACIONAL DA STAB, 5, 1993, Águas de São Pedro. **Anais ... Piracicaba: STAB**, 1993. p. 262-266.

SALO, P.; NYKÄNEN, L.; SUOMALAINEM, H. Odor thresholds and relative intensities of volatile aroma components in an artificial beverage imitating whisky. **Journal of Food Science**, v. 37, p. 394-398, 1972.

SALTON, M.A.; DAUDT, C.E.; RIZZON, L.A. Influência do dióxido de enxofre e cultivares de videira na formação de alguns compostos voláteis e na qualidade sensorial do destilado de vinho. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.3, 2000, p.302-308

SANARICO, D.; MOTTA, S.; BERTOLINI, L.; ANTONELLI, A. HPLC Determination of organic acids in Traditional Balsamic Vinegar of Reggio Emilia. **Journal of Liquid Chromatography and Related Technologies**. 2003, v. 26, n. 13, p. 2177-2187, 2003.

SCHMOELLER, R.; BALBI, M. Caracterização e controle de qualidade de vinagres comercializados na região metropolitana de Curitiba/PR. **Visão Acadêmica**, Curitiba, v. 11, n. 2, p. 80-92, 2010.

SOARES, S.E., Ácidos fenólicos como antioxidantes, **Revista de Nutrição**, v.15 n.1, Campinas, SP, 2002.

STORCK, C. R.; NUNES, G. L.; OLIVEIRA, B. B ; BASSO, C. Folhas, talos, cascas e sementes de vegetais: composição nutricional, aproveitamento na alimentação e análise sensorial de preparações. **Ciência Rural**, v.43, n.3, 2013.

SU, M.S.; SILVA, J. L. Antioxidant activity, anthocyanins, and phenolics of rabbiteye blueberry (*Vaccinium ashei*) by-products as affected by fermentation. **Food Chemistry**, v.97, n.3, 2005.

SUMAN, A. P. **Processo de obtenção de vinagre de gengibre**. 2012. 97p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de ciências agrônômicas – campus de Botucatu (UNESP). Botucatu, SP, 2012.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Purmus domestica*. I. The quantitative analysis of phenolic constituents. **J. Sci. Food. Agric.** 1959, 10, 63-68.

TESSARO, D.; LARSEN, A. C.; DALLAGO, R. C.; DAMASCENO, S. G.; SENE,

L.; COELHO, S. R. M. Avaliação das fermentações alcoólica e acética para a produção de vinagre a partir de suco de laranja. **Acta Scientiarum Technonology**. Maringá, v. 32, n. 2, p. 201-205, 2010.

TORINO, M. I., LIMON, R. I., MARTINEZ-VILLALUENGA, C., MÄKINEN, S., PIHLANTO, A., VIDAL- VALVERDE, C. Antioxidant and antihypertensive properties of liquid and solid state fermented lentils. **Food Chemistry**, v. 136, n.2, 1030–1037, 2013.

VANIN, A. M.; SALVADOR, M.; RICALDE, S. R.; SIVIERO, J. Atividade Antioxidante e perfil fenólico de diferentes tipos de vinagre. **Alim. Nutr.**, Araraquara v. 23, n. 2, p. 251-257, 2012.

VERZELLONI E, TAGLIAZUCCHI D, CONTE A. Relationship between the antioxidant properties and the phenolic and flavonoid content in traditional balsamic vinegar. **Food Chemistry**, v.105, p. 564-571. 2007.

XAVIER, L.; REMÉDIOS, M.; MARIA, R.; FONTES, S.; KARINE, S. **Produção de vinagre de maçã**. Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar. POMBAL – PB, 2009.

ZANCANARO, JR. O. Vinagres. In: Biotecnologia Industrial Vol 4. **Biotecnologia na produção de alimentos**. São Paulo, Editora Edgar Blücher Ltda., 2001.

ZILIOLI, E. **Composição química e propriedades funcionais no processamento de vinagres**. 2011. São Paulo, 98p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), 2011.

Conclusão integrada

A hidrólise enzimática proporcionou um aumento do rendimento de suco extraído de abacaxi, evidenciando a importância deste tratamento para melhor aproveitamento da fruta. O efeito da hidrólise enzimática foi mais acentuado nas amostras de abacaxi integral, onde os teores de lignina + celulose, amido e pectina foram reduzidos e o teor de sólidos solúveis totais aumentou.

Em geral, os melhores parâmetros cinéticos da fermentação alcoólica foram alcançados nas fermentações dos mostos com adição de 10 % de casca hidrolisada e sem adição de casca.

Todos os parâmetros determinados nos fermentados alcoólicos e acéticos de abacaxi estão dentro dos limites recomendados na literatura.

O teor de compostos fenólicos, assim como sua atividade antioxidante foram maiores nos fermentados acéticos obtidos a partir de mostos adicionados de casca de abacaxi.

As cascas de frutas podem ser utilizadas tanto por pequenos produtores como pelas grandes indústrias de processamento na obtenção de fermentados alcoólicos, destilados, vinagre e etanol.

APÊNDICE A

Capítulo 2

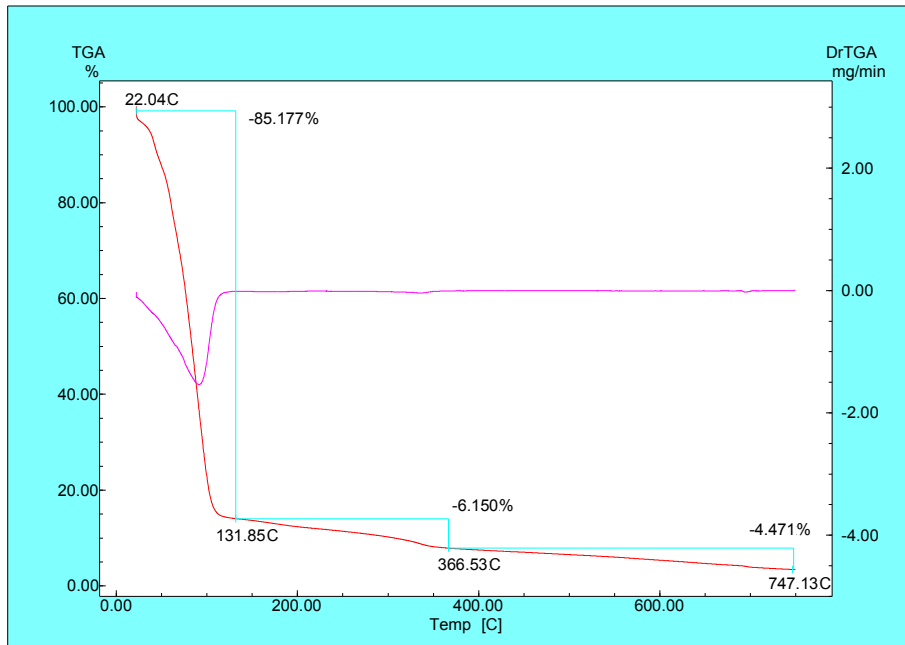


Figura 2.1- Análise Térmica Diferencial (DTA) da polpa de abacaxi

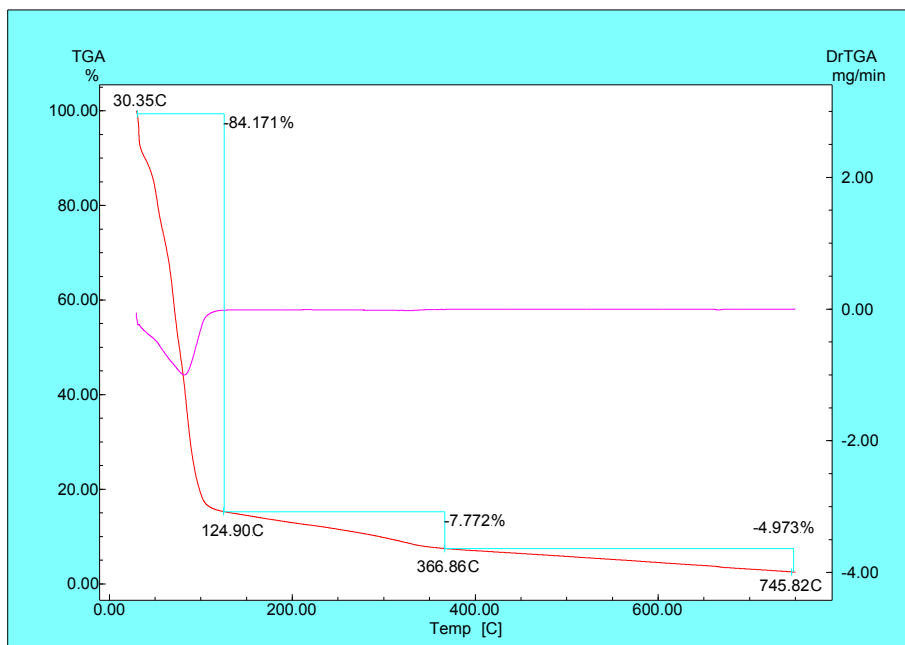


Figura 2.2- Análise Térmica Diferencial (DTA) da polpa hidrolisada

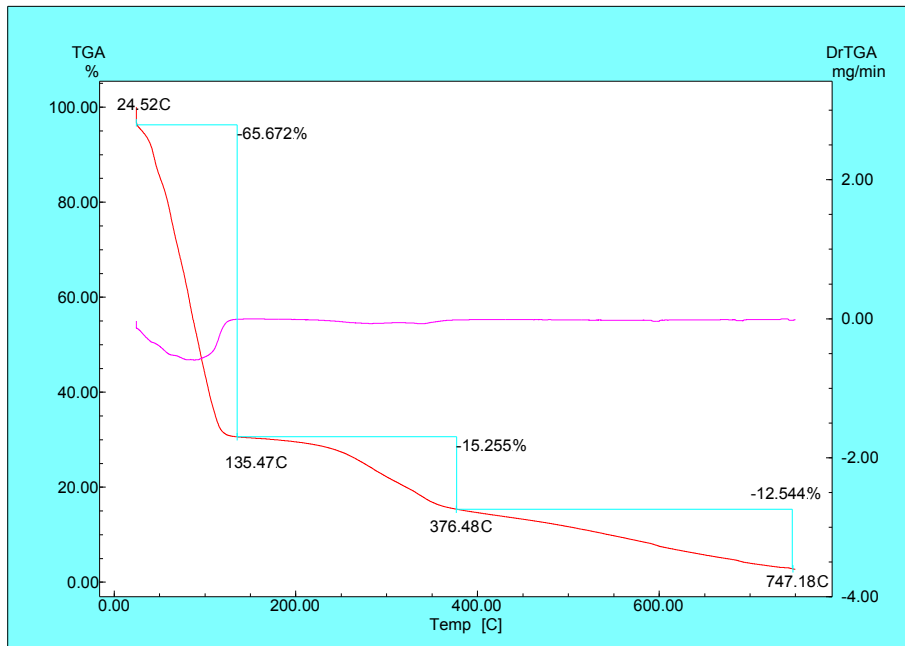


Figura 2.3 - Análise Térmica Diferencial (DTA) do abacaxi integral

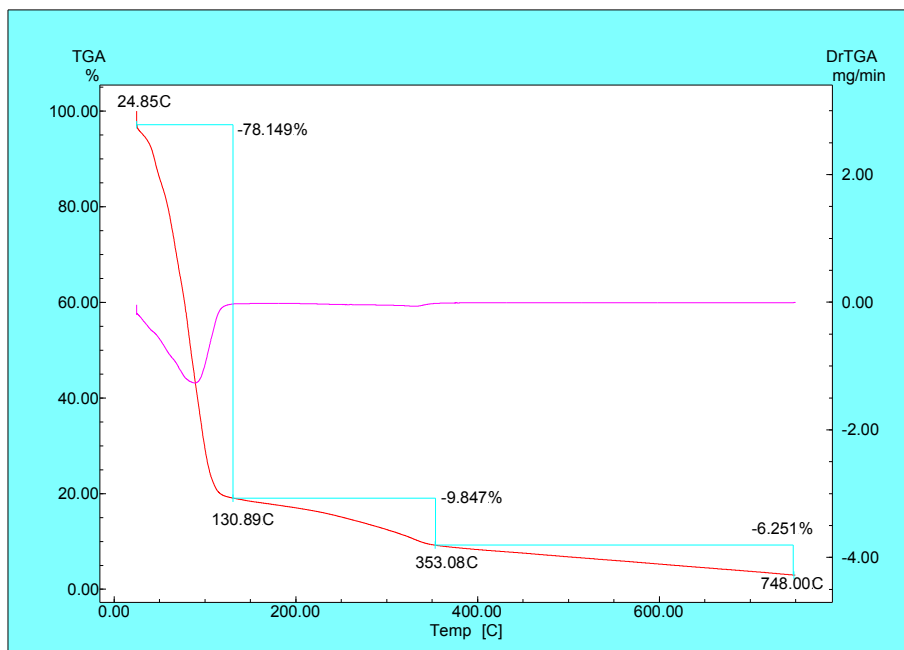


Figura 2.4 - Análise Térmica Diferencial (DTA) do abacaxi integral hidrolisado

APÊNDICE B

Capítulo 4

Tabela 4.1 - Média dos teores de etanol, acidez, pH e Brix durante a fermentação acética de polpa de abacaxi com 10% de adição de casca

| Tempo (dias) | Etanol (%, v/v) | Acidez (%, m/v) | Brix (% SST) | pH |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|------------|
| 0 | 8,3 ±0,2 | 2,5 ±0,3 | 3,8 ± 0,4 | 3,27 ±0,17 |
| 3 | 6,5 ±0,3 | 2,8 ±0,3 | 3,6 ±0,2 | 3,26 ±0,19 |
| 6 | 5,8 ±0,8 | 3,7 ±0,3 | 3,4 ±0,1 | 3,25 ±0,43 |
| 9 | 4,7 ±0,5 | 4,0 ±0,3 | 3,3 ±0,5 | 3,19 ±0,18 |
| 12 | 3,4 ±0,3 | 4,6 ±0,3 | 3,0 ±0,4 | 3,16 ±0,11 |
| 15 | 2,3 ±0,2 | 4,8 ±0,4 | 2,9 ±0,1 | 2,97 ±0,42 |
| 18 | 2,3 ±0,3 | 5,2 ±0,2 | 2,6 ±0,1 | 2,89 ±0,15 |
| 21 | 1,5 ±0,3 | 5,5 ±0,4 | 2,9 ±0,2 | 2,97 ±0,12 |
| 24 | 1,5 ±0,2 | 5,9 ±0,1 | 2,6 ±0,1 | 2,89 ±0,13 |
| 27 | 0,9 ±0,3 | 6,4 ±0,1 | 2,5 ±0,1 | 2,76 ±0,12 |

Tabela 4.2 - Média dos teores de etanol, acidez, pH, e Brix durante a fermentação acética de polpa de abacaxi com 30% de adição de casca

| Tempo (dias) | Etanol (%, v/v) | Acidez (%, m/v) | Brix (% SST) | pH |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------------|-------------|
| 0 | 8,3 ± 0,3 | 2,5 ± 0,2 | 3,6 ± 0,2 | 3,24 ± 0,02 |
| 3 | 6,6 ± 0,3 | 3,2 ± 0,3 | 3,3 ± 0,1 | 3,20 ± 0,12 |
| 6 | 5,9 ± 0,2 | 3,9 ± 0,1 | 3,3 ± 0,3 | 3,18 ± 0,03 |
| 9 | 4,8 ± 0,1 | 4,3 ± 0,3 | 3,2 ± 0,2 | 3,18 ± 0,14 |
| 12 | 3,4 ± 0,1 | 4,9 ± 0,2 | 3,0 ± 0,1 | 3,15 ± 0,11 |
| 15 | 3,2 ± 0,2 | 5,1 ± 0,3 | 2,8 ± 0,5 | 2,91 ± 0,02 |
| 18 | 2,5 ± 0,3 | 5,4 ± 0,5 | 2,5 ± 0,4 | 2,91 ± 0,05 |
| 21 | 2,0 ± 0,2 | 5,7 ± 0,4 | 2,3 ± 0,2 | 2,87 ± 0,16 |
| 24 | 1,2 ± 0,1 | 6,4 ± 0,3 | 2,2 ± 0,1 | 2,79 ± 0,09 |
| 27 | 0,7 ± 0,1 | 6,6 ± 0,2 | 2,2 ± 0,3 | 2,65 ± 0,12 |