

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS

CLÓVIS GOUVEIA DA SILVA

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA
AGUARDENTE DE ALGAROBA E
APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
EM PRODUTOS ALIMENTARES

CAMPINA GRANDE
2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA DE PROCESSOS**



CLÓVIS GOUVEIA DA SILVA

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA AGUARDENTE DE
ALGAROBA E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM
PRODUTOS ALIMENTARES**

**CAMPINA GRANDE
2009**

CLÓVIS GOUVEIA DA SILVA

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA AGUARDENTE
DE ALGAROBA E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS
EM PRODUTOS ALIMENTARES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Federal de Campina Grande, como requisito para obtenção do título de Doutor.

Área de concentração:

Desenvolvimento de processos

Orientadores:

Prof. Dr. Mário Eduardo R. M. Cavalcanti Mata

Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte

CAMPINA GRANDE
2009

DIGITALIZAÇÃO:
SISTEMOTECA - UFCG

Ficha Catalográfica

S586o
2009

Silva, Clóvis Gouveia
Otimização da fabricação da aguardente de algaroba e aproveitamento dos resíduos sólidos em produtos alimentares Clóvis Gouveia da Silva, Campina Grande, 2009
219 f.: il.

Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) - Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos.

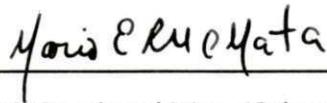
Indici Bibliografic

1. Algaroba 2. Aguardente 3. *Prosopis juliflora* I. Título

CDU: 582.737(043)

**OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE PRODUÇÃO DA AGUARDENTE DE
ALGAROBA E APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS EM
PRODUTOS ALIMENTARES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos da
Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.



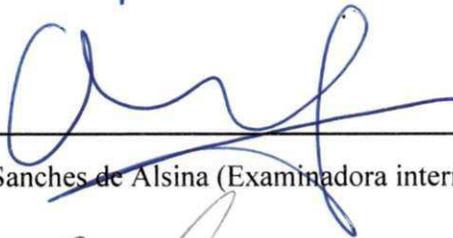
Prof. Dr. Mario Eduardo R.M. Cavalcanti Mata (Orientador – UFCG)



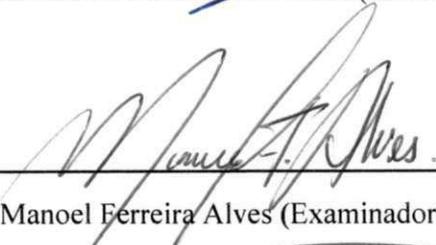
Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte (Orientadora – UFCG)



Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva (Examinador interno – UFCG)



Profa. Dra. Odelsia Leonor Sanches de Alsina (Examinadora interna – UFCG)



Prof. Dr. Manoel Ferreira Alves (Examinador externo – UFPB)



Prof. Dr. Francisco de Assis Cardoso Almeida (Examinador externo – UFPB)

DEDICATÓRIA

A DEUS

A meu pai, in memoriam

DEDICO ESTE TRABALHO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por tudo na vida.

A minha mãe, minha esposa e meus filhos, pelo carinho e incentivo constante;

A minha irmã Sônia e família, por me acolherem carinhosamente em sua casa durante a realização dos experimentos;

À pesquisadora Aleksandra que participou, de forma ativa e incansável, de todos os procedimentos experimentais e do controle do processo fermentativo.

A meus orientadores, Prof. Dr. Mario Eduardo Moreira Cavalcanti Mata e Profa. Dra. Maria Elita Martins Duarte, pela valiosa orientação durante a realização deste trabalho;

Ao Prof. Dr. Flávio Luiz Honorato da Silva, da UFCG, por se dispor a me ajudar na elaboração da tese e disponibilizar o Laboratório de Engenharia Bioquímica para a realização dos ensaios fermentativos e analíticos necessários.

À Profa. Dra. Líbia de Sousa Conrado Oliveira, pelo incentivo durante os procedimentos experimentais.

Aos professores, Prof. Dr. Manoel Ferreira Alves, Profa. Dra. Aurélia A. Idrogo, Profa. Dra. Mabel Batista, Vital de Sousa Queiroz, Prof. Dr. Luiz Renato, Prof. Dr. Ian Carneiro, Prof. José Gonçalves, Robson, Jorge e demais colegas do Centro de Tecnologia;

À Profa. Dra. Odelsia Leonor de Sanchez Alsina Coordenadora e à Secretária Fátima, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos;

Aos colegas do curso, em especial a José Carlos, Flávia, Mayk, Cândido, Maria José, Luisinho, Paulinho, Marcos, França, Morgana, Moacir, Mércia, Marcos, Silas, Luciene, Jonas, Adriano, Hermeval, Larissa, Adriana, Fátima, Concita, Marcelo, Ana Regina e Thiago, pela ajuda na realização dos experimentos;

A colaboração de Antonio Alberto (EMATER-SB), José Benedito, José Gomes e Branca (NUPPA), Maurício (RIOCON), Jorge (DTQA);

Aos funcionários e alunos do Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas;

In memoriam:

Ao Prof. Dr. Walter Borzani (*in memoriam*) pelo incentivo e por todas as informações e materiais e pelo envio dos materiais relativos a consultas.

A todos os entusiastas e defensores da cultura da algarobeira e do aproveitamento integral das suas múltiplas potencialidades em prol do desenvolvimento social, econômico e ambiental do Nordeste Brasileiro: Paulo César de Lima, Benedito Mendes, Delmiro Dantas, José Mago, Perón Japiassu, Genilson e Kalina Japiassu.

Em especial ao Dr. Inácio Antonino, em reconhecimento a um dos maiores incentivadores da cultura algarobeira no Nordeste.

A todos os citados e aos que mesmo não estando entre esses, me ajudaram participaram e desse trabalho.

O meu muito obrigado.

UFMG/BIBLIOTECA

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE QUADROS	xvi
LISTA DE TABELAS	xvii
LISTA DE SÍMBOLOS	xxi
RESUMO	xxiii
ABSTRACT	xxv
1. INTRODUÇÃO	01
1.1. Objetivo Geral	03
1.2. Objetivos Específicos	03
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	05
2.1. Aspectos gerais da cultura	05
2.1.1. A expansão da algarobeira pelo mundo	05
2.1.2. Principais espécies de algarobeira	06
2.1.3. Aplicações e usos das vagens em países da América do Sul	07
2.1.4. Principais potencialidades da algarobeira	08
2.1.5. Classificação botânica da algarobeira	10
2.1.6. Sistema radicular	10
2.1.7. Principais características e aplicações do caule	11
2.1.8. Principais características e aplicações das flores	12
2.1.9. Principais características e aplicações das folhas	13
2.1.10. Cultivo e produtividade	13
2.1.11. Aspectos gerais das vagens	14
2.1.11.1. Características nutricionais das vagens	15
2.1.11.2. Principais aplicações e usos das vagens	19
2.1.11.3. Principais aplicações e usos das sementes	20
2.1.12. Algaroba na alimentação humana	21
2.1.13. Algaroba na alimentação animal	22
2.1.14. Aspectos tecnológicos e industriais da algarobeira	23
2.2. Aguardentes	28
2.2.1. Definição	28
2.2.2. Substrato	29

2.2.3. Fermentações industriais	30
2.2.3.1 Fermentação alcoólica	30
2.2.3.1. Cinética dos processos fermentativos	31
2.2.3.2. Controle de processos fermentativos	34
2.2.3.3. Exigências nutricionais	37
2.2.3.4. Preparo do meio a ser fermentado	39
2.2.3.5. Preparo do inóculo	40
2.2.4. Destilação	40
2.2.5. Bidestilação	41
2.2.6. Padrões de identidade e qualidade de aguardente	42
2.2.7. Aguardentes de frutas e outras matérias-primas (Estado da arte)..	47
2.3. Aproveitamento dos resíduos sólidos agroindustriais	51
2.3.1. A secagem	52
2.3.2. A moagem	55
2.3.3. Peneiramento	57
2.4. Resíduos agroindustriais para produção de alimentos (Estado da arte) ..	60
2.5. Pão de forma	62
3.0. MATERIAL E MÉTODOS	64
3.1. Matéria-prima	64
3.1.1. Coleta	64
3.1.2. Seleção e limpeza	65
3.1.3. Rendimento da matéria-prima	65
3.1.4. Caracterização morfológica e físico-química das vagens de Algarobeira	66
3.2. Descrição do processo e obtenção de aguardente de algaroba	67
3.2.1. Matéria-prima	67
3.2.2. Seleção e pesagem	68
3.2.3. Sanitização	68
3.2.4. Fragmentação	68
3.2.5. Hidratação	68
3.2.6. Extração	69
3.2.6.1. Métodos 1 e 2	70
3.2.7. Prensagem	70

3.2.8. Fração líquida	71
3.2.9. Filtração	71
3.2.10. Padronização	71
3.2.11. Fermentação	72
3.2.11.1. Preparo do inoculo	72
3.2.11.2. Adição do inoculo	74
3.2.12. Otimização do processo	74
3.2.12.1. Estudo cinético	74
3.2.12.2. Planejamento experimental	77
3.2.12.3. Análise estatística	79
3.2.13. Centrifugação	79
3.2.14. Destilação	79
3.2.15. Bidestilação	81
3.2.15.1. Cabeça	82
3.2.15.2. Coração	82
3.2.15.3. Cauda	82
3.2.16. Aguardente	82
3.2.16.1. Análises físico-químicas	83
3.2.16.2. Análise cromatográfica	83
3.2.16.3. Análise sensorial	84
3.3. Aproveitamento da fração sólida (Resíduo da prensagem)	85
3.3.1. Fração sólida	86
3.3.2. Pesagem	86
3.3.3. Secagem	86
3.3.4. Moagem	89
3.3.5. Peneiramento	90
3.3.6. Padronização	90
3.3.7. Análises físico-químicas	91
3.4. O pão de forma enriquecido com a farinha da algaroba	91
3.4.1. Farinha tipo 1	92
3.4.2. Pesagem dos ingredientes	93
3.4.3. Mistura	93
3.4.4. Hidratação	93

3.4.5. Amassamento	94
3.4.6. Salga	94
3.4.7. Modelagem	94
3.4.8. Fermentação	94
3.4.9. Cozimento	95
3.4.10. Análises físico-químicas	95
3.4.11. Análise estatística	95
3.4.12. Análises microbiológicas	95
3.4.13. Análise sensorial	96
4.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO	97
4.1 Matéria-prima	97
4.1.2. Caracterização da matéria-prima	99
4.1.2.1. Caracterização morfológica	100
4.1.1.2. Caracterização físico-química	102
4.1.2.2.1. Análise estatística	102
4.2. Extração	106
4.2.1. Extração pelo método 1	108
4.2.2. Extração pelo método 2	110
4.3 Fermentação	112
4.3.1. Estudo cinético	112
4.3.2. Planejamento experimental	112
4.3.3. Análise estatística	114
4.3.3.1 Levedura comercial	114
4.3.3.2 Levedura selecionada (ALG3)	118
4.4. Destilação	125
4.4.1 Bidestilação	125
4.4.2. Estudo cinético da bidestilação	127
4.4.3 Rendimento Industrial	129
4.4.4 Componentes voláteis	130
4.5. Análise sensorial	133
4.6. Resíduo	137
4.6.1 Secagem do resíduo de algaroba	138
4.6.1.1 Curvas de secagem	139

4.6.1.2 Parâmetros e coeficientes de ajustes dos modelos	141
4.6.2. Moagem	144
4.6.3. Peneiramento	145
4.6.4. Composição físico-química da farinha do resíduo da algaroba	150
4.6.5. Avaliação sensorial	153
4.6.6. Avaliação microbiológica	158
5. CONCLUSÃO	160
6. REFERÊNCIAS	165
ANEXO A	181
APÊNDICE A	190

LISTA DE FIGURAS

FIGURAS	Página
2.1. A algarobeira	05
2.2. Rotas de introdução da algarobeira pelo mundo	06
2.3. Os diversos usos das vagens de algaroba na Argentina	07
2.4. Frutificação da algarobeira entre fendas de pedras no semiárido Paraibano	11
2.5. Formas diferentes de apresentação da copa nas principais espécies tropicais de algarobeiras	12
2.6. Sementes de algaroba	20
2.7. Comercialização de artesanato feito com madeira da algarobeira	24
2.8. A algarobina	26
2.9. A nova embalagem da aguardente de algaroba desenvolvida por Holanda (2008)	28
2.10. Leveduras selecionadas	38
2.11. Evolução da umidade, temperatura e velocidade de secagem ao longo do tempo	53
3.1. Vagens de algaroba acondicionadas em sacos de nylon	65
3.2. Seleção das vagens de algaroba para retirada das vagens danificadas ...	65
3.3. Fluxograma do processo da produção de aguardente de algaroba	67
3.4. Aspectos dos fragmentos hidratados das vagens antes da prensagem	69
3.5. Prensa manual utilizada para extração dos açúcares de algaroba do LAPPA	70
3.6. Processo de multiplicação do fermento ALG3 no caldo de cana	73
3.7. Sistema de reatores utilizado na fermentação do caldo de algaroba	76
3.8. Alambique usado na destilação da aguardente de algaroba LAPPA	80
3.9. Resíduo sólido prensado de algaroba antes dos tratamentos	85
3.10. Fluxograma do processo da produção de farinha do resíduo de algaroba	85
3.11. Secador de coluna em leito fixo utilizado na secagem do resíduo de algaroba	87
3.12. Moinho utilizado na fragmentação do resíduo seco de algaroba	89

3.13.	Farinha obtida a partir do resíduo prensado da algaroba	91
3.14.	Fluxograma da produção do pão de forma com farinha de algaroba	92
3.15.	Preparo da massa para elaboração do pão de forma	96
4.1.	Mapa das microrregiões produtoras de algaroba do Semiárido paraibano	99
4.2.	Sistema de prensagem e coleta do caldo de algaroba	107
4.3.	Gráfico de Pareto para P com levedura comercial	117
4.4.	Gráfico de Pareto para a produtividade para fermento ALG3	120
4.5.	Superfície de resposta: variação da produtividade em função das concentrações de sólidos solúveis totais e de leveduras	121
4.6.	Gráfico de Pareto para o rendimento em biomassa com o fermento ALG3	122
4.7.	Superfície de resposta: variação do rendimento da biomassa em função das concentrações de sólidos solúveis totais e de leveduras	122
4.8.	Estudo cinético da bidestilação do fermentado de algaroba obtido a partir do fermento comercial	127
4.9.	Estudo cinético da bidestilação do fermentado de algaroba obtido a partir do fermento ALG3	128
4.10.	Número de provadores e respectivos níveis de aceitabilidade percebidos pelos provadores não treinados para os atributos sabor e aroma, para a aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial	134
4.11.	Número de provadores e respectivos níveis de aceitabilidade percebidos pelos provadores não treinados para os atributos sabor e aroma, para a aguardente de algaroba produzida com a levedura selecionada no caldo de algaroba	135
4.12.	Cinética de secagem do RPA ajustado pelo modelo de Cavalcanti Mata	139
4.13.	Cinética de secagem do RPA ajustado pelo modelo de Page	140
4.14.	Cinética de secagem do RPA ajustado pelo modelo de Thompson	140
4.15.	Distribuição dos resíduos usando-se o modelo de Thompson	142
4.16.	Distribuição dos resíduos usando-se o modelo de Cavalcanti Mata	143
4.17.	Distribuição dos resíduos usando-se o modelo de Page	143
4.18.	Representação gráfica dos percentuais de rendimento na moagem	144

4.19.	Representação gráfica dos percentuais de aproveitamento nas peneiras Tyler	146
4.20.	Representação do percentual retido por malha utilizada em mm	147
4.21.	Representação do percentual retido por malha utilizada em mm	148
4.22.	Representação do percentual retido por malha utilizada em mm	149
4.23.	Composição físico-química da farinha do resíduo de algaroba	150
4.24.	Perfil dos valores atribuídos ao pão de forma processado com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 5%	154
4.25.	Perfil dos valores atribuídos ao pão de forma processado com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 10%	155
4.26.	Perfil dos valores atribuídos ao pão de forma processado com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 15%	155
4.27.	Pão de forma enriquecido com farinha de algaroba	159

LISTA DE QUADROS

2.1.	Padrões de qualidade exigidos pela legislação para aguardentes	43
2.2.	Composição para água a ser usada para fabricação de aguardentes	44
2.3.	Classificação do equipamento	57

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
2.1. Resultados encontrados por outros autores para a vagem in natura	15
2.2. Composição química da farinha integral	17
2.3. Composição das vagens de <i>P. juliflora</i> (PJ) e <i>P. pallida</i> (PP) no Kênia	18
2.4. Composição em minerais e vitaminas da polpa das vagens de <i>P. pallida</i>	18
2.5. Minerais presentes na farinha de algaroba	19
2.6. Modelos para ajuste de isotermas de sorção	55
3.1. Níveis reais e codificados das variáveis de entrada	78
3.2. Matriz de planejamento fatorial $2^2 + 3$ PC, da fermentação alcoólica usando caldo da algaroba e o inóculo comercial e ALG3	78
3.3. Equações usadas para modelar os resultados da secagem à 50, 60 e 70 e 80°C	88
3.4. Classificação das farinhas e as especificações granulométricas	90
3.5. Balanço de massa para o pão de forma com 5, 10 e 15% da farinha de algaroba	93
4.1. Rendimento médio por saca de vagem utilizada para obtenção do caldo	98
4.2. Características morfológicas estudadas nas vagens da algarobeira	100
4.3. Análise estatística da composição físico-química média das vagens da algarobeira das regiões pesquisadas	103
4.4. Composição físico-química das vagens de algarobeira coletadas aleatoriamente nos municípios paraibanos de Serra Branca, Campina Grande e Sousa	105

4.5.	Composição físico-química das vagens de algarobeira coletadas aleatoriamente nos municípios paraibanos de Sumé, Picuí e Patos.....	105
4.6.	Efeito da variação da pressão no caldo de algaroba extraído pelo método 1	108
4.7.	Efeito da variação da pressão no caldo de algaroba extraído pelo método 2	113
4.8.	Matriz de planejamento experimental fatorial 2^2 + três experimentos no ponto central, e os resultados experimentais para os ensaios da fermentação alcoólica do xarope da algaroba usando a levedura comercial.....	113
4.9.	Matriz de planejamento experimental fatorial 2^2 + três experimentos no ponto central, e os resultados experimentais para os ensaios da fermentação alcoólica do xarope da algaroba usando a levedura selecionada ALG3	114
4.10.	Parâmetros da análise de variância para as variáveis de respostas P, Yp/s, Yx/s e PC da levedura comercial a 95% de confiança	115
4.11.	Parâmetros da análise de variância para as variáveis de respostas P, Yp/s, Yx/s e PC da levedura comercial a 90% de significância com curvatura	117
4.12.	Parâmetros da análise de variância para as variáveis de respostas P, Yp/s, Yx/s e PC da levedura ALG3 a 95% de confiança	119
4.13.	Parâmetros da análise de variância para as variáveis de respostas, a 90% de confiança.....	120
4.14.	Resultados da bidestilação do flegma de algaroba com fermento comercial	125
4.15.	Rendimentos obtidos para o coração, cabeça e cauda com fermento comercial	126
4.16.	Resultados obtidos durante a bidestilação do flegma de algaroba	126
4.17.	Rendimentos obtidos para o coração, cabeça e cauda com a levedura ALG3	127
4.18.	Rendimento industrial do processo de produção de aguardente de algaroba bidestilada	129

4.19.	Avaliação dos resultados das análises dos componentes voláteis na aguardente de algaroba, em relação as normas estabelecidas pela legislação para aguardentes.....	130
4.20.	Valores atribuídos as aguardentes produzidas com as leveduras comercial e selecionada no caldo da algaroba (ALG3)	133
4.21.	Análise de variância para o sabor da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e da aguardente com a levedura ALG3	136
4.22.	Comparação entre média do sabor da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e da aguardente com a levedura ALG3.....	136
4.23.	Análise de variância para o aroma da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e da aguardente com a levedura ALG3.....	137
4.24.	Comparação entre média do aroma da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e da aguardente com a levedura ALG3.....	137
4.25.	Parâmetros de ajustes e coeficientes de determinação (R^2) dos modelos matemáticos estudados	141
	4.26 – Resultados das análises granulométricas das farinhas obtidas para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C	145
4.27.	Distribuição granulométrica da farinha do resíduo de algaroba seca a 50°C	147
4.28.	Distribuição granulométrica da farinha do resíduo de algaroba seca a 60°C	148
4.29.	Distribuição granulométrica da farinha do resíduo de algaroba seca a 70°C	149
4.30.	Percentuais dos componentes da farinha do resíduo da algaroba após as operações de secagem, moagem e peneiramento para elaboração dos pães ..	151
4.31.	Composição média do pão de forma com 5% do resíduo de algaroba	152
4.32.	Composição média do pão de forma com 10% do resíduo de algaroba	152
4.33.	Composição média do pão de forma com 15% do resíduo de algaroba	153

4.34.	Valores atribuídos ao pão de forma processado com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 5, 10 e 15%	154
4.35.	Análise de variância do sabor do pão de forma processado a partir da farinha do resíduo de algaroba com concentrações de 5, 10 e 15%.....	156
4.36.	Análise de comparação entre as médias do sabor para pão de forma processado a partir da farinha do resíduo de algaroba com concentrações de 5, 10 e 15%	156
4.37.	Análise de variância do aroma do pão de forma processado a partir da farinha do resíduo de algaroba com concentrações de 5, 10 e 15%.....	157
4.38.	Análise de comparação entre as médias do aroma para pão de forma processado a partir da farinha do resíduo de algaroba com concentrações de 5, 10 e 15%	157
4.39.	Resultados das análises microbiológicas no pão de forma enriquecido com farinha do resíduo de algaroba.....	158

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

- SST – Sólidos solúveis totais
- ALG3 – Levedura selecionada no caldo de algaroba
- ART – Sólidos solúveis totais
- DNS - Ácido 3,5 Dinitro Salicílico
- EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
- CNPAT – Centro Nacional de Pesquisa da Agroindústria Tropical
- P - produtividade volumétrica
- PC - Percentual de conversão (eficiência fermentativa)
- μ_{max} - Velocidade específica máxima de crescimento da levedura
- Y_p/s - Percentual de rendimento teórico
- Y_x/s - Percentual de rendimento em biomassa
- rpm – Rotações por minuto
- Rf - Rendimento do fermentado
- Vc - Volume do caldo
- Vt - Volume total
- Bu –Base úmida
- RX - Razão de umidade
- BUt - Umidade na base úmida no instante t
- BUi -Umidade na base úmida no início do processo
- Ue - Umidade de equilíbrio para cada temperatura
- n, a, b, a₁, a₂, a₃, a₄ e a₅ – constantes;
- k – coeficientes (s⁻¹)
- ICMSF. International Commission on Microbiological Specifications
- VCT - valor calórico total
- a, b, c, d, - Variações correspondentes à análise estatística de cada componente
- ANOVA - Análise de variância
- R² - Coeficiente de variação explicada
- °GL – Teor alcoólico em °Gay Lussac
- Re - Rendimento da extração
- Rf - Rendimento da fermentação
- Rd - Rendimento da destilação
- Ri - Rendimento industrial

DMS – Diferença mínima significativa

F - Variável estatística de Fisher

Dp – Diâmetro da peneira

NMP – Número mais provável por grama

RESUMO

SILVA, C.G. **Otimização das etapas de produção da aguardente de algaroba (*Prosopis juliflora* Sw DC) e aproveitamento dos resíduos resultantes em produtos alimentares.** 2009. Tese (Doutorado em Engenharia de Processo). Universidade Federal de Campina Grande – Campina Grande, PB.

O mundo, está cada vez mais focado no rápido crescimento da população, no aumento da demanda alimentar e, na necessidade urgente de se aumentar a oferta de alimentos sem prejudicar o meio ambiente. Esse trabalho teve como objetivo a otimização das etapas de produção da aguardente de algaroba (*Prosopis juliflora* Sw DC) e aproveitar os resíduos resultantes, em produtos alimentícios. Estudos anteriores comprovam teores de açúcares fermentescíveis em seus frutos, que proporcionam elevados rendimentos na produção de aguardente. Fundamentado nesses pré-requisitos, este estudo, avaliou a matéria-prima, os procedimentos operacionais e o sistema de aproveitamento aplicado ao resíduo durante as principais etapas de fabricação da aguardente de algaroba. Na primeira etapa, as vagens foram caracterizadas. Na segunda etapa, se desenvolveu um sistema para extração dos açúcares. A metodologia de extração foi dividida em: seleção, pesagem, sanitização, fragmentação, hidratação, prensagem e centrifugação.. Na terceira etapa, o caldo foi padronizado, e submetido a uma fermentação submersa por batelada simples em um sistema formado por sete reatores de polietileno. Esse processo constou das seguintes etapas: preparo do inóculo, adição do inóculo e estudo cinético das variáveis envolvidas no processo (ART, biomassa, SST, temperatura, acidez, pH, teor alcoólico). Na fermentação foi aplicado um planejamento fatorial para avaliar a influência das variáveis sólidos solúveis totais (SST) e do agente fermentativo para três concentrações diferentes nos resultados: produtividade, rendimento teórico, rendimento em biomassa e % conversão para as linhagens de leveduras selecionadas no caldo de algaroba (ALG-3) e levedura comercial. O fermentado obtido foi centrifugado, destilado e, posteriormente, bidestilado, para produção de aguardente. O produto final foi armazenado em garrafas de polietileno até a retirada das amostras para a realização das análises físico-químicas, cromatográficas e sensoriais. A fração sólida (resíduo), resultante da extração, foi seco, moído, peneirado e transformado em farinhas. A farinha que apresentou as

melhores propriedades foi submetida aos testes de panificação para produção de pão de forma. A aguardente obtida com a levedura comercial atingiu o rendimento industrial de 56,40% enquanto a ALG3 foi de 40,80. Sensorialmente, as aguardentes produzidas com as leveduras comercial e ALG3 não apresentaram diferença significativa a 5% de probabilidade; já o pão de forma, cuja concentração de farinha de algaroba foi 10%, obteve melhor aceitação em relação aos 5 e 15% testados. De acordo com os resultados, se conclui que pode ser usada qualquer uma das leveduras testadas no estudo sem causar nenhuma rejeição por parte do consumidor final.

Palavras-chave: algaroba, algarrobo, mesquite aguardente, pão, *Prosopis*

ABSTRACT

SILVA, C. G. **Optimization of the production steps of cachaça from carob (*Prosopis juliflora Sw DC*) and use of the resulting residuals as food products.** 2009. Thesis (Doctorate in Process Engineering). Federal University of Campina Grande – Campina Grande PB.

The world is focused more and more on rapid population growth rate and on the urgent need to increase the food supply without harming the environment. This study has as its objective the optimization of the production steps of cachaça from carob (*Prosopis juliflora Sw DC*) and use of the resulting residuals as food products. Prior studies indicate the presence of fermentable sugars in carob fruit that could lead to high yields of cachaça. Based on these prerequisites, this study evaluated raw material, operational procedures, and the system of utilization applied to the residue during the principle stages of carob liquor production. In the first stage, the carob pods were characterized. In the second stage, a system of sugar extraction was developed. The extraction methodology was divided into various steps: selection, weighing, sanitization, fragmentation, hydration, compression, and centrifugation. In the third stage, the substratum was standardized and submitted in simple batches to submerged fermentation in a system formed by seven polyethylene reactors. The process was composed of the following steps: inoculant preparation, inoculation, and kinetic study of the variables involved in the process (Total Reducing Sugars, Biomass, Total Soluble Solids, Temperature, Acidity, pH, and Alcohol content). In the alcoholic fermentation study, a multi-factorial analysis was applied to evaluate the influence of three different concentrations of the variables Total Soluble Solids and the fermenting agent on the following results: productivity, theoretical yield, biomass yield, and percent conversion. The fermenting agents included a line of yeast selected from the carob substrate (ALG-3) and a line of commercial yeast. The yeast lines that were used were centrifuged, distilled, and later distilled again to produce the cachaça. The final product was stored in large polyethylene bottles until the removal of samples for physical-chemical, chromatographic and organoleptic analyses. The solid fraction (residual), resulting from the extraction, was dried, ground, sifted, and transformed into flour. The flour that presented the best properties was submitted

to baking tests to produce loaf bread. The cachaça that resulted from the commercial yeast reached an industrial yield of 56.40% while the ALG3 was 40.80%. Organoleptically, the cachaças produced with the commercial yeast and the ALG3 did not present significant differences at the 5% level of probability. The bread loaves made with a concentration of 10% carob flour had the best acceptance when compared to the loaves tested containing 5% and 15%. According to the results, we conclude that one could use either of the yeasts tested in the study without causing any rejection from consumers.

Key words: mesquite, firewater, Bread, *Prosopis*

1. INTRODUÇÃO

A algarobeira não é uma planta nativa do Brasil, no entanto, devido a sua excelente adaptação às regiões áridas e semiáridas, é encontrada em plantações cultivadas e subespontâneas em todos os estados do Nordeste brasileiro; sua expansão para os demais estados da Federação ocorreu através da regeneração natural de plantios e hoje o Nordeste conta com a maior reserva algarobeira do País, embora este potencial não seja ainda, integralmente aproveitado, ocupando apenas cerca de 500 mil hectares, razão pela qual o Nordeste brasileiro sempre se manteve como o maior produtor de algaroba; a cultura algarobeira tem apresentado um aumento crescente de produção (FREIRE, 2004).

SILVA et al. (2002) estimam que esta produção de algaroba passa de 1,1 milhão de toneladas/ano de vagens *in natura*, com rendimento bruto de cerca de US\$ 22 milhões de dólares. Ainda sobre o aspecto econômico, SUASSUNA (2007) descreve que a algarobeira tem contribuído de forma decisiva para que a economia do semiárido não entre em colapso, visto que sua ausência poderia causar desequilíbrio ambiental de grandes proporções, dado ao fato de estar inserida em todas as etapas do extrativismo vegetal servindo, assim, de proteção à vegetação nativa.

As vagens da algarobeira são frutos palatáveis, aromáticos e doces, e se acham entre os alimentos mais antigos utilizados pelo homem no Novo Mundo. Observou-se, durante a época do descobrimento, o uso das vagens da algaroba na alimentação humana, quando os espanhóis chegaram à América do Sul e encontraram os índios utilizando-os na alimentação, principalmente nas regiões semidesérticas, que se estendem do sul do Equador ao centro do Chile e da Argentina (FIGUEIREDO, 2004).

A parede dos frutos da algarobeira é rica em açúcares, proteínas, sais minerais e outras substâncias que podem ser transformadas em matéria-prima na produção de bolos, pães, biscoitos, bebidas, condimentos, geléias, méis, pudins, sopas, papas e outros alimentos saborosos e nutritivos. A fermentação do xarope extraído das vagens da algarobeira, produz álcool etílico, ácido acético e ácido cítrico, enzimas e muitos outros componentes secundários, como aldeídos, metanol, álcoois superiores, ácidos e ésteres, que contribuem para a qualidade organoléptica das bebidas.

O elevado teor de açúcares associado aos altos níveis de nitrogênio das vagens da algarobeira, favorece os processos bioquímicos e viabiliza a tecnologia de produção de álcool, aguardentes, licor, vinho, mel, enzimas, ácidos, gomas, vinagre, açúcares e até bebida que substitui o café. Em alguns países andinos se fabricam outras bebidas, tais como aloja, chicha, etole e algarobina (um tipo de fortificante estomacal e afrodisíaco) (CAMPELO, 1987).

Face às dificuldades encontradas nessas regiões em longos períodos de estiagem, pode-se afirmar que, para o sertanejo, seria quase impossível sobreviver sem a algarobeira, tendo em vista a grande quantidade de frutos destinados à ração animal, além do elevado volume de madeira destinada a construções e instalações rurais (cercas, porteiras, cocheiras, mourões, carros-de-boi, apriscos, etc), extração de lenha e carvão para serem queimados em fornos cerâmicos, padarias, usinas e siderúrgicas, por todo o Nordeste.

Neste contexto, faz-se necessário potencializar o aproveitamento dos frutos da cultura da algarobeira nas regiões semiáridas do Nordeste do Brasil, onde a subnutrição é consequência direta da carência de alimentos potencialmente nutritivos e de fácil aquisição, rica em nutrientes mas desperdiçada por falta de informações a essas populações rurais.

Valorizar a cadeia produtiva a partir dos recursos naturais disponíveis através de técnicas agrícolas apropriadas, como colheita, manuseio e transporte da produção agrícola, assim como o beneficiamento e reconhecimento das potencialidades oferecidas por matérias-primas produzidas na região, é fundamental para o desenvolvimento sustentável da região Nordeste.

Em razão de todas essas informações as vagens de algaroba têm sido potencial fonte de matéria-prima para o desenvolvimento de uma série de produtos e inovações tecnológicas que estão sendo estudadas por pesquisadores de vários países, a exemplo da farinha integral de algaroba, que é produzida no Kenia, no Brasil, Estados Unidos, Argentina e México, e da algarobina Peruana, exportada para vários países (GRADOS et al., 2000; CHOGE et al.(2007).

No Brasil, os primeiros trabalhos com a aguardente de algaroba foram realizados por SILVA (2002); a partir daí, verificou-se a necessidade de novos trabalhos que otimizassem o processo de produção e possibilitassem o aproveitamento do potencial de açúcares existentes

nas vagens da algarobeira para implantação de pequenas unidades em escala microindustrial, proporcionando um retorno financeiro significativo para o produtor e a geração de emprego e renda para a região.

A otimização das etapas básicas de fabricação da aguardente a partir dos açúcares extraídos das vagens da algarobeira, requer estudos técnicos e científicos que comprovem a viabilidade técnica, econômica e social do processo. SILVA (2002) constatou que, a partir dos resíduos provenientes da extração dos açúcares para obtenção da aguardente de algaroba, era possível transformá-lo em farinhas para o desenvolvimento de outros produtos de base alimentícia, processos que podem ser decisivos para esta realidade, pois oferecem possibilidades de homogeneizar padrões diversificados de consumo com fontes de abastecimento locais, e a capacidade de diversificar o uso de produtos tradicionais e iguarias regionais atingindo cada vez mais uma classe mais exigente e sofisticada de consumidores, para os novos produtos gerados. Espera-se, com este estudo, possibilitar o aperfeiçoamento da produção da aguardente de algaroba e gerar produtos alimentícios a partir do resíduo (subproduto).

1.1. Objetivo Geral

Otimizar as etapas básicas do processo de produção da aguardente de algaroba e desenvolver tecnologias para transformar o resíduo sólido prensado, resultante da extração do caldo, em farinhas a serem aplicadas em formulações de alimentos e rações.

1.2. Objetivos Específicos

1. Caracterização da matéria-prima (vagens), quanto às suas propriedades físicas, químicas e biológicas;
2. Otimizar o sistema de extração do substrato (ART) e avaliar o rendimento de extração entre as vagens hidratadas a frio e trituradas e vagens sanitizadas, fragmentadas e hidratadas a quente;

3. Caracterização, padronização e monitoração dos parâmetros físicos, químicos e biológicos do material obtido (extrato aquoso, resíduo sólido); Testar a aplicação e o uso do resíduo (subproduto) na formulação e preparo de alimentos;
4. Buscar as melhores condições do processo de fermentação alcoólica, através de um estudo cinético e estudar as influências das variáveis envolvidas (temperatura, densidade do meio, pH, acidez, sólidos solúveis, ART, consumo substrato, concentração de leveduras,) na velocidade das transformações e nos parâmetros cinéticos (μ_{\max} , % de conversão, produtividade, $Y_{x/s}$, $Y_{p/s}$).
5. Controlar as principais etapas do processo de destilação e realizar um estudo cinético da bidestilação, ajustando as variáveis responsáveis pelo controle e qualidade do produto e avaliar o efeito dos tratamentos aplicados na qualidade, rendimento e produtividade do processo destilatório;
6. Desenvolver novos produtos partindo do aproveitamento do resíduo sólido prensado – RSP (subproduto), transformando-o em farinha e testar a aplicação dessa farinha em formulações alimentícias;
7. Efetuar o controle de qualidade por análises físico-químicas, cromatográficas e sensoriais, de forma a atender aos padrões de identidade e qualidade, estabelecidos pela legislação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Aspectos gerais da cultura

2.1.1. A expansão da algarobeira pelo mundo

Os algarobais constituem uma importante fonte de renda para os povos de zonas áridas e semiáridas sul-americanas; seu uso remota desde a antiguidade, há mais de 8000 anos. Sementes de algarobeiras originária do deserto no Peru se espalharam pelo México, Estados Unidos, Índia, África do Sul e Austrália, Jamaica e Havai.

Nos últimos 200 anos o gênero *Prosopis*, do Sul e da América Central, tem sido distribuído em regiões secas do mundo e agora espalhado em regiões áridas e semiáridas do leste da África, África do Sul, Paquistão, Índia, Brasil e Austrália (CHOGE et al. 2007; ROIG, 1993). Segundo AZEVEDO, 1960, 1961; GOMES, 1961, sua introdução no Brasil data de 1942, em Serra Talhada, Pernambuco, com sementes procedentes de Piura, Peru, por intermédio da Secretaria de Agricultura desse estado, por recomendação do J.B. Griffing, diretor da Escola Superior de Agricultura de Viçosa, Estado de Minas Gerais. Duas introduções adicionais foram feitas em Angicos, Rio Grande do Norte, em 1947, com sementes do Peru e, em 1948, com sementes oriundas do Sudão (AZEVEDO, 1955). A Figura 2.1, mostra a algarobeira na arborização de cidades nordestinas.



Figura 2.1 – A algarobeira

2.1.2. Principais espécies de algarobeira

Existem, no mundo, cerca de 44 espécies de *Prosopis* distribuídas nas Américas, Ásia e África, principalmente nas áreas quentes, de baixa pluviosidade e distribuição irregular de chuvas. **América do norte:** *P. glandulosa*, *P. pubescens*, *P. velutina*; **América Central / América do Sul:** *P. abbreviata*, *P. Alba*, *P. affinis*, *P. articulata*, *P. caldenia*, *P. calingastana*, *P. chilensis*, *P. cinerária*, *P. ferox*, *P. flexulosa*, *P. hasslere*, *P. juliflora*, *P. kuntzeil*, *P. laevigata*, *P. nardubay*, *P. nigra*, *P. pallida*, *palmeri*, *P. panta*, *P. pugionatta*, *P. rubiflora*, *P. rúscifolia*, *P. tamarugo*, *P. tamaruya*, *P. torquat* e *P. vinalillo*. **Africanas e asiáticas:** *P. africana*, *P. cinerária*, *P. pallida* (Burkart, citado por AZEVEDO, 1961).

As espécies do gênero *Prosopis* apresentam grande resistência à seca e à salinidade, mas têm alta capacidade de fixar nitrogênio ao solo, os frutos são ricos em carboidratos, proteínas e minerais.

Tem-se, na Figura 2.2 as principais rotas da expansão da algarobeira no mundo, a partir das Américas.

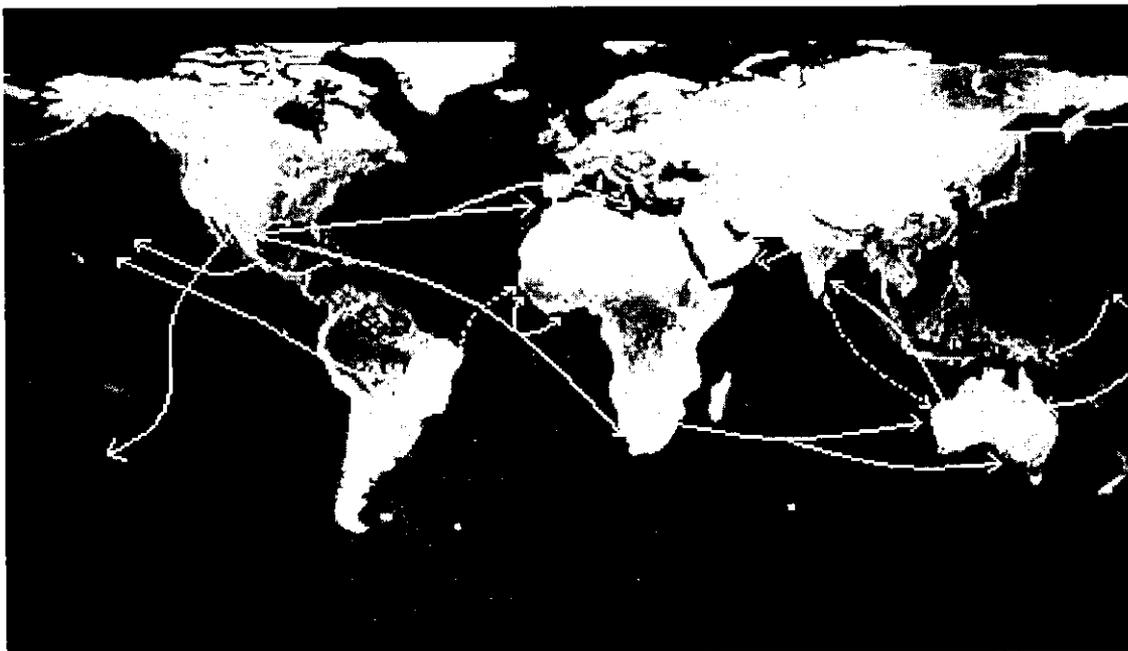


Figura 2.2 - Rotas de introdução da algarobeira no mundo

FONTE: Pasiiecznik (2001)

2.1.3. Aplicações e usos das vagens em países da América do Sul

Em referência às vagens, trata-se de uma matéria-prima que, além da aguardente, pode ser utilizada para produção de uma série de outros produtos, alguns em desenvolvimento por pesquisadores em vários países da América do Sul, África e Ásia, a exemplo da algarobina e da farinha no Peru, Kenia, Brasil, Estados Unidos, Argentina e México (GRADOS et al., 2000; CHOGE et al. 2007).

Nas Américas se encontram as maiores concentrações e o maior número de espécies *Prosopis* que se distribuem pelas regiões ocidentais mais secas, desde o sudeste dos Estados Unidos até a Patagônia, na Argentina. Dessas, 28 espécies podem ser encontradas na região do Chaco Argentino (ROIG, 1993a). A algaroba na região do Chaco Argentino é utilizada de várias maneiras, conforme a Figura 2.3 (DEMAIO, 1988; SHARPENTIER, 1998).

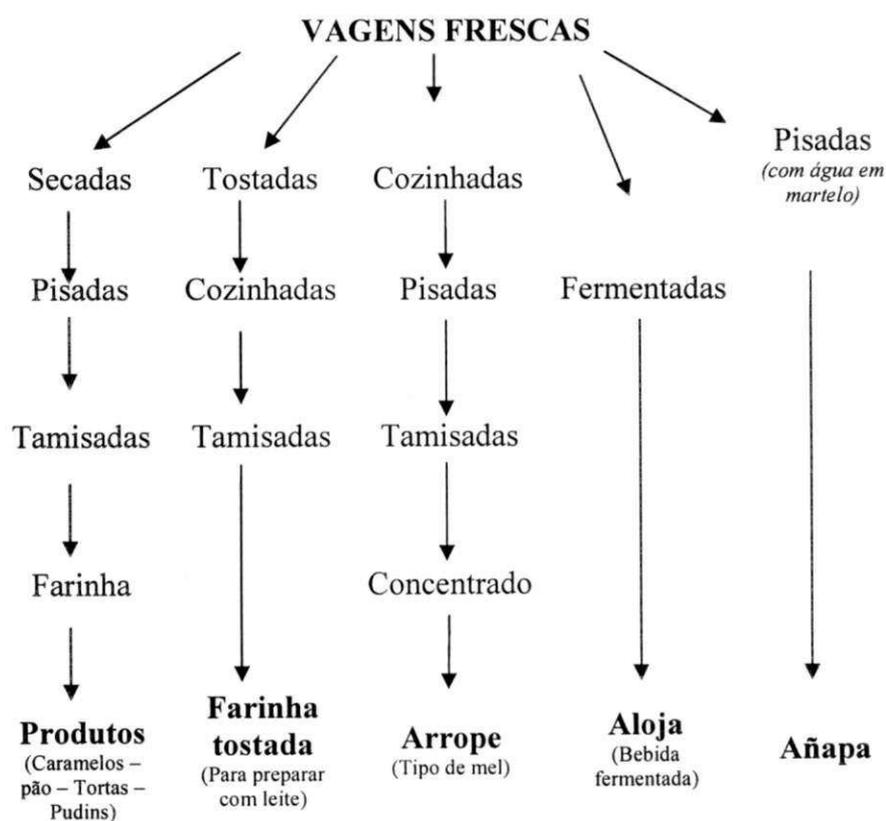


Figura 2.3 - Os diversos usos das vagens de algaroba na Argentina

2.1.4. Principais potencialidades da algarobeira

A algarobeira cresce e frutifica rápido; época de floração se dá no período mais seco do ano e se conserva verdejante todo o ano; sua produção se mantém durante trinta a quarenta anos, vegetando bem em quase todos os tipos de solo do Nordeste, pedregosos, de aluvião, sílico-argilosos, argilo-silicosos e arenosos, servindo como cobertura para terrenos erodidos (GOMES, 1973; BARBOSA,1977).

De acordo com esses autores, a arborização com algaroba é uma ótima opção para o semiárido nordestino, como forrageira, no melhoramento do pasto e no reflorestamento dos terrenos impróprios para a lavoura. Além de oferecer uma área de sombra, a árvore é muito valorizada na região em virtude dos múltiplos usos em propriedades rurais e por ser extremamente resistente à seca e suas vagens serem bastante apreciadas pelos animais. De acordo com GIL (2008) trata-se de um recurso natural importante do nosso planeta, que se deve conservar, evitando sua destruição; Para proteger a cultura é indispensável, primeiro, conhecê-la, de forma integral e ressaltar três aspectos: o cultural, o tecnológico e o ecológico, para logo difundi-los; dentre esses aspectos, o cultural compreende todas aquelas expressões em que a algaroba é protagonista em nosso folclore: mitos, histórias, costumes, crenças, usos e aproveitamentos desta generosa árvore: do seu tronco e ramos, a madeira, carvão, lenha, tintura e gomas; do seu fruto, alimentos e álcool; de suas flores, mel. (GIL, 2008; CAMPELO, 1987), referem ao aspecto tecnológico, como a algaroba é uma árvore que, quando cultivada adequadamente, poderá trazer ao homem e à economia local, diversos benefícios, como: construções rurais, combustíveis, bebidas e alimentos, a exemplo de alguns países andinos onde se fabricam bebidas, tais como: aloja, chicha, etole, algarobina (fortificante) estomacal e afrodisíaca. Em relação ao aspecto ecológico a algaroba, em si mesma e em relação ao seu ambiente natural (origem, distribuição geográfica, descrição botânica, habitat natural, efeito sobre o ambiente) à espécie, conclama o homem, a trabalhá-la e a integrá-la nos mais variados sistemas produtivos.

Do ponto de vista ambiental a algarobeira se destaca-se no reflorestamento, protege e fertiliza o solo, cria microclimas, combate a desertificação, evita a devastação da mata nativa e fornece madeira, mel e alimentos para as atividades rurais (CAMPELO, 1987).

A excepcional importância e o valor do gênero *Prosopis* residem no fato e na capacidade que elas apresentam em transformar terras áridas que nada produzem, em terras produtivas. A algarobeira é resistente a secas drásticas e bem adaptada a temperaturas elevadas e solos pobres; seu sistema radicular é capaz de buscar água a mais de 50 metros de profundidade (AGIDE, 1987).

Para povos que habitaram o deserto do sudeste americano, México, América do Sul e da Patagônia, a algaroba é um produto que serve como alimento, ração, lenha, madeira, armas, ferramentas, sombra e abrigo (SIMPSON, 1977). Para BARROS (1981), no reflorestamento a algarobeira é uma excelente essência florestal para o semiárido do Nordeste; necessário para evitar a erosão e a desertificação se cultivada de forma planejada e, sob orientação técnica, resiste a seca, é de fácil fixação, cresce rápido e produz madeira, carvão, mourões, estacas, dormentes etc.

Em geral, as cidades do semiárido são muito quentes e devem ser arborizadas com algarobeira, pois conserva as folhas durante o ano, tornando-as mais frias e agradáveis (CAMPELO 1987).

Outra característica significativa da algarobeira é a capacidade de recuperar e enriquecer solos fracos, fertilizando-os através da fixação do gás nitrogênio absorvido do ar e fixado pelas bactérias nitrificantes do gênero *Rhizobium*, transformando-o em amônia ou sais de amônio; íon amônio; é oxidado, então, a nitrito e este, para nitrato.

Os nitratos solúveis do solo são absorvidos pelas raízes dos vegetais e transformados em proteínas vegetais, que são usadas na nutrição de animais superiores, transformando-se em proteína animal; portanto, o *Rhizobium* funciona como verdadeiro adubo vivo, fornecendo, à planta, os sais de nitrogênio necessários ao seu desenvolvimento; em contrapartida, a planta fornece matéria orgânica para as bactérias, definindo uma relação de benefícios mútuos, denominada mutualismo.

2.1.5. Classificação botânica da algarobeira

Do ponto de vista botânico, BARROS (1981a) classificou assim, a algarobeira cultivada no Nordeste: Família: Leguminosae, Subfamília: Mimosácea, Gênero: *Prosopis*, Espécie: *Prosopis juliflora* (Sw.) DC. (CORREIA, 1926) sua casca é pardo-avermelhada, fendida, escamosa e grossa; folhas bipenadas, um jugo, poucas vezes dois jugos, folíolos com 6-30 jugos, linear oblongos, separados entre si por longo raquis; flores amarelo-pálidas, dispostas em espigas axiliares cilíndricas, de 7 cm.

2.1.6. Sistema radicular

GOMES (1999) cita que o sistema radicular da algarobeira possui dois sistemas de raízes: uma pivotante funda (raiz principal), que atinge grandes profundidades na busca dos lençóis freáticos, retirando água do subsolo para a superfície e um tapete de raízes laterais, de superfície para absorver águas das chuvas infrequentes. Graças a essas características, suas raízes podem captar água do solo ou outras fontes de água permanentes dentro dos primeiros anos e todas as espécies de *Prosopis* podem sobreviver em áreas com baixa precipitação anual ou períodos secos muito prolongados, sendo espécies adaptadas a climas áridos e semiáridos; a germinação geralmente ocorre durante a estação chuvosa e as mudas devem ser estabelecidas suficientemente bem para que sobreviva à primeira estação seca.

ARRUDA (1994) descreve a tolerância da algarobeira a solos salinos em diferentes áreas do Nordeste nas quais nenhum outro vegetal conseguiu prosperar economicamente. SILVA (2005) mostra uma algarobeira fíncada na rocha com grande quantidade de frutos, conforme se observa na Figura 2.4.



Figura 2.4 – Frutificação da algarobeira entre fendas de pedras no semiárido paraibano

2.1.7. Principais características e aplicações do caule

A algarobeira (Figura 2.4) é uma leguminosa xerófila cujo caule tortuoso mede em torno de 6 a 8m de altura, podendo chegar a até 18 metros; o caule possui casca grossa, fendada, de cor pardo-avermelhada, sinuosa e retorcida; a copa pode alcançar de 6 a 20 metros de altura e de 0,45 a 1,00 metro de diâmetro, com coloração marrom, armado de espinhos axilares, solitários ou geminados, raramente inermes, alojados em ambos os lados dos nós e dos ramos (LIMA, 2002).

NOBRE (1987) afirma, em seu trabalho sobre os efeitos da poda e da adubação orgânica na produção de vagens de algaroba, ser normal a obtenção de 30m³ lenha/ha, desde que essa poda ocorra em intervalo de cinco anos.

Na Figura 2.5 se observam as diferentes formas de apresentação do gênero *prosopis* espalhadas pelas regiões áridas e semiáridas do mundo.

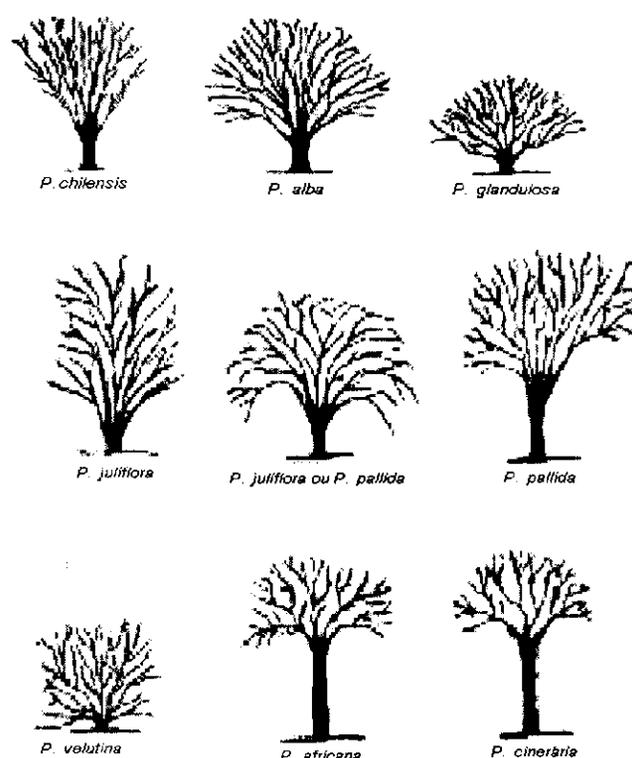


Figura 2.5 - Formas diferentes de apresentação da copa nas principais espécies tropicais de algarobeiras

2.1.8. Principais características e aplicações das flores

As inflorescências são dispostas em espigas axilares cilíndricas de 7 cm de comprimento; o cálice possui forma tubular e cor verde-amarelo-claro, 1,5 mm de largura, com sépalas em forma de campânula; a corola se compõe de 5 pétalas de cor verde-claro, amarelada, com 3 mm de tamanho e piloso nos lados; possui 10 estames estendidos, de cor amarelo-laranja contendo, nas extremidades, as anteras, de cor marrom e com 4 mm de comprimento; o pistilo único, com forma delgada, curvado, branco, com cerca de 4 mm de comprimento e ovário de cor verde-claro e pouco piloso; suas flores são muito melíferas e, segundo CAMPELO (1987), a produção de mel pode chegar a até 400 kg/hectare ano.

2.1.9. Principais características e aplicações das folhas

As folhas são compostas, bipinadas, de inserção alterna, 1 juga e, poucas vezes, 2 jugas, folíolos de 6 a 30 jugas, linear-oblongas, separadas entre si por longos raquis (CAMPELO, 1987).

2.1.10. Cultivo e produtividade

NOBRE et al. (1982), relatam pesquisas com os mais variados espaçamentos, desde 2m x 2m até 20m x 20m; no entanto, foi no espaçamento 10m x 10m que a algarobeira encontrou equilíbrio uma vez que, além da alta produtividade em frutos, a árvore pode ser podada visando à obtenção de lenha.

No Peru se planta algarobeira com espaçamento 10m x 10m, segundo pesquisa realizada por GOMES (1973), permitindo que durante a estação chuvosa cresçam gramíneas no algarobal. A época de maturação e queda das vagens coincide com o período de estiagem exatamente quando não há mais pasto.

As podas são necessárias no período de formação (crescimento) e de produção; nos primeiros anos, a poda deve ser moderada e limitar-se a suprimir os ramos mal formados e manter a copa em perfeito equilíbrio. Quando a árvore atinge certa idade a poda deve objetivar a máxima produção de frutos diminuindo o vigor da planta, debilitando-a, convenientemente, para aumentar a produção (VALDÍVIA, 1972).

Sobre a produção de vagens de algarobeira, (GOMES, 1973 e SUASSUNA, 2007) contataram na fazenda experimental de Pendência, no município de Soledade, PB, alto rendimento unitário de mais de 200 kg por planta isolada ou escolhida dentro de uma população, ou seja, considerando um espaçamento de 10m x 10m, e em triângulo equilátero, totalizando uma população de 115 plantas por hectare e mais de 20 toneladas por hectare caracterizando-se, assim, uma opção para o pecuarista do semiárido.

De acordo com LIMA (2002) uma árvore com 15 anos produz 78 kg de vagem por ano. No sudeste dos Estados Unidos a produção média de vagem de algaroba é de 8.700 kg por hectare/ano (Walton, citado por GOMES, 1973).

Em solos de aluvião de regiões secas, a algarobeira atinge produções superiores a 8.000 kg de vagens por hectare por ano (GOMES, 1961). Borja, citado por BUZO et al. (1972) considera amplas as possibilidades econômicas de cultivo da algarobeira, uma vez que um hectare poderá produzir até 9.000 kg de vagem por ano.

SUASSUNA, citado por NUNES (2007), descreve a experiência positiva da Fazenda Umburana, no município de Afogados da Ingazeira, PE, na qual foram obtidos 600 kg de vagem por planta, em um plantio enxertado. Suassuna diz que a enxertia já é uma realidade que poderá elevar a produção de mel de 100 para 600 litros e a produtividade poderá atingir de 20 a 23 toneladas de vagem por hectare.

2.1.11. Aspectos gerais das vagens

A algaroba ou algarrobo, em espanhol, é o nome que os conquistadores europeus deram aos frutos das espécies de *Prosopis* encontradas na América do Sul devido à sua semelhança com os frutos caroba da *Ceratonia siliqua*, leguminosa existente na região do Mediterrâneo (GOMES, 1961).

VALDÍVIA (1972) descreve que as vagens da algarobeira medem de 15 a 30 cm de comprimento e de 1 a 2 cm de largura, com peso variando entre 4 e 8 g compostas de epicarpo, mesocarpo e endocarpo.

Segundo SILVA (2005), as vagens encontradas no semiárido da Paraíba são achatadas, mais ou menos curvas, com mais ou menos 20 centímetros de comprimento e entre 1 a 2 cm de largura, com depressões entre as sementes; são compostas de epicarpo coriáceo, de cor amarelo-claro; mesocarpo carnoso e rico em sacarose (mais de 30%); o endocarpo é lenhoso e forma uma cápsula resistente que protege as sementes.

2.1.11.1. Características nutricionais das vagens

A algaroba se encontra entre os alimentos mais antigos utilizados pelo homem, constituindo-se em excelente fonte de carboidratos e proteínas; apresenta-se em forma de vagem achatada, curvada e comprida, com depressão entre as sementes (Correia, citada por ARRUDA, 1994) e está dividida em três partes: polpa, semente e endocarpo, crescem em pequenos talos formando racimos, contém uma polpa doce e de cor amarela.

A maioria dos estudos referentes à a caracterização físico-química das vagens da algarobeira, demonstra claramente sua importância para a geração de novas fontes renováveis de alimentos, combustíveis e diversos produtos em várias regiões do Planeta. Segundo CAMPOS (1980), foram encontrados, na composição da algaroba, matéria seca, 82,3%; proteína bruta, 9,9%; proteína digestível, 6,8%; extrato etéreo, 0,8%; cálcio, 0,16%; e fósforo, 0,13%; entretanto, Barbosa, citado por ARRUDA (1994) encontrou, baseado na matéria seca, os seguintes valores: matéria-seca, 82,7%; Proteína bruta, 9,91%; Extrato etéreo, 0,83%; carboidratos solúveis, 54,16%; constituintes da parede celular, 25,9%; resíduo mineral fixo, 3,76%; Cálcio 0,16% e fósforo, 0,13%.

A Tabela 2.1 apresenta os resultados encontrados por LIMA & LIMA (1985) e DEL VALLE (1983) para amostras de vagem in natura.

Tabela 2.1 – Resultados encontrados por outros autores, para a vagem in natura

Autores	Lima & Lima (1985)	Del Valle et al. (1983)
Umidade (%)	17,10	9,00
Proteína (%)	9,44	14,70
Lipídios (%)	1,22	3,20
Fibra (%)	20,02	21,30
Minerais (%)	3,80	3,20
Carboidratos	45,40	46,30

PROKOPIUK (2000) constatou, estudando a composição de duas espécies de algaroba: *Prosopis alba* (encontrada naturalmente no Chaco Argentino) e *Prosopis pallida*

(oriunda das zonas áridas do Peru), composição química e propriedades nutricionais similares para as duas e que os principais constituintes da polpa são: proteínas, cálcio, ferro, fibra dietética e açúcares com várias aplicações industriais, a exemplo do café e do cacau.

A polpa representa cerca de 56% do fruto e contém 60% de açúcares, dos quais 96% são sacarose (GRADOS e CRUZ, 1996). Seu sabor agradável e doce é a característica com maior aproveitamento industrial; o mesocarpo é rico em sacarose (20 – 25%) e açúcares redutores (10 – 20%). O endocarpo é de consistência lenhosa e guarda, nas sementes, 34 – 39% de proteínas (VALDÍVIA, 1972). Sua proteína é de boa digestibilidade equiparando-se às da cevada e do milho (FELKER & BANDURSKI, 1977; BECKER e GROSJEAN, 1980). Conforme FIGUEIREDO (2004), o elevado conteúdo de proteínas, minerais, fibras e lipídios e cálcio, é recomendado em casos de desnutrição, baixo peso e descalcificação e, quanto à vagem da algaroba, trata-se de um alimento completo, destacando-se inclusive, hidratos de carbono, como a sacarose, maltose e amidos que permite se comer a vagem crua. mas observando-se a Tabela 2.1, verificam-se valores bem mais expressivos para proteínas e minerais.

Tabela 2.2 - Composição química da farinha integral

Constituintes	Quantidade
Proteína (%)	14,95
Lipídeos (%)	3,98
Minerais (%)	3,89
Fibra (%)	25,87
Goma (Hidrocolóide %)	2,92
Carboidratos (%)	48,39
Calorias (colher sopa) kcal	41,3
Cálcio (mg /100 g)	410
Magnésio (mg /100 g)	122
Fósforo (mg /100 g)	142
Sódio (mg /100 g)	6,02
Potássio (mg /100 g)	1,085
Ferro (ppm)	58
Zinco (ppm)	28
Cobre (ppm)	12
Manganês (ppm)	18
Cobalto (ppm)	2,1
Selênio (ppm)	2,8

Fonte: Figueiredo (2004)

No seu trabalho sobre avaliação nutricional, LIMA (1987) cita que a vagem inteira não processada e a farinha de algaroba possuem altos teores de ferro e fósforo, superiores aos encontrados na farinha de milho integral e na farinha de mandioca.

A goma é considerada seu constituinte mais nobre e corresponde a cerca de 30% da semente e a 3% do peso da vagem. Teoricamente, chega-se a uma produção de 300 kg de goma por hectare. MARAGONI E ALLI (1988) encontraram que os açúcares solúveis do pericarpo de *P. juliflora*, do Equador se compõem de 75% de sucrose, 12% de frutose, 5% de glicose, 5% inositol e 1% de rafinose. Na Tabela 2.2, a seguir, se encontram os resultados analíticos das vagens integrais de duas espécies de algaroba introduzidas no Kenya: a *Prosopis juliflora* e a *Prosopis pallida*.

Tabela 2.3 – Composição das vagens de *P. juliflora* (PJ) e *P. pallida* (PP) no Kênia

ANÁLISES APROXIMADAS DAS VAGENS INTEGRAIS DE ALGAROBA								
<i>(Prosopis pallida e Prosopis juliflora no Kênia).</i>								
Espécies	Origem	M. Seca	P. Bruta	F. Bruta	E. E	Cinzas	ELN	Fonte
PP	Peru	85.9	9.1	18.4	1.0	3.9	65.3	a
PJ	Peru	82.0	9.1	13.6	0.4	5.8	71.1	a
PP	Brasil	-	8.1	22.1	1.3	5.0	64.0	b
PJ	Brasil	87.4	7.1	12.3	1.1	3.3	63.6	c
PJ	Índia	88.5	12.3	28.0	1.3	1.4	46.3	d
PJ	México	90.1	16.2	23.4	3.5	6.0	50.9	a
PJ	Nigéria	92.6	12.9	18.0	4.0	4.5	58.9	c
PJ	Kênia	-	16.0	22.0	3.4	4.5	54.1	f
PJ	A. Sul	-	13.9	27.7	3.0	4.8	50.6	g

Fonte: a - Dia; Celis (1995); b - Lima (1994); c - Galera et al. (1992); d - Anon. (1943); e - Tonzean (1973); f - Antilla et al. (1993); g - Gohl (1981)

A Tabela 2.4 apresenta a composição, em minerais e vitaminas, da polpa das vagens de *P. pallida* introduzida no Kenya.

Tabela 2.4 – Composição, em minerais e vitaminas, da polpa das vagens de *P. pallida*

Minerais	(g/kg seca massa)	Vitaminas	(mg/kg amostra)
Potássio	26.5	Vitamina A	Não detectada
Sódio	1.1	Vitamina E	5
Cálcio	0.8	Vitamina B1	1.9
Magnésio	0.9	Vitamina B2	0.6
Cobre	Traço	Vitamina B6	2.35
Zinco	Traço	Ácido nicotínico	31
Manganês	Traço	Vitamina C	60
Ferro	0.3	Ácido fólico	0.18
		Pantotenato de cálcio	

Fonte: Cruz et al. (1987)

A Tabela 2.5 apresenta a composição, em minerais e vitaminas, da farinha da vagem de algaroba; esses resultados foram encontrados por SILVA (2007). O conteúdo de cinzas foi de 3,6 g 100⁻¹, observando-se expressiva concentração de fósforo, cálcio e magnésio.

Tabela 2.5 - Minerais presentes na farinha de algaroba

MINERAIS	(mg.100 ⁻¹)
Cálcio (Ca)	390,00
Fósforo (P)	749,00
Magnésio (Mg)	173,00
Ferro (Fe) 11,00	11,00
Zinco (Zn)	0,20
Sódio (Na)	1,20
Potássio (K)	0,66
Manganês (Mn)	0,19
Silício (Si)	0,52
Alumínio (Al)	330,00
Cobre (Cu)	32,50

Fonte: Silva et al. (2007)

2.1.11.2. Principais aplicações e usos das vagens

As vagens, quando trituradas, são usadas para fazer farinha, que serve para preparar um tipo de pão. Deixadas fermentar, graças ao elevado teor de sacarose, dão origem a uma bebida alcoólica (FELKER e BANDURSKI, 1977; BECKER e GROSJEAN, 1980).

Vagens verdes podem ser cozidas, à semelhança de vagens de feijão; já o extrato aquoso obtido por maceração e cocção de vagens maduras, dá origem a um xarope comercializado em alguns países latino-americanos com o nome de “algarobina”, que pode ser usado como tônico e adoçante de café e outras bebidas.

Quando quebradas em pedaços pequenos e torradas, as vagens, depois de moídas, dão origem a um pó que pode ser usado como substituto (total ou parcial) do café; as vagens colhidas e trituradas podem destinar-se ao fabrico de rações e substituir, em parte, o milho (FIGUEIREDO, 1975).

A partir desse extrato concentrado se desenvolve uma bebida (semelhante a um suco) refrescante, nutritiva e de sabor agradável podendo-se, também, a partir desse extrato concentrado, obter formulação para geléias, como realizado com excelente aceitação por GROSSI (1993) por GROSSI e FIGUEIREDO (2000).

2.1.11.3. Principais aplicações e usos das sementes

Outro produto que pode ser produzido com a algaroba é a goma bruta extraída das sementes; esta goma é encontrada no endosperma das sementes (FIGUEIREDO, 1975).

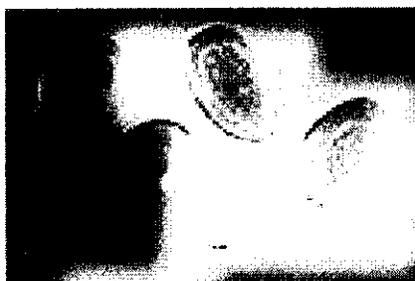


Figura 2.6 – Sementes de algaroba

A semente de algaroba (Figura 2.6) é, sem dúvida, uma importante e valiosa matéria-prima, graças à galactomanana (hidrocolóide) de seu endoplasma. Polímeros desse tipo, gomas LBG e Guar, são usados amplamente na formulação de sorvetes, queijos pastosos, molho para saladas, iogurtes etc. No Brasil, o primeiro estudo amplo sobre a composição e propriedades das vagens, incluindo-se a descrição e a elucidação da estrutura do polissacarídeo da semente, foi publicado em FIGUEIREDO (1975). É um polissacarídeo hidrossolúvel; trata-se de um galactomanano com peso molecular médio em torno de 250.000 encontrado na semente, cujas soluções apresentam elevada viscosidade.

Estas gomas são essenciais no processamento de alimentos, em razão de sua capacidade em melhorar a retenção de água, reduzir a perda de umidade por evaporação, alterar parâmetros de congelação e de formação de cristais de água e, principalmente, para aumentar e otimizar a viscosidade de alimentos e outros produtos. Portanto, esses hidrocoloides ajudam a se obter mais corpo, texturas mais suaves e realçam o flavor. agem ainda, como espessantes, emulsificantes e estabilizadores (FIGUEIREDO, 2000).

2.1.12. Algaroba na alimentação humana

Desde a época da colonização já se observava a utilização dos frutos da algarobeira como fonte de alimentação humana, haja visto que os espanhóis quando chegaram à América do sul, já encontraram os índios se alimentado desses frutos, fato constatado pelos espanhóis sobretudo nas regiões semidesérticas, que se estendem do sul do Equador ao Centro do Chile e da Argentina (CAMPELO, 1987).

FIGUEIREDO (2000) verificou, em trabalho realizado com algaroba no Instituto de Química Agrícola, no Rio de Janeiro, que as vagens de algarobeira se caracterizam pelo elevado teor de açúcar, cerca de 30%, o que lhes confere paladar agradável; possuem em torno de 12% de proteína bruta.

Nos últimos 25 anos inúmeros trabalhos foram desenvolvidos, tentando-se estudar melhor a composição e a utilização das vagens na elaboração de novos produtos. A composição do óleo da semente e o perfil de aminoácidos da fração protéica também foram descritos.

Buscando promover o desenvolvimento sustentável de regiões secas do Noroeste do Peru, a Universidade de Piura vem propondo como uma das alternativas, a industrialização dos frutos da algaroba possibilitando, desta forma, um maior valor agregado aos frutos e gerando o desenvolvimento socioeconômico dessas zonas áridas, contribuindo para frear a devastação ocasionada pela extrema pobreza na região (GRADOS et al, 2000)

2.1.13. Algaroba na alimentação animal

A vagem é a principal contribuição da algarobeira para a alimentação de bovinos, caprinos, ovinos, suínos e aves. As folhas também são aproveitadas, naturalmente ou em forma de feno (AZEVEDO, 1955).

Tanto a vagem quanto as folhas da algarobeira são utilizadas na ração de animais como bovinos, caprinos, ovinos, suínos e aves. O feno da algarobeira é considerado de grande importância para a alimentação animal devido à sua composição: umidade, 29,69%; fibra bruta, 28,25%; resíduo mineral, 5,77%; fósforo, 0,42%% e cálcio, 86% (AZEVEDO, 1986).

O México, Ceilão, Estados Unidos e Peru, utilizam a algaroba na alimentação de seus rebanhos, sendo que na região do Piúra, no Peru, cerca de 10% do rebanho bovino e 90% do rebanho caprino recebem, como alimento, os produtos da algarobeira, sobretudo, os frutos (Correia, citado por ARRUDA, 1994).

Em uma outra região do Peru, Trujillo, a algaroba é misturada à torta de algodão e ao melaço e fornecida ao gado. Quando fornecida isoladamente, é o consumo de 4 kg/dia/cabeça bovina (GOMES, 1961).

Estudo de Aran, citado por BARBOSA (1977), descreve que existe uma utilização melhor da algaroba na alimentação de bovino, quando consumida na forma de farinha. O autor também relata que o uso da farinha de sementes de algaroba secada ao forno, na alimentação de suínos, proporcionou um ganho de 0,595 kg/dia, contra 0,267 kg, quando do emprego de farinha secada ao sol. As rações utilizadas continham 70% de farinhas de sementes secadas ao forno e 64% de farinha de sementes secadas ao sol, respectivamente.

Em pesquisa sobre o valor nutritivo da algaroba, BARROS (1981b), estudou a digestibilidade em carneiros e chegou à conclusão de que a ingestão voluntária de vagem não foi influenciada pela trituração nem pelo aquecimento. Segundo o pesquisador, as vagens trituradas, associadas ao capim elefante, foram mais consumidas que as não trituradas e a digestibilidade aparente da matéria seca, energia bruta e proteína bruta da algaroba, não foram

influenciadas pela trituração nem pelo aquecimento. O autor concluiu, ainda, que a retenção de nitrogênio não melhorou pelo aquecimento nem pela trituração das vagens.

AZEVEDO (1960), citando ensaios realizados por Coronado e Olcese, no Peru, apresenta a digestibilidade da algaroba através dos seguintes coeficientes: matéria seca, 82,56%; proteína bruta, 80,13%; extrato etéreo, 90,98%; extrativo não nitrogenado, 83,19% e fibra bruta 70,89%. O trabalho desses professores demonstra que a algaroba possui coeficiente de digestibilidade elevado: proteína, 7,81%; gorduras digestivas, 1,03%; hidratos de carbono digestíveis, 61,10% e PADT, 71,23%.

Segundo LIMA (2003), estudos com farinha de algaroba (*Prosopis juliflora*) mostraram sua eficiência na produção de tecidos em animais jovens e a repleção em animais desnutridos. Neste trabalho foram utilizadas as ratas Wistar, para verificar o efeito da farinha de algaroba sobre a gestação e a lactação. Evidenciou-se que a interferência da qualidade da proteína de algaroba durante a gestação ocorreu principalmente no organismo materno, em benefício das crias, com relação ao peso corporal e à composição de lipídios e de proteínas.

2.1.14. Aspectos tecnológicos e industriais da algarobeira

Na indústria, a algaroba pode ser transformada em álcool e bebidas (aguardente, licor, bebida fermentada, bebida substituta do café, melado, vinagre) a exemplo de alguns países andinos, que fabricam bebidas tais como: aloja, chicha, etole, algarobina (fortificante) estomacal e afrodisíaca (CAMPELO, 1987). A algarobeira produz sombra, madeira, flores, frutos, folhas e raízes; toda a planta é aproveitada proporcionando uma gama satisfatória de produtos derivados da sua industrialização.

A madeira, pesada, dura, estável e durável, serve para diversas construções rurais, móveis e utensílios; produz energia para aquecer fornos, fogões usinas e cozinhar alimentos. De acordo com Gomes (1999), em seu trabalho sobre características tecnológicas da algarobeira, esta possui uma madeira de excelente qualidade, em especial no que diz respeito às suas características tecnológicas, em equiparação com as tradicionais e conceituadas madeiras de uso corriqueiro na construção civil.

A Figura 2.7 apresenta o uso artesanal da madeira da algarobeira para produção de vários utensílios domésticos, comercializados nas margens de uma rodovia.



Figura 2.7 – Comercialização de artesanato feito com madeira da algarobeira

Das suas flores as abelhas retiram grande quantidade de néctar para fazer um delicioso mel; os frutos, doces, são ricos em proteínas e energéticos e contêm elevados teores de cálcio e ferro imprescindíveis na alimentação humana e para os animais.

Resina

A resina desta planta é conhecida como excelente tintura de cor negra para colorir lã ou algodão. Com propriedades mucilaginosas, gomas e medicinais constitui uma alternativa produtiva para a família camponesa, proporcionando diversos produtos alimentícios (GIL, 2008).

Álcool etílico

Segundo BURKART (1952) a elaboração do álcool etílico por meio da fermentação e destilação do extrato açucarado da algaroba, é uma alternativa importante que se deve levar em conta, tendo em vista o baixo custo da matéria-prima e a sua impressionante riqueza em monossacarídeos diretamente fermentescíveis. A polpa doce de algaroba contém 62,7%, e representa 74% do peso do fruto; assim, 100 kg de fruto contêm 46,4 kg de açúcar que,

teoricamente, dão 27,2 litros de álcool absoluto; desta forma, vê-se que o rendimento de álcool que se pode obter, é elevado.

ARRUDA (1994), estudou a aplicação dos açúcares extraídos dos frutos maduros da algarobeira na obtenção do álcool etílico e concluiu que estava diante de um mosto dos mais propensos a sofrer fermentação; ele percebeu, já no primeiro momento, após a adição do fermento, o início da fermentação, fato que não ocorre com outras matérias-primas, além de fermentações com muito vigor e elevados rendimentos em álcool, teores de proteínas no resíduo sólido superiores a várias rações usadas nas regiões semiáridas, comprovando a viabilidade técnica e econômica do empreendimento.

Ensaio preliminares de fermentação com o emprego de leveduras isoladas mostraram que elas possuem elevada capacidade fermentativa e grande potencial para uso industrial (RABÊLO, 2007).

SOARES (2006), trabalhando com frutos maduros da algarobeira, obteve açúcar mascavo, concentrando o caldo a quente até 80° Brix para realização da cristalização, atingindo um teor de sólidos solúveis a frio acima de 90° Brix.

BORGES (2004) pesquisando os frutos da algarobeira obteve o sorvete formulado a partir do melado de algaroba. A análise sensorial do produto indicou índice de aceitação de 71,73%. A pesquisadora concluiu que o melado de algaroba se apresenta como excelente alternativa nutricional, quando comparado a outros alimentos açucarados (açúcar refinado e melado de cana), além de ser estável em termos microbiológicos e com boas perspectivas de ser utilizado em formulações alimentícias.

Obtém-se, do xarope concentrado extraído das suas vagens, o ácido cítrico, largamente empregado como conservante e estabilizante na indústria de alimentos (ANDRADE, 2004).

A algarobina

Com base no trabalho de GRADOS et al. (2000), “Produtos Industrializados de Algaroba Peruana (*Prosopis pallida*): Algarobina e Farinha de Algaroba”, Tem-se, na Figura 2.8, um pote da algarobina um extrato aquoso concentrado (75-78° Brix) de açúcares da algaroba, de cor marrom escuro e brilhante, produzido por várias microempresas da região e vendido em potes, com grande potencial de mercado nacional peruano, cujo processo de obtenção envolve as operações de lavagem, fragmentação, extração dos açúcares, concentração e envase, com rendimento médio de 34%.

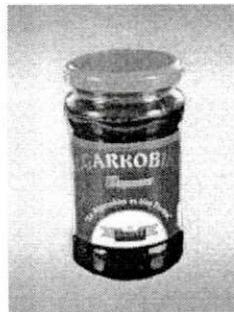


Figura 2.8 – A algarobina

Sua produção está direcionada a abastecer os grandes programas regionais assistenciais de alimentação com boas possibilidades de crescimento. Segundo o autor, seu atrativo engloba a qualidade nutricional, a origem natural e as características curativas, atribuídas pela tradição popular.

Farinha

No trabalho Aspectos Tecnológicos de Obtenção da Farinha Integral de Algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC) para uso em produtos de panificação, apresentado na II Jornada Nacional da Agricultura, SILVA et al. (2007), comprovam que a farinha de algaroba pode ser obtida após as operações de secagem, fragmentação e peneiramento das vagens.

A farinha de algaroba obtida por (GRADOS et al. 2000), apresenta granulometria abaixo de 0,15 mm, recomendada para ser usada em produtos panificáveis e de pastelaria.

FIGUEIREDO et al. (2004), estudaram a produção de expandidos à base de farinha mista de algaroba e arroz e de algaroba e milho, e constataram que, para misturas de farinhas de algaroba com arroz na proporção de 1:1 e de algaroba com milho na mesma proporção, processadas pelo processo de extrusão com o objetivo de elaborar expandidos e farinha pré-gelatinizadas dessas misturas, a qualidade das farinhas dos extrusados obtidos indica seu potencial de uso como cereal matinal ou como insumo no preparo de outros alimentos.

A farinha de algaroba associada à farinha de arroz ou grits de milho, quando submetida ao processo de extrusão, permite-se obter um produto de boa qualidade para uso como alimento ocasional; seu potencial nutricional, associado à qualidade de sua fibra, sugere o uso na formulação de alimentos (FIGUEIREDO et al. 2004).

Aguardente de algaroba

Trabalhando com algaroba, SILVA (2002) dimensionou o primeiro sistema microindustrial para obtenção de aguardente bidestilada e envelhecida em barris de carvalho a partir das suas vagens. Neste estudo, o autor desenvolveu uma série de operações básicas para extração, tratamento, monitoração e aproveitamento dos açúcares fermentescíveis existentes nas vagens da algarobeira (*Prosopis juliflora*); para isto, pesquisou processos fermentativos convencionais usados na indústria artesanal e os ajustou às condições oferecidas pela matéria-prima para elaboração de um produto fermento-destilado (aguardente) controlando a qualidade durante o processo de pré-envelhecimento (descanso), do produto; o autor concluiu que, para uma extração com diluição na proporção de 1:2 (1 kg de vagem/2 kg de água) a uma pressão média de 50 kgf/cm², se obteve um rendimento industrial médio de 52%. Conforme SILVA (2002), o limite máximo para obtenção da aguardente bidestilada dentro dos padrões e cujo aroma da aguardente de algaroba pre-envelhecida é significativamente melhor que o aroma da aguardente bidestilada não diferença significativa entre os sabores dessas duas aguardentes.

HOLANDA (2008) concluiu, em seu trabalho sobre Desenvolvimento de embalagem para aguardente de algaroba, que embalagens de cerâmica sem nenhum tipo de revestimento são impróprias para o armazenamento de aguardente, pois permitem que o líquido seja

evaporado no período de 8 dias e as características físico-químicas da aguardente são alteradas ao longo do armazenamento. A autora concluiu, também, que as alterações eram mais perceptíveis na aguardente acondicionada em embalagens do tipo PET (polietileno tereftalato) e que o vidro conserva melhor as qualidades organolépticas da bebida que a embalagem PET. Também se detectou, com a análise sensorial que o vidro é o melhor material para o acondicionamento de aguardente enquanto a embalagem escolhida para aguardente de algaroba, foi o conceito 1, que consiste em parâmetro de avaliação utilizado durante a escolha com diferença de apenas 3,1% de preferência em relação aos outros protótipos apresentados, conforme a Figura 2.11.

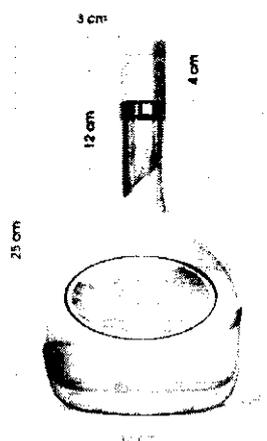


Figura 2.9 – Nova embalagem da aguardente de algaroba desenvolvida por Holanda (2008)

2.2. Aguardentes

2.2.1. Definição

Aguardentes são bebidas fortemente alcoólicas obtidas pela fermentação e posterior destilação de mostos açucarados, oriundos do caldo, de melão e de macerados vegetais ou não; assim, pode-se encontrar aguardente de frutas, como laranja, uva, banana; aguardente de cereais, como cevada, milho, arroz; aguardente de raízes e tubérculos como de beterraba, mandioca, batata; aguardente de colmos, como cana-de-açúcar e bambu (CARNEIRO e QUEIROZ, 1994).

Tipos de aguardente

Algumas aguardentes predominam em determinadas regiões, segundo a disponibilidade das matérias-primas que as originam; desta forma, onde há abundância de uvas, a preferência é do tipo conhaque, a bagaceira ou a graspa, da destilação dos resíduos da vinificação. O uísque de cevada ou de milho, o rum e a aguardente de cana das regiões tipicamente canavieiras, o saquê do arroz, o araque do mosto de tâmaras, o quirch que é feito da cereja, a vodka que vem da cereja ou da batata, o gim que provém de cereais e bagas de zimbro (CARNEIRO, 1994).

ARRUDA (1994), cita o trabalho dos Professores W. Campana, F. Ubillus e J. Clavijo divulgado no II Simpósio Brasileiro sobre Algaroba, no qual esses pesquisadores obtiveram etanol mediante fermentação dos açúcares de algaroba utilizando o processo fermentativo convencional; a levedura empregada foi a *Saccharomyces ellipsoideus*, sendo a vagem dividida em três partes: polpa, onde se encontram os açúcares fermentescíveis, caroço (fibra) e semente (proteína e polissacarídeos). O volume do inóculo foi de 10% do volume útil a fermentar. O autor também estudou a produção de etanol a partir da vagem da algarobeira através do processo convencional das destilarias e concluiu pela viabilidade da implantação de projetos dessa natureza.

A aguardente de cana-de-açúcar é a segunda bebida mais consumida no Brasil, em nível de mercado interno; constitui-se em importante agroindústria cuja produção nas grandes destilarias é de aproximadamente 20.000 litros por hora, operando 24 horas por dia, durante 180 dias ou mais, em função da safra de cana-de-açúcar; como resultado estima-se uma produção de 1,3 bilhões de litros anuais, de cujo total sendo 70% consumidos em “pontos de doses”, ou seja, nos conhecidos bares de esquina (NOGUEIRA et al, 2005).

2.2.2. Substrato

Qualquer produto que contenha açúcar ou outro carboidrato constitui-se em matéria-prima para a obtenção de etanol; entretanto, para que seja viável economicamente é preciso

considerar-se seu volume de produção, o rendimento industrial e o custo de fabricação (LIMA, 1975).

Pode-se classificar matérias açucaradas as seguintes substâncias: cana, beterraba, melaços, mel-de-abelha e frutas; em matérias amiláceas e feculentas, amido de grãos, fécula de raízes e tubérculos: matérias celulósicas, palhas, madeiras, resíduos sulfiticos de fábricas de papel.

Em qualquer caso, para se constituir em matéria-prima o produto vegetal depende de variáveis, como: a variedade, a idade, a procedência e as condições culturais, de maturação, de sanidade, de colheita, de transporte, de armazenamento.

2.2.3. Fermentações industriais

A atividade microbiana é utilizada pelo homem desde a antiguidade, na obtenção de compostos orgânicos de grande utilidade, através de processos industriais, simples ou complexos que, geralmente, consistem na oxidação parcial de uma substância orgânica.

2.2.3.1 Fermentação alcoólica

Fermentação é o processo de oxidação-redução intramolecular, anaeróbico e exotérmico, pelo qual, micro-organismos catalisam a conversão de uma substância em determinado produto; portanto, a fermentação alcoólica pode ser considerada a oxidação anaeróbica da glicose por ação de leveduras com a produção final de álcool etílico, anidrido carbônico e outros produtos secundários.

A fermentação alcoólica era conhecida e utilizada pelos povos antigos para produção de bebidas a partir de caldos açucarados obtidos pelo esmagamento de frutas (OLIVEIRA, 1960).

A oxidação da glicose pelas leveduras se desenvolve segundo o esquema apresentado por Meyerhooff, em uma sequência de reações em 14 fases envolvendo 15 enzimas e 3 coenzimas. Essas reações incluem transferência de fosfato, oxidação e redução, descarboxilação e isomerização, além de outras.

De acordo com PANTOJA (2006), a equação global de desdobramento da glicose em álcool e CO₂, em um processo de fermentação ocorre naturalmente com geração espontânea de energia, conforme a Equação 2.1.



Em que a relação estequiométrica mostra que 1 mol de glicose (180g) produz simultaneamente 2 moles de etanol (46g) e 2 moles de dióxido de carbono (44g) com saldo positivo de energia proveniente das células, o que confere o poder combustível do álcool.

Do ponto de vista bioquímico, a fermentação é um processo catabólico anaeróbico que não envolve cadeia respiratória nem citocromos. O processo da fermentação alcoólica se caracteriza como via catabólica na qual ocorre a degradação de moléculas de açúcar (glicose ou frutose), no interior da célula de micro-organismos (levedura e bactérias), até a formação de etanol e CO₂ ocorrendo liberação de energia química e térmica (VENTURINI FILHO, 2003).

2.2.3.1. Cinética dos processos fermentativos

O estudo da cinética dos processos fermentativos está voltado para dois grandes objetivos: (1) medir as velocidades das transformações que ocorrem durante o processo e (2) estudar a influência de fatores nas velocidades das transformações; assim, a cinética dos processos fermentativos permite o conhecimento das condições mais favoráveis de se conduzir e controlar um processo fermentativo (BORZANI, 1985).

O estudo cinético envolve o trabalho experimental de coleta de dados em laboratório e a influência de fatores. A análise dos resultados consiste na interpretação desses dados e os correlaciona, empiricamente ou através de modelos matemáticos (BORZANI, 1985).

A Engenharia Bioquímica também trata de estudos cinéticos da fermentação; portanto, é de fundamental importância conhecer o significado prático com que a velocidade das transformações acontece e os fatores que nela influenciam.

No estudo da cinética das fermentações alguns pontos devem ser levados em consideração, como:

- Concentrações dos micro-organismos ou das enzimas catalisadoras do processo;
- Decomposição relativamente rápida desses catalisadores;
- Temperatura desfavorável;
- Limitações consideráveis das técnicas experimentais das concentrações.

Velocidades instantâneas de transformação

As equações 2.2, 2.3 e 2.4 ilustram as definições das velocidades instantâneas de crescimento ou reprodução do micro-organismos, consumo de substrato e formação de produto mostradas, respectivamente, pelas seguintes expressões, para um tempo t:

$$r_x = \frac{dX}{dt} \quad (2.2)$$

$$r_s = -\frac{dS}{dt} \quad (2.3)$$

$$r_p = \frac{dP}{dt} \quad (2.4)$$

Velocidades específicas de transformação

Dado ao fato de que uma concentração microbiana **X** aumenta durante um cultivo descontínuo aumentando, conseqüentemente, a concentração do complexo enzimático responsável pela transformação do substrato **S** no produto **P**, pode-se analisar os valores das velocidades instantâneas (equações 2.5, 2.6, e 2.7) com referência à concentração microbiana, isto é, especificando-as com respeito ao valor de **X** em dado instante, conforme indicam as equações: 2.5, 2.6 e 2.7.

$$\mu_x = \frac{1}{X} \cdot \left[\frac{dX}{dt} \right] \quad (2.5)$$

$$\mu_s = \frac{1}{X} \cdot \left[-\frac{dS}{dt} \right] \quad (2.6)$$

$$\mu_p = \frac{1}{X} \cdot \left[\frac{dP}{dt} \right] \quad (2.7)$$

Essas expressões são denominadas velocidades específicas de crescimento, consumo de substrato e formação de produto, respectivamente.

Parâmetros fermentativos: rendimento e produtividade

Considerando-se um tempo *t* de fermentação, tem-se que os correspondentes valores de **X**, **S** e **P** podem ser relacionados entre si, através dos fatores de conversão definidos por:

$$Y_{X/S} = \frac{X - X_0}{S_0 - S} \quad (2.8)$$

$$Y_{P/S} = \frac{P - P_0}{S_0 - S} \quad (2.9)$$

$$\text{Prod} = \frac{Q_p}{t} \quad (2.10)$$

donde:

$Y_{x/s}$ = É a biomassa formada em relação à quantidade de substrato limitante consumido;

X = concentração final de biomassa (g/L);

X_0 = concentração inicial de biomassa (g/L);

S = concentração final de substrato (g/L);

S_0 = concentração inicial de substrato (g/L).

$Y_{p/s}$ = É o produto formado em relação à quantidade de substrato limitante consumido;

P = concentração final de produto (g/L);

P_0 = concentração inicial de produto (g/L);

S = concentração final de substrato (g/L);

S_0 = concentração inicial de substrato (g/L).

P = produtividade (g/L.h);

Q_p = quantidade de álcool produzida (p/v);

t = tempo total de fermentação (h).

Conforme Borzani (1985), nem sempre o substrato se esgota completamente quando a concentração celular apresenta seu valor máximo podendo, ainda, haver uma concentração residual daquela substância no meio de cultura, ao término da fermentação.

2.2.3.2. Controle de processos fermentativos

Deve-se observar, nos processos fermentativos, parâmetros físicos (temperaturas), parâmetros químicos (pH, sólidos solúveis totais) e biológicos (biomassa).

Temperatura

A temperatura é um dos fatores de suma importância ao bom desenvolvimento dos micro-organismos responsáveis pelo processo de fermentação (NOGUEIRA, 2005).

A temperatura exerce grande influência no crescimento microbiano, ocorrendo: temperatura mínima abaixo da qual o micro-organismo não se desenvolve; uma temperatura

ótima em que o crescimento microbiano é máximo; e uma temperatura máxima acima da qual não há crescimento microbiano fazendo-se necessário observar a temperatura para não comprometer o processo fermentativo. FRANCO et al. (1996) relatam que os micro-organismos mesófilos têm ótima temperatura de multiplicação variando entre 25° e 40 C, que corresponde à grande maioria dos micro-organismos.

De acordo com SILVA (2002) para o caldo de algaroba o melhor rendimento obtido na fermentação alcoólica por batelada simples, foi a temperatura média de 28°C.

A temperatura ótima de crescimento para as leveduras é citada pela maioria dos autores como sendo aquela na faixa dos 25 °C mas este valor deve ser sempre maior quando a levedura se encontra em meios muito ricos, como no caso de fermentações alcoólicas (AYUB et al., 2002).

NOVAIS et al. (1974), falam que, de modo geral, as leveduras de aguardente possuem determinada faixa de temperatura na qual desempenham eficientemente suas atividades e o ideal seria entre 26 a 32°C.

pH

O controle de pH é indispensável durante o processo de fermentação alcoólica; são recomendáveis valores de pH iniciais, que podem variar de 3,8 a 4,0; esta faixa de pH utilizada pode ser suficiente para permitir uma fermentação alcoólica rápida e inibir bactérias indesejáveis (AQUARONE et al., 1983).

Para LIMA (1975), o pH ótimo se situa entre pH 4,0 e 5,0; em níveis mais elevados, em substratos com poder tampão elevado, como os melaços a pH 5,8 – 5,9, enquanto NOVAIS et al. (1974) recomendam um pH de 4,5 a 5,5. SILVA (2002) estudando o processo fermentativo no caldo da algaroba, obteve os melhores rendimentos para um pH médio de 4,7.

De acordo com FRANCO et al. (1996), o pH em torno da neutralidade (entre 6,5 e 7,5) é o mais favorável para a maioria dos micro-organismos. Os autores comentam que os bolores e leveduras apresentam maior tolerância ao pH, sendo que os bolores se podem

multiplicar em valores de pH mais baixos que as leveduras, sendo essas mais tolerantes que as bactérias a valores baixos de pH, em que os valores de pH ótimo para a multiplicação de *Saccharomyces cerevisiae* são entre 4 e 5.

De acordo com AYUB (2002), a concentração de íons hidrogênio tem grande influência na fermentação alcoólica, no sentido de evitar contaminações, promover rápida formação do produto e evitar desvios de rota metabólica. Ainda assinala que as fermentações alcoólicas são realizadas com pHs na faixa de 3,5 a 6,0, dependendo do tipo de levedura empregada. O valor do pH deve ser igual ao valor ótimo de crescimento da levedura, já que a produção de etanol é ligada ao crescimento. Na prática, o pH é sempre mantido ácido, visto que retarda a ação de bactérias do ambiente; pHs muito altos provocam desvio da rota metabólica promovendo o surgimento de glicerol, acetato, ácidos orgânicos, além de etanol; embora leveduras sobrevivam em pHs na faixa de 2 a 8,6, abaixo de 3,5 não há mais formação de etanol, motivo pelo qual este parâmetro é controlado industrialmente.

Sólidos solúveis totais (°Brix)

NOGUEIRA (2005), descreve que o teor de açúcares em um caldo a ser fermentado depende da natureza e da composição química da matéria-prima, devendo ser compatível com o tipo de levedura que será utilizada e com o processo empregado na fermentação alcoólica.

Medidas de crescimento (biomassa)

O termo crescimento refere-se ao aumento populacional devido à multiplicação celular, indicando a viabilidade celular. Este crescimento está dividido em quatro fases: fase lag ou adaptação, fase log ou exponencial, fase estacionária e fase de declínio ou de morte dos micro-organismos. Na fase lag as leveduras são inoculadas no meio de cultura ocorrendo aí, um período de adaptação e ajuste às condições físicas e aos nutrientes disponíveis; dá-se, então, um período de latência porém existe intensa atividade metabólica; à medida em que a levedura se torna adaptada ao meio e às condições físicas, sintetiza componentes celulares e só então começa a metabolizar os nutrientes do meio e se multiplica. A duração e o padrão desta fase são influenciados pela linhagem da levedura, pela idade das células antes da

inoculação e pela composição, tanto do meio no qual a levedura vinha sendo cultivada quanto do novo meio em que foi inoculada.

A fase exponencial de crescimento tem início logo após a fase de adaptação, ocasião em que se inicia um aumento exponencial do número de células ($2^0 - 2^1 - 2^2 - 2^3 - 2^4 - 2^5 \dots 2^n$);.. esta é uma fase de intensa multiplicação e dura enquanto não houver limitação de nutrientes (teor de açúcar, principalmente) ou acúmulo de metabólitos. O tempo que as leveduras levam para se duplicarem se denomina tempo de geração e este é mais ou menos, constante para cada cultura. A quantidade de inóculo não influencia o tempo de geração durante a fase exponencial mas pequeno volume de inóculo prolonga a fase de multiplicação, enquanto o inverso também é verdadeiro. Portanto, a proporção relativa entre a quantidade de açúcar e de levedura no meio de fermentação determina a duração dessa fase (NOGUEIRA, 2005).

Ainda NOGUEIRA, (2005), na fase estacionária ocorre diminuição na velocidade de crescimento, na qual o número de células permanece constante por um tempo considerável (ocorre equilíbrio entre a taxa de multiplicação e de morte população). Sua duração é variável dependendo da linhagem de levedura e das condições ambientais.

2.2.3.3. Exigências nutricionais

A atividade da levedura depende de suas condições vitais que, por sua vez, estão estreitamente correlacionadas com a sua nutrição. Determinados elementos, além de importantes ao desenvolvimento e à manutenção das leveduras, favorecem certas reações enzimáticas que ocorrem durante a fermentação alcoólica (NOGUEIRA, 2005). Já ALVES (2008), ressalta que são mais importantes as fontes de carbono, nitrogênio, fosfato de magnésio, cálcio e potássio. Numa proporção menor, outros nutrientes também são indispensáveis ao meio, tais como: ferro, manganês e cobalto.

Durante a fermentação alcoólica determinados compostos orgânicos são responsáveis pelo desenvolvimento do flavor, que depende exclusivamente das matérias-primas e dos micro-organismos utilizados no processo fermentativo (NAGODAWITHANA, 1994).

A riqueza nutricional das vagens frescas da algarobeira, quando embebidas e prensadas, pode ser transformada em um caldo nutriente capaz de induzir naturalmente à ocorrência de uma flora microbiana que o caracteriza como potencial biotecnológico para uso em processos fermentativos (ALVES, 2008).

Vários nutrientes, além de fonte de carbono e nitrogênio, devem estar presentes naquele meio a fim de suprir as necessidades fisiológicas das leveduras durante o processo de fermentação alcoólica. Substâncias como fósforo, enxofre, potássio, magnésio e zinco, entre outros, pois participam das rotas metabólicas dos micro-organismos, tendo fisiologia bem definida dentro da célula (AYUB et al, 2002).

Leveduras

Do ponto de vista taxonômico e dentro de várias classes de fungo, as leveduras não constituem um grupo homogêneo porém as *Saccharomyces* são classificadas ascomicetos, conforme a Figura 2.10.

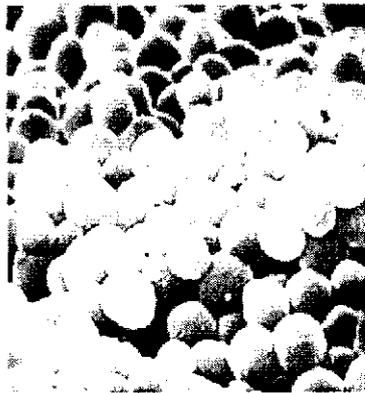


Figura 2.10 - Leveduras selecionadas

As leveduras são fungos pertencentes às classes dos Ascomicetos, Basidiomicetos ou Deuteromicetos. Ao contrário dos bolores, as leveduras são, normalmente, unicelulares, apresentando células de forma oval, elíptica ou arredondada. Possuem parede celular rígida, membrana citoplasmática e organelas encontradas, em geral, nas células superiores, tais como núcleo, mitocôndria retículo endoplasmático etc (NOGUEIRA, 2005).

2.2.3.4. Preparo do meio a ser fermentado

Em tecnologia denomina-se mosto todo líquido açucarado apto a fermentar; desta forma, seu preparo e correções compreendem diversas operações que visam transformar e corrigir a matéria-prima, tornando-a um líquido açucarado susceptível de sofrer fermentação (QUEIROZ, 1994).

Há, no caldo, há dois tipos de açúcar a ser fermentado para produzir álcool, em que o primeiro é constituído das açúcares simples, glicose e frutose, utilizados diretamente pela levedura para produzir etanol (CHAVES, S/D).

Diluição do caldo

No preparo do mosto seu teor em açúcares será função da natureza e composição da matéria-prima, devendo ser compatível com o tipo de micro-organismo e com o processo empregado na condução da fermentação alcoólica. Para a cana-de-açúcar um caldo rico em açúcares, acima de 16 °Brix, dificulta o processo e está sujeito a uma fermentação lenta e incompleta. A levedura tem certa tolerância ao álcool no mosto. Acima de certo grau o fermento é inibido, deixando parte do açúcar presente sem fermentar, quando então se inicia a fermentação com caldo muito rico em açúcares (LIMA, 1975).

Mostos muito diluídos facilitam a fermentação tornando-a mais rápida e completa; além disso, a multiplicação do fermento é favorecida pela a maior transferência de oxigênio que ocorre no meio; diminuem as incrustações e, portanto, facilitam a limpeza dos aparelhos. Em contraposição, um volume maior de dornas e de depósitos é exigido pois aumenta as infecções na fermentação e o consumo de água e de vapor; diminui o rendimento dos aparelhos de destilação e, conseqüentemente, haverá maior exigência em mão-de-obra (LIMA, 1975).

Adição de nutrientes

Os elementos nutritivos mais importantes são representadas pelo carbono, nitrogênio, fosfatos, sais de magnésio, potássio e cálcio. Elementos menores como manganês e cobalto,

atuam favoravelmente em suas atividades vitais. As fontes mais significativas de carbono são os carboidratos. O nitrogênio se encontra no material protéico e os produtos de sua degradação são fornecidos através de sais amoniacais (LIMA, 1975).

2.2.3.5. Preparo do inóculo

Fase industrial

LIMA (1975) relata que nas instalações de grande capacidade, se usam leveduras selecionadas, com tolerância a altos teores de etanol e com boa velocidade de fermentação. Usam-se também, em grande escala, quicá maior que a das leveduras selecionadas, as leveduras de panificação, prensadas e secas. Neste caso, se obtém, fácil e rapidamente, um inóculo volumoso, partindo-se de 10 a 20 g de leveduras para cada litro de mosto.

Fase de laboratório

Quando se parte de tubos de culturas selecionadas, procedentes de instituições especializadas, prepara-se o inóculo com a inoculação subsequente de volumes de substrato em quantidades e concentrações crescentes, na proporção de 1:5 ou 1:10, até atingir o volume útil de fermentação da indústria. Neste tipo de preparo do inóculo, se distingue uma etapa de laboratório e outra industrial. Na primeira, se parte de um tubo de cultura e se inoculam 100 mL de um substrato com 5°Brix, corrigido e esterilizado. Após o perfeito desenvolvimento, se passa para 500mL a 7°Brix, preparado como anteriormente e assim por diante, até, se atingir um volume suficiente para inocular aparelhos de cultura pura na indústria, em concentração que não ultrapasse 13°Brix (LIMA, 1975).

2.2.4. Destilação

A destilação foi introduzido pelos Árabes na Europa Ocidental, através do norte da África, na época, a técnica despertou interesse dos alquimistas e dos monges, por se tratar de

um processo de separação de dois ou mais componentes de uma solução, com diferentes temperaturas de vaporização, em que um ou mais componentes passam para o estado de vapor, é separado da solução e só então condensado novamente (FIOREZE R. 2004; STUPIELLO, 1973).

Na destilação a transferência de massa tem lugar simultaneamente, em duas direções: do líquido para vapor e vice-versa. O efeito global consiste no aumento da concentração do constituinte mais volátil na fase de vapor e no esgotamento da fase líquida (FIOREZE, 2004). De acordo com FIOREZE (2004) o vapor produzido na caldeira do destilador, constituído de produtos mais voláteis e moléculas de água arrastadas, tem sentido ascendente na coluna de destilação. Conforme este vapor vai subindo, sua temperatura diminui aos poucos e o vapor menos volátil (água) se condensa, formando um fluxo descendente.

Na destilação ocorrem separação, seleção e concentração dos componentes voláteis oriundos do mosto fermentado e, ainda, algumas reações químicas induzidas pelo calor. A qualidade da bebida dependerá também da forma pela qual é conduzida a destilação.

As primeiras frações destiladas contêm relativamente muito álcool, denominado cabeça. Esta porção contém grande quantidade de substâncias mais voláteis que o álcool etílico e são tóxicas, o que prejudica a qualidade da aguardente.

Segundo STUPIELLO et al. (1973), no processo de destilação, é recuperado o etanol, em geral resultante de duas operações, em que a primeira consiste em separar, do substrato fermentado, uma mistura hidroalcoólica impurificada com aldeídos, ésteres, álcoois superiores, ácidos orgânicos enquanto na segunda operação se separam as impurezas do etanol.

2.2.5. Bidestilação

A bidestilação, como o próprio nome indica, consiste em realizar no mínimo duas destilações sucessivas, podendo ser efetuada tanto em alambiques intermitentes como em colunas contínuas. Este processo permite a obtenção de uma aguardente de qualidade superior

a qualquer outra proveniente de uma única destilação, apresentando teor alcoólico fino, baixa acidez, sabor e aroma agradáveis. Esta melhoria na qualidade da aguardente bidestilada é possível pela separação ou mesmo pelo bloqueio de certas frações indesejáveis, ricas em compostos de maior toxicidade, como é o caso dos aldeídos, metanol, ácido acético e carbonato de etila (uretana), entre outros compostos voláteis prejudiciais ao organismo humano (NOGUEIRA, 2005).

O teor de cobre na aguardente além do máximo permitido, é um dos fatores que mais desqualificam a bebida; a tolerância máxima permitida é de 5mg por litro. A falta de limpeza dos equipamentos de destilação, principalmente do alambique e da serpentina é responsável pelo alto teor de cobre na aguardente. Esta falta de limpeza concorre para a formação de um líquido esverdeado que se forma na superfície do cobre, quando exposto ao ar e a umidade, contendo carbonato e hidróxido de cobre, conhecido por azinhavre ou zinabre. Uma das formas práticas de ajustar este cobre aos padrões exigidos pela legislação é fazer a bidestilação. Para isto, se dilui a aguardente com água potável ou destilada, até 10°GL e se destila normalmente (SILVA, 2002).

2.2.6. Padrões de identidade e Qualidade de Aguardente

Denomina-se “aguardente” aos produtos alcoólicos obtidos por fermentação e destilação de sucos vegetais, com trinta e oito por cento (38%), no mínimo, e cinquenta e quatro por cento (54%), no máximo, de álcool (etanol), em volume, a 15°C, segundo o Decreto Estadual nº 52.504, de 28/07/81, e a Portaria nº 371, de 09/09/81, publicada no D.O.U. de 19/09/81.

Aguardente envelhecida – O produto, denominado “aguardente de cana envelhecida” ou “caninha envelhecida”, deve conter no mínimo 50% de aguardente de cana envelhecida, por um período não inferior a um ano, podendo ter adição de caramelo para correção da cor.

Padrões de Qualidade

Do ponto de vista legal a qualidade da aguardente no Brasil é controlada pelo Ministério da Agricultura e Abastecimento e regulamentada pelo Decreto Federal nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que estabelece os seguintes padrões de identidade e qualidade:

Quadro 2.1 – Padrões de qualidade exigidos pela legislação, para aguardentes

COMPONENTES	PADRÕES
Grau alcoólico	Em graus G.L (Gay Lussac), a 20°C; 38 a 54
Acidez volátil	Em miligramas de ácido acético, por 100 mL de álcool a 100%: máximo de 150
Ésteres	Em miligramas de acetato de etila, por 100 mL de álcool a 100%: máximo de 200
Álcoois superiores	Em miligramas por 100 mL de álcool a 100%: máximo de 300
Aldeídos	Em miligramas de aldeídos acéticos, por 100 mL de álcool a 100%: máximo de 30
Cobre	Em miligramas de cobre, por litro de álcool a 100%: máximo de 5

Essas impurezas totais voláteis (aldeídos, ácidos, ésteres, furfural e álcoois superiores) não podem ser inferiores a 200 mg, nem superiores a 650 mg/100ml de álcool anidro (BOZA e HORII, 1998).

De acordo com LÉAUTÉ (1990) a acidez é representada por compostos solúveis principalmente em água e com elevado ponto de ebulição, que destilam nas primeiras porções do destilado, na metade do coração e na totalidade da cauda.

BIZELLI et al. (2000) obtiveram em seu trabalho sobre dupla destilação da aguardente de cana-de-açúcar, 287,91 mg/100 mL de álcool isoamílico na aguardente monodestilada e 254,28 mg/100 mL após o tratamento de bidestilação.

De acordo com AGUNE (2009) em seu trabalho sobre redução de contaminantes: metanol, álcool isoamílico, acetaldeído e isobutanol em cachaça através da micro-aeração, esses componentes podem ser reduzidos em até 34, 9 30 e 7%, respectivamente.

As impurezas totais representam a soma de aldeídos, ácidos voláteis, ésteres, furfural e álcoois superiores. O limite máximo está associado ao fato de constituírem impurezas, ao passo que o limite inferior está associado ao fato de que, na verdade, tais impurezas constituem o chamado “bouquet” da aguardente ou cachaça. O “bouquet” influencia no aroma, no sabor e na consistência do produto.

Água utilizada no processo

Segundo CARDOSO et al, (1998) a água utilizada na elaboração da aguardente deve ser do tipo potável e satisfazer aos seguintes requisitos:

Quadro 2.2 – Composição para água a ser usada para fabricação de aguardentes

COMPONENTES	PADRÕES
Teor máximo de ferro	0,3 mg/L
Teor máximo de manganês	0,1 mg/L
Dureza total máxima (em carbonato de cálcio)	100,0 mg/L
Oxigênio dissolvido	2,0 mg/L

Compostos secundários e a saúde humana

Além do álcool etílico e o dióxido de carbono formado na fermentação há, normalmente, a formação de pequenas quantidades de outros componentes os quais recebem a denominação de produtos secundários da fermentação alcoólica (CARDOSO et al., 2005).

Acidez

Dentre os ácidos, produtos secundários da fermentação alcoólica, o ácido acético tem sido quantitativamente o principal componente da fração ácida das aguardentes, tendo sido expresso em acidez volátil.

Na presença de oxigênio, o levedo *Sacharomyces cerevisiae*, pode converter até 30% do açúcar do mosto em ácido acético. Existem, ainda, os ácidos graxos produzidos durante o período de aeração das leveduras para a formação do mosto fermentativo, os quais são altamente indesejáveis, visto que seu arraste durante a destilação acarreta turvação e aromas desagradáveis na bebida.

A alta acidez presente em aguardentes pode ser atribuída à contaminação da matéria-prima ou do próprio mosto fermentativo por bactérias acéticas e outras, seja na estocagem da matéria-prima ou no próprio caldo, fazendo com que parte do substrato sofra fermentação acética elevando, assim, a acidez e diminuindo o rendimento da produção de etanol (CARDOSO et al., 2005).

Aldeídos

Podem ter origem como resultado da ação das leveduras durante estágios preliminares do processo de fermentação, principalmente o acetaldeído, que tende a desaparecer no final, através de oxidação a ácido acético. São compostos muito voláteis, de odor penetrante, que afetam o aroma das bebidas alcoólicas; são, ainda, compostos intermediários da formação dos

álcoois, sendo formados pela descarboxilação de oxo-ácidos ou, então, pela oxidação dos respectivos álcoois, como ocorre com o furfural e o hidroximetilfurfural.

A intoxicação por aldeídos pode levar a sérios problemas relacionados com sistema nervoso central (CARDOSO et al., 2005).

Ésteres

O aroma típico, agradável, pungente e suave que a aguardente adquire com o envelhecimento, se deve principalmente à formação de ésteres relativamente aromáticos, os quais contribuem para a formação do buquê. Os ésteres são formados em reações de esterificação entre álcoois e ácidos carboxílicos, durante o processo oxidativo. O principal éster encontrado na cachaça é o acetato de etila que, em pequenas quantidades na aguardente, incorpora um aroma agradável de frutas; no entanto, em grandes quantidades confere à cachaça um sabor indesejável e enjoativo (CARDOSO et al., 2005).

Álcoois superiores

São os álcoois com mais de dois átomos de carbono formados durante o processo oxidativo e provêm, em grande parte, das transformações dos aminoácidos durante o processo de fermentação. Os álcoois com até cinco átomos de carbono apresentam odores característicos (buquê) tradicionalmente associados com bebidas destiladas, e são responsáveis diretos pelo odor da bebida, possuindo aromas característicos, destacando-se os álcoois amílico e propílico, e seus respectivos isômeros. São formados a partir do desvio do metabolismo dos aminoácidos, pelas leveduras, ocasião em que cetoácido envolvido é descarboxilado a aldeído, com posterior redução a álcool superior.

Com o aumento do número de carbonos o aroma se modifica substancialmente e os álcoois se tornam oleosos; alguns deles lembram muito o aroma de flores; este excesso é chamado óleo fúsel, o qual diminui o valor comercial e a qualidade da aguardente.

Semelhante ao metanol e etanol, esses álcoois também apresentam propriedades biológicas, depressores do sistema nervoso central; entretanto, não provocam acidose nem lesão na retina.

Cobre

O cobre é um dos metais indesejáveis na aguardente; a sua presença na bebida provém da constituição do material utilizado na construção de alambiques, metal que contribui para a eliminação de determinados odores desagradáveis observados em aguardentes destiladas em alambiques feitos com outros materiais, como o aço inox. O excesso de cobre pode ser tóxico em virtude da afinidade do cobre com grupos S-H de muitas proteínas e enzimas; sua presença em excesso está associada a várias doenças, como a epilepsia, melanoma e artrite reumatóide e à perda do paladar (CARDOSO et al., 2005).

Metanol

O metanol é um álcool particularmente indesejável na aguardente, originado da degradação da pectina, um polissacarídeo presente na cana-de-açúcar. A molécula de pectina é um composto formado pela associação de centenas de moléculas de ácido galacturônico, que possuem fragmentos de moléculas de metanol, as quais são liberadas durante o processo de fermentação. No organismo, o metanol é oxidado a ácido fórmico e posteriormente a CO₂, provocando uma acidose grave (diminuição do pH sanguíneo), afetando o sistema respiratório, podendo levar ao coma e até mesmo à morte. Segundo CARDOSO et al.(2005) a ingestão do metanol, mesmo em quantidades reduzidas, durante longos períodos de consumo, pode ocasionar cegueira e morte.

2.2.7. Aguardente de frutas e outras matérias-primas (Estado da arte)

Nesta etapa são abordados os diversos estudos sobre a aplicação das vagens de algaroba e outras matérias-primas diferentes, como substrato limitante à produção de aguardentes. Apresentam seus respectivos resultados e se procura abordar, de forma sucinta e

cronológica, os principais trabalhos desenvolvidos que visam, antes de tudo, ao aproveitamento racional e sustentável de fontes regionais renováveis como alternativa para aguardentes.

QUEIROZ (1994) objetivando o aproveitamento das perdas na produção de abacaxi a nível de campo, dimensionou um sistema piloto para obtenção de uma bebida alcoólica destilada (aguardente), no qual comprovou a viabilidade econômica do uso do suco do abacaxi para produção de aguardente.

BORTOLINI et al. (2001) estudaram a fermentação alcoólica do suco de kiwi avaliando seis formas de preparação do mosto, variando a quantidade de nutrientes e de sacarose. O processo fermentativo foi conduzido a temperatura de 28°C e, com inóculo de 10⁶ UFC/ mL *Saccharomyces cerevisiae*. O rendimento da fermentação alcoólica variou entre 75,6-92,4 e produtividade entre 0,72 a 2,0g/L.h.

SILVA (2004) afirma que, devido à grande quantidade, as frutas disponíveis no Brasil podem ser utilizadas na elaboração de bebidas fermento-destilados (aguardente) e a banana se destaca pela alta concentração de açúcares fermentescíveis com rendimento de 17L de destilação por 1000 kg de banana. Ela descreve, para aldeídos e álcoois superiores, limite encontrado superior ao do tolerado pela legislação brasileira para aguardente de frutas. A aguardente de banana indicou quando submetida a análise sensorial, obteve um índice de aceitação de 75%.

LOPES et al. (2005) estudaram o aproveitamento do figo-da-índia (fruto da palma forrageira) na produção do fermentado da fruta e concluíram que nos fermentados adquiridos tanto da polpa do fruto quanto do fruto integral, obtiveram concentração de etanol acima de 6°GL, acidez total abaixo de 130meq. L⁻¹, pH de 3,5 e um sabor delicado e agradável. A média dos parâmetros de (%conversão) foi de 73,29% e produtividade de 2,6 g/h.L.

CLETO et al. (2004) estudaram o rendimento e a composição das aguardentes de cana, laranja e uva com a adição de lecitina no processo fermentativo. A metodologia empregada foi a recomendada pelo setor aguardenteiro e as análises químicas dos componentes secundários foram realizadas por cromatografia gasosa e espectrofotometria.

Concluiu-se, com os resultados finais, concluiu-se que com a utilização de lecitina no processo fermentativo o rendimento alcoólico diminuiu proporcionando aumento da concentração de glicerol no vinho e do álcool isoamílico, nas aguardentes obtidas.

FERREIRA (2005) avaliou a viabilidade técnico e econômica da produção de aguardente de “licor” de laranja compatível com o mercado internacional e com a legislação brasileira cujo processo satisfazia as técnicas aplicadas na produção da aguardente. A bebida envelhecida em tonéis de madeira no processo de re-destilação apresentou características físicas, químicas e sensoriais compatíveis com as exigências do mercado internacional e com a legislação vigente, demonstrando, assim, sua viabilidade econômica.

ALMEIDA et al. (2006) realizaram o estudo cinético da fermentação alcoólica na produção do fermentado de fruto de mandacaru (*Cereus jamacaru* P. DC). O fermentado foi produzido em reator batelada (duplicata) na temperatura de $30 \pm 2^\circ\text{C}$. Os parâmetros cinéticos de rendimento, produtividade e $Y_{p/s}$ foram: 0,461, 90,2 % e 1,75 g/L.h respectivamente. Os resultados das análises físico-químicas açúcar residual, acidez total °GL (%v/v) e pH do fermentado mostraram que seus resultados estão de acordo com a legislação vigente acerca de fermentado de frutas.

OLIVEIRA (2006) estudou o desenvolvimento de processos tecnológicos para obtenção de bebidas alcoólicas fermentadas a partir de frutos da biodiversidade amazônica, utilizando leveduras livres e imobilizadas. As fermentações foram conduzidas em bateladas simples, durante 48 horas a 20°C , com células de leveduras livres e imobilizadas em alginato de cálcio. Ao final de toda a pesquisa concluiu-se que as bebidas obtidas apresentaram sabor e aroma agradáveis, característicos do fruto, e maior limpidez das bebidas procedentes de processos com células imobilizadas, com aceitabilidade média de 61% para os processos com célula livre e 72% para imobilizadas.

RIBEIRO et al. (2007) estudaram e avaliaram a composição e dosagem das aguardentes de cana, laranja e uva e concluíram que a metodologia escolhida para o desenvolvimento deste projeto consistiu na aplicação de técnicas comuns de separação e purificação de substâncias orgânicas presentes nas aguardentes de cana, laranja e uva, como as destilações simples e fracionada.

NUNES et al. (2008) obtiveram, estudando a destilação do fermentado do abacaxi a partir de 13,5 litros de mosto, teor alcoólico no fermentado de 9,6° GL. Após a destilação eles encontraram 2,4 litros com graduação de 43° GL, ou seja, obtendo um rendimento de 96,7% e concluíram, então, que o produto atende aos padrões de qualidade exigidos pela legislação brasileira.

SANTANA et al. (2008) utilizaram, em estudo referente à otimização por análise de superfície de resposta da hidrólise do amido de mandioca por *a*-amilase fúngica (*A. niger*) a um pH 4,8, monitorando a temperatura e concentração de amido sobre o rendimento do processo, o xarope obtido para produção de álcool via fermentação com *S. cerevisiae*. O rendimento alcançou os 80% em conversão de amido a AR (em termos de glicose) enquanto o rendimento da fermentação alcoólica se manteve perto dos 45% mostrando-se superior, superior, a alguns citados pela literatura e do máximo teórico; constata-se, daí, que o emprego do hidrolisado de amido de mandioca na produção de álcool se mostrou viável

A produção de aguardente de jabuticaba foi estudada por SILVA (2006) que encontrou, baseado nos resultados de análises físico-químicas e com os padrões legais vigentes na legislação para aguardentes de cana-de-açúcar, valores de ésteres (357mg/100mL) pouco acima do estipulado pela legislação (200 mg/100 mL), fato atribuído, possivelmente, a uma falha no primeiro recolhimento (cabeça) no qual se encontram altas concentrações de acetato de etila; por outro lado, também pode ter influenciado o tipo de destilação praticada ou a presença de células de leveduras nos vinhos, durante a destilação. A aguardente de jabuticaba é uma alternativa a mais para os produtores rurais que lidam com a jabuticaba mostrando que a fruta pode ser melhor aproveitada durante a safra.

SUZART e DIAS (2007) estudaram o desenvolvimento de aguardente de soro de queijo e constataram que a aguardente de cana-de-açúcar mostrou maiores valores de notas médias entre os provadores no atributo cor, sabor e aroma porém, estatisticamente as amostras de cana-de-açúcar e soro de queijo não diferiram na análise de variância pelo teste F(P<0,05) em relação ao sabor. De acordo com os autores do projeto, observou-se uma quantidade menor de resíduos produzidos pelas amostras de soro de queijo em relação às amostras de cana-de-açúcar. Conclui-se, por fim, que a utilização do soro de queijo é viável para a produção de aguardentes e que a metodologia utilizada neste trabalho para a produção de

aguardente garante a qualidade do produto; no entanto, algumas técnicas devem ser estudadas para melhorar as características sensoriais desta aguardente para que se possa aumentar sua aceitabilidade no mercado e viabilizar o uso comercial.

Na Serra Gaúcha os vinhos a serem destilados, são elaborados pelo processo de vinificação em branco, ou seja, sem a clarificação do mosto e sem a utilização de dióxido de enxofre; o álcool e a acidez funcionam como conservadores para o vinho até o momento da destilação. Por isto, os vinhos na destilação apresentam acidez total elevada. O teor de grau alcoólico compreendido entre 7,0°GL e 10,5°GL é o ideal para vinhos a serem destilados (RIZZON, MENEGUZZO, 2007).

2.3. Aproveitamento dos resíduos sólidos agroindustriais

Segundo VIANA et al. (2006) o termo "resíduos alimentares", se refere aos resíduos orgânicos originados do preparo da alimentação humana, seja ele na cozinha da residência ou em qualquer outro tipo de estabelecimento. Esses resíduos são fartamente encontrados nos resíduos sólidos domiciliares, em proporções de até 65% dos orgânicos totais; já os orgânicos "não alimentares" são compostos de folhas e galhos de árvores, restos de poda de jardim etc., e representam a menor porção dos orgânicos, isto é, apenas 35%. De modo geral, a predominância dos resíduos orgânicos é verificada também com relação aos problemas ambientais e de saúde da população que o causam (FREITAS, 1996; SIMABUCO, 1996) de vez que, quando dispostos a céu aberto, como é o caso dos lixões que predominam no País, se tornam focos de criação de animais vetores de doenças como o rato, mosquito, barata etc e de contaminação de corpos d'água, pelo chorume (JARDIM, 1995).

Na alimentação moderna, principalmente das populações urbanas, é grande a quantidade de alimentos processados que resultam em uma dieta pobre em fibras com reflexos negativos na saúde das pessoas. Assim, nos últimos anos, há um amplo movimento para a produção de alimentos enriquecidos com fibras visando atingir o cobiçado mercado dos alimentos funcionais ou apenas enriquecidos (OLIVEIRA, 2002).

2.3.1. A secagem

A secagem é uma das mais antigas e usuais operações unitárias aplicadas nos processos industriais agrícolas, cerâmicos, químicos, alimentícios, farmacêuticos, de papel e celulose, mineral e de polímeros; é, também, uma das operações mais complexas e menos entendida em virtude da dificuldade e da deficiência da descrição matemática dos fenômenos envolvidos de transferência simultânea de calor, massa e quantidade de movimento no sólido; pode-se dizer, portanto, que a secagem é o conjunto de ciência, tecnologia e arte, ou seja, um know-how baseado em extensiva observação experimental e experiência operacional (MENON e MUJUMDAR, 1987). KEEY (1972) define a secagem como sendo a remoção de uma substância volátil (comumente mas não exclusivamente, água) de um produto sólido, isto é, a operação na qual a atividade de água do alimento é diminuída pela remoção da água, através da vaporização.

Na indústria alimentícia a secagem tem, por finalidade, a redução do conteúdo de umidade a níveis em que o desenvolvimento microbiano e as reações químicas de deterioração sejam reduzidos a quase zero; além disso, a secagem tem a vantagem de facilitar a conservação dos alimentos, prolongar a vida útil, reduzir substancialmente o volume do produto, facilitar e reduzir o custo do transporte, promover a estabilização físico-química, e agregar valor econômico ao produto final (AKPINAR et al., 2003).

A secagem de produtos alimentícios pode ser realizada mediante o emprego de diversos métodos; contudo, este processo ocorre, de maneira geral, por secagem artificial, ou secagem natural. Durante a secagem de produtos alimentícios é necessário, para que ocorra a evaporação da água contida nesses produtos, que a umidade presente no seu interior se movimente até sua superfície e os mecanismos que regem a migração da umidade do interior dos produtos, de acordo com ALONSO (2001), podem ser:

- O movimento de água líquida sob o efeito das forças de gravidade, é desprezível nos processos de secagem de produtos biológicos;
- A migração capilar da água líquida sob a ação da tensão superficial;

- A difusão de água líquida sob o efeito de um gradiente de umidade, descrito pela lei de Fick.
- A difusão de água líquida adsorvida sobre as superfícies internas dos poros vazios;
- A difusão do vapor sob o efeito de um gradiente de pressão parcial de vapor de água;
- O escoamento de água sob o efeito de uma diferença de pressão total e entre o interior e o exterior de produtos alimentícios;
- A migração líquida ou vapor sob efeito de um gradiente de temperatura.

Segundo AKPINAR et al. (2003) a secagem é definida como um processo de remoção de umidade devido à transferência simultânea de calor e massa. Esta evolução ao longo da operação de secagem, faz com que esse processo seja dividido esquematicamente em três períodos distintos, conforme Figura 2.1 (PARK et al., 2001a).

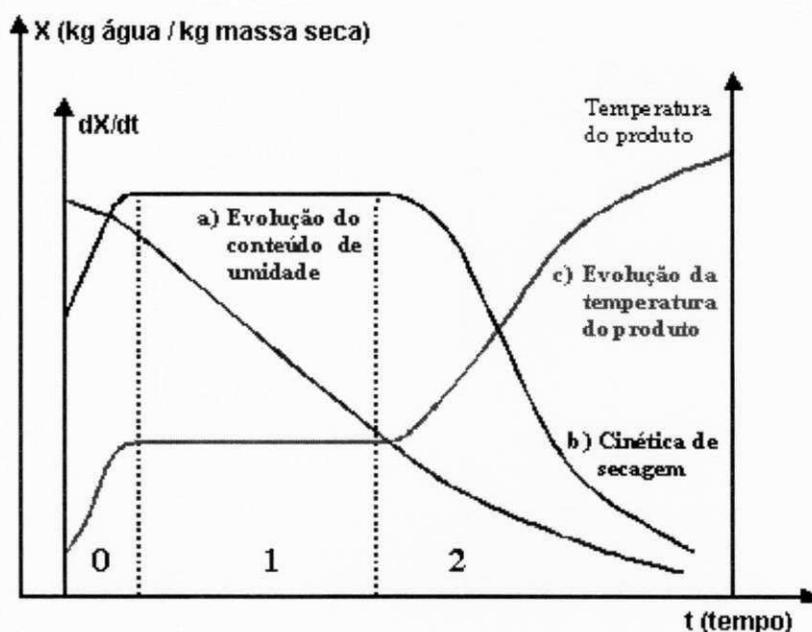


Figura 2.11. – Evolução da umidade, temperatura e velocidade de secagem ao longo do tempo (PARK et al., 2001a)

- *Período 0 (Período de indução)*
- *Período 1 (Período de taxa constante de secagem)*
- *Período 2 (Período de taxa decrescente)*

No decorrer do período de secagem a taxa decrescente, que é a única observada para produtos biológicos, a migração interna de água é que fixa a cinética de secagem e neste período se tem as teorias difusional e capilar como as teorias utilizadas para a explicação da migração da umidade (BROD, 2003). Considerando que a secagem dos produtos biológicos se dá, de maneira geral, no período a taxa decrescente e como principal mecanismo de migração de umidade a difusão tem-se, para a descrição deste período, inúmeras equações matemáticas de camada fina propostas, sendo essas classificadas em três categorias: modelos teóricos, semiempíricos e empíricos (AZZOUZ et al., 2002).

Segundo FORTES e OKOS (1981) nos modelos teóricos leva-se em consideração apenas a resistência interna do produto e transferência de umidade, enquanto nos outros dois tipos de modelo somente a resistência externa e transferência de umidade entre o produto e o ar de secagem. O principal modelo teórico utilizado é a solução analítica da equação da segunda lei de difusão de Fick, proposta por CRANK (1975), em que o autor aplica soluções analíticas para diferentes formas geométricas, das quais se pode citar: placa plana, cilindro, esfera e cubo. Os modelos semi-teóricos oferecem uma relação entre a teoria e a fácil aplicabilidade; contudo, referidos modelos são, geralmente, derivados de uma simplificação ou modificação das soluções analíticas da equação da segunda lei de Fick (FORTES e OKOS, 1981). Dentre esses modelos de camada fina pode-se citar os modelos de Henderson e Pabis, Lewis, Dois-termos, e o mais utilizado e conhecido da literatura, o modelo de Page. De acordo com OZDEMIR e DEVRES (1999), os modelos teóricos se derivam diretamente da relação entre o conteúdo de umidade e o tempo de secagem, e neles são desprezados os fundamentos do processo de secagem; por outro lado, os parâmetros existentes não possuem significado físico. Dentre esses modelos se encontrava os de Thompson e Wang e Singh. O aspecto mais importante na tecnologia de secagem é a modelagem matemática do processo de secagem e do equipamento, permitindo aos projetistas a escolha das melhores condições de operação e, assim, desenvolver o equipamento de secagem, de acordo com as condições de secagem

desejadas. Existem vários modelos matemáticos para ajuste dos dados, dentre eles os de CAVALCANTI MATA (2004), THOMPSON et al. (1968) e PAGE, citado por SHARMA et al. (1982).

Tabela 2.6 – Modelos para ajuste de isotermas de sorção.

ITEM	EQUAÇÃO	AUTORES
01	$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \exp(-kt^n)$	PAGE CITADO POR SHARMA et al. (1982)
02	$T = A \cdot \ln(RX) + B[\ln(RX)]^2$	THOMPSON et al. (1968)
03	$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = a_1 \exp(-a_2 t^{a_3}) + a_4 \exp(-a_2 t^5) + a_6$	CAVALCANTI MATA (2004)

2.3.2. A moagem

A quebra de partículas sólidas em partículas menores é uma operação industrial significativa. Muitas vezes, o que se pretende é apenas obter blocos de dimensões trabalháveis porém na grande maioria dos casos o objetivo visado é aumentar a área externa, de modo a tornar mais rápido o processamento do sólido. Frequentemente, o propósito mais ressaltado da operação de moagem é promover a mistura íntima de dois ou mais sólidos; O produto será tanto mais uniforme quanto menor for o tamanho das partículas a serem misturadas, razão por

que, quando um alto índice de homogeneização é requerido, a moagem fina do material se torna imperiosa.

Os estudos até agora realizados revelam que as operações de moagem são extremamente complexas,. Os sólidos podem sofrer redução de tamanho através de vários tipos de solitação, porém apenas quatro são utilizados industrialmente: a *compressão, o impacto, o atrito e o corte*.

Vários fatores discutidos a seguir, são reconhecidamente imprescindíveis na moagem:

- *O modo de aplicação da carga*, em que a área adicional obtida por impacto é três a quatro vezes maior que a que se obtém com a mesma carga aplicada lentamente, por meio de prensas hidráulicas.
- *A distribuição granulométrica*, das partículas no produto de uma operação de moagem da energia fornecida ao material.

Isto significa, portanto, consumo maior de energia maior para produzir partículas pequenas que para fragmentar sólidos grosseiros.

Equipamentos empregados na fragmentação

Não há padronização e a própria distinção de tipos não é nítida. Diversas razões justificam esta situação:

- 1ª) A multiplicidade de materiais que devem ser fragmentados.
- 2ª) A variedade de características desejadas nos produtos.
- 3ª) A extensa faixa abrangida pela escala de operação.
- 4ª) As limitações teóricas do assunto.
- 5ª) A liberdade de nomenclatura.

Quadro 2.3 - Classificação do equipamento

	Alimentação	Produto (*)
Britadores		
Primários ou grosseiros	10 cm a 1,50 m	0,5 a 5
Secundários ou intermediários	0,5 a 5 cm	0,1 a 0,5 cm (10 a 3 mesh)
Moinhos		
Finos	0,2 a 0,5 cm	200 mesh
Coloidais	80 mesh	Até 0,01 μ

* Entende-se que 85% das partículas são menores que os tamanhos mencionados em cada caso.

2.3.3. Peneiramento

Uma das tarefas mais frequentes do engenheiro químico é separar materiais; as impurezas devem ser separadas das matérias-primas e dos produtos, os quais precisam ser separados dos subprodutos; materiais valiosos são recuperados dos resíduos e uma enorme série de separações poderia ser enumerada.

As separações são de três classes gerais, segundo os princípios nos quais se baseiam: mecânicas, físico-químicas e químicas. Uma das operações mecânicas de separação mais simples é o peneiramento, visto que a necessidade de separar sólidos se prende a duas finalidades:

- 1ª) dividir o sólido granular em frações homogêneas
- 2ª) obter frações com partículas de mesmo tamanho

É raro atingir os dois objetivos simultaneamente; quando o objetivo é o segundo, o peneiramento, é geralmente, a operação mais econômica; dá-se a oportunidade a cada partícula de passar ou ficar retida em um crivo ou malha de abertura preestabelecida.

Granulometria

A granulometria, ou análise granulométrica dos solos, é o processo que visa definir, para determinadas faixas preestabelecidas em tamanho de grãos, a percentagem em peso que cada fração possui em relação à massa total da amostra em análise.

A farinha

Definição

A farinha é o produto obtido pela moagem da parte comestível de vegetais, passível de sofrer, previamente processos tecnológicos adequados (CNNPA, 1978). Hoje, devido ao grande crescimento populacional, e às condições climáticas, demográficas e socioeconômicas, tem-se tido a preocupação de buscar novos meios para o uso de outros tipos de materiais, além do trigo, para a produção do pão, biscoitos e massas. Com isto, se originam as misturas de outras farinhas à farinha de trigo; logicamente, para a utilização de produtos de panificação, denominados farinhas compostas (ARAÚJO, 2008).

O pão

Para ARAÚJO (2008), os pães constituem ampla forma de produtos que variam de acordo com a região, hábitos alimentares, tradições culturais, matérias-primas disponíveis na região e políticas governamentais, a exemplo dos subsídios, etc. As formulações e os métodos de preparo são inúmeros porém a produção da maioria dos pães apresenta características comuns. No processo de panificação pode-se empregar vários métodos, os quais podem ser classificados como convencionais ou rápidos, dependendo do tipo de equipamento utilizado podendo ser classificado em esponja, direto e rápido.

Análise sensorial

A análise sensorial é definida como uma disciplina científica usada para medir, analisar, interpretar reações das características dos alimentos e dos materiais: como são percebidos pelos órgãos da visão, olfato, tato, audição e gustação AMERINE et al. (1965).

Segundo DUTCOSKY (1996), sua análise sensorial de alimentos são muitas as aplicações na indústria de alimentos e nas instituições de pesquisa, dentre as quais se citava: o controle das etapas de desenvolvimento de um novo produto, a avaliação do efeito das alterações nas matérias-primas ou no procedimento tecnológico sobre o produto final na redução dos custos, na seleção de nova fonte de suprimento, no controle do efeito da embalagem sobre os produtos acabados, no controle de qualidade, na avaliação da estabilidade durante o armazenamento “vida de prateleira”, graduação em avaliação de nível de qualidade do produto e em pesquisa de mercado de um novo produto ou produto reformulado.

Quanto ao tipo de avaliação, existem quatro escalas: escala de intensidade, escala de qualidade, escala de magnitude e escala hedônica; esta escala avalia o quanto o provador gosta ou desgosta de determinada amostra. É largamente utilizada desde que foi desenvolvida por Peryam e Pilgrim (1957). De acordo com TEIXEIRA et al. (1987) através da análise sensorial pode-se determinar a aceitabilidade e a qualidade dos alimentos. As principais características de um teste de escala hedônica são:

A suposição de um contínuo da preferência e o estabelecimento de uma série de categorias sucessivas de respostas, em termos de “gostar“ e “não gostar“.

As principais vantagens são:

1. Requer menor tempo para avaliação;
2. Apresenta procedimento mais interessantes para o provador.
3. Possui uma faixa mais ampla de aplicações;
4. Pode ser utilizada por provadores pouco treinados
5. Pode ser usada com um elevado número de estímulos.

A escala hedônica tradicional, publicada em 1959, é bipolar e prediz a aceitabilidade de um produto; contém nove fases para sugerir dever único com graus sucessivos de “gostar”.

2.4. Resíduos agroindustriais para produção de alimentos (Estado da arte)

LEITE (2008) estudou a caracterização da farinha de algaroba quanto à sua composição físico-química e microbiológica. A farinha de algaroba foi analisada, em relação ao teor de umidade que apresentou resultados na faixa de 7,56 a 8,65%, dentro do exigido pelo Ministério da Agricultura. O autor constatou que a farinha é rica em carboidratos apresentando 81,735 a 81,042 % na sua composição. O maior índice protéico da farinha foi de mesh 60; o teor de lipídios (extrato etéreo) encontrado foi de 1,16 g.100 g⁻¹, valor considerado baixo quando comparado a outras leguminosas, como a soja. Este resultado foi inferior ao encontrado por outros pesquisadores. As análises microbiológicas apresentaram resultados inferiores ao limite estabelecido pela legislação, consideradas apropriadas quanto à qualidade higiênico-sanitária. A partir dos resultados conclui-se que a farinha possui elevada concentração de açúcares além de outros nutrientes, como minerais, necessárias ao desenvolvimento humano e animal.

GUTKOSKI (2002) avaliou a qualidade de farinha de trigo utilizando o teste laboratorial de panificação para pão tipo forma. As amostras de grãos e de farinhas de trigo (*Triticum aestivum* L) com diferentes formas de moagem foram avaliadas quanto às características físicas, químicas, reológicas e funcionais, cujos resultados permitem concluir que o teste laboratorial de panificação utilizado apresenta repetibilidade e pode predizer, com bastante segurança, as características de panificação da farinha de trigo em estudo.

PEREIRA (2005) estudou a viabilidade da utilização do resíduo gerado na fabricação de batata cozida a vapor, fornecido pela indústria, na obtenção de farinha com vista à elaboração de biscoitos, agregando valor ao que, atualmente, é destinado para alimentação animal, em que o processamento apresentou rendimento de 18%, o que o torna viável, agregando valor ao que é, hoje, destinado à alimentação animal. Em estudo comparativo com a farinha obtida da batata pode-se observar diferença significativa somente em relação ao teor de lipídeos, que foi superior ao da farinha estudada. Os biscoitos produzidos com substituição de

25% da fécula de mandioca por farinha do rejeito de batatas, apresentaram resultados sensoriais satisfatórios; além de que a pesquisa dos glicoalcalóides foi negativa, sugerindo segurança ao produto final.

ASCHERI et al. (2007) estudaram a produção e caracterização de uma farinha a partir do bagaço da jabuticaba para sua incorporação a biscoitos; a farinha apresentou baixos teores de extrato etéreo (1,5%) e de cinzas (4,49%), elevados teores de fibra (15,2%) e de proteína (13,59%), e baixa retenção de água e de óleo. Utilizando-se a farinha, elaboraram-se duas formulações de biscoito substituindo 10% e 15% da farinha de trigo de uma formulação caseira, dos quais se determinou a composição centesimal obtendo-se elevado teor de fibra e de proteína. Avaliaram-se sensorialmente, os atributos dos biscoitos sendo que o biscoito a 10% de bagaço foi o preferido devido ao gosto doce e sabor característico da jabuticaba, enquanto o biscoito a 15% teve maior aceitação em referência à aparência e cor.

De acordo com SILVEIRA (2000a) as sementes de jaca, quando passadas por um processo de secagem, são usadas na indústria alimentícia como farinhas para a confecção de purês, bolos, biscoitos e outros produtos alimentícios. A elevada quantidade de jaca produzida no Nordeste brasileiro pode viabilizar a produção de uma farinha a partir das sementes de jaca e a sua utilização na produção de pães, barateando os custos na produção e reduzindo parte da farinha de trigo, ingrediente de maior custo no processo de produção (ARAUJO, 1985).

MORAES et al. (2004) verificaram, ao produzir pães, que a substituição de parte da farinha de trigo por farinha de sementes de jaca produziu pães com valores nutricionais e características sensoriais semelhantes às pão elaborado apenas com farinha de trigo, caracterizando, dessa forma, a farinha de semente de jaca como fonte alternativa e mais econômica de carboidratos.

PEREZ & GERMANI (2004) verificaram que a substituição parcial da farinha de trigo por farinha de berinjela em biscoitos tipo salgado, apresentou boa qualidade tecnológica, podendo ser os biscoitos produzidos por substituição, até o limite de 10%.

2.5. O pão de forma

Os pães constituem ampla forma de produtos que variam de acordo com a região, hábitos alimentares, tradições culturais, matérias-primas disponíveis na região e políticas governamentais, a exemplo dos subsídios, etc. As formulações e os métodos de preparo são inúmeros porém a produção da maioria dos pães apresenta características comuns (ARAÚJO, 2008).

O pão é o produto obtido pela cocção, em condições tecnologicamente adequadas, de uma massa, fermentada ou não, preparada com farinha de trigo e/ou outras farinhas que contenham naturalmente proteínas formadoras de glúten ou adicionadas das mesmas e água, além de outros ingredientes.

O pão de forma do resíduo prensado da algaroba é um produto elaborado a partir de farinhas obtidas de resíduos sólidos prensados provenientes da extração dos açúcares das vagens da algarobeira, para produção da aguardente de algaroba. E, também, um produto formulado usando-se a metodologia convencional de produção de pão de forma comercial com três concentrações diferentes de farinha de algaroba: 5, 10 e 15% na mistura e apresenta considerável valor nutricional.

A análise sensorial do pão de forma produzido a partir da farinha de algaroba, foi realizada a partir do teste de preferência por escala hedônica, avaliando-se o quanto o provador gostou ou desgostou da amostra, tanto em termos específicos quanto globais. A escala hedônica é largamente utilizada desde que foi desenvolvida por Peryam e Pilgrim (1957), para análise de preferência e aceitabilidade, com provadores não treinados. A forma geral da escala é:

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Não gostei nem desgostei
4. Desgostei ligeiramente

3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

Desta forma é possível saber que atributos sensoriais devem ser atenuados, intensificados, suprimidos ou colocados no produto para melhorar sua qualidade final e aceitação pelo consumidor.

3.0. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas – LAPPA, da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Campina Grande, e contou com o apoio dos Laboratórios: Engenharia Bioquímica, Transferência em Meios Porosos e Sistemas Particulados da UFCG, Produtos Fermento Destilados UFPB, Núcleo de Pesquisas e Processamento de Alimentos UFPB e do Laboratório de Processamento de Massas da Escola Agrotécnica Federal de Belo Jardim, PE.

3.1. Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi a vagem madura da algarobeira (*Prosopis juliflora* Sw D.C.), provenientes das regiões de clima semiárido do estado da Paraíba, conforme descrito na classificação de (KOPPEN, 2006). Essas regiões foram: Microrregião do Cariri Ocidental (Município de Serra Branca), Microrregião de Campina Grande, Microrregião do Curimataú (Município de Picuí), Microrregião de Patos e Microrregião de Sousa.

3.1.1. Coleta

As vagens foram coletadas manualmente em estágio maduro, acondicionadas em sacos de nylon e transportadas para o laboratório, conforme Figura 3.1.



Figura 3.1 – Vagens de algaroba acondicionadas em sacos de nylon
FONTE: SILVA (2007)

3.1.2. Seleção e limpeza

Selecionaram-se as vagens de acordo com o estado de maturação e conservação, descartando-se as danificadas e as defeituosas, tal bem como as atacadas por fungos, insetos e roedores; foram retirados galhos e pedras existentes no material coletado, conforme Figura 3.2.

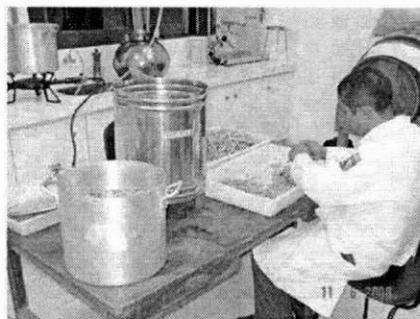


Figura 3.2 – Seleção para retirada das vagens danificadas
FONTE: SILVA (2007)

3.1.3. Rendimento da matéria-prima

A matéria-prima selecionada (vagens e material descartado) foi pesada com o objetivo de identificar e calcular o percentual de rendimento médio por saco de vagem recebido de cada região.

3.1.4 Caracterização morfológica e físico-química das vagens de algarobeira

Nesta etapa, amostras de vagens coletadas em cinco microrregiões semiáridas do estado da Paraíba foram avaliadas quanto às propriedades morfológicas (massa, comprimento, largura, espessura, composição de cada parte do fruto) e ao perfil físico-químico dos seus componentes (umidade, cinzas, açúcares redutores, açúcares não redutores, açúcares totais, proteínas, lipídios, fibra, acidez total, carboidratos e valor calórico total). Visando à determinação das propriedades morfológicas, as vagens foram misturadas e retiradas, aleatoriamente, uma amostra de 10 vagens; as vagens foram pesadas e, com o auxílio de um paquímetro, mediram-se: comprimento, largura e espessura, em três pontos diferentes. Obteve-se determinação do exocarpo, mesocarpo e endocarpo através de um estilete. Para cada vagem da amostra as sementes foram separadas manualmente, pesadas e em seguida se obteve o número de sementes por vagem.

Na caracterização as vagens eram trituradas em um multiprocessador doméstico, Marca ARNO e colocadas em recipientes de vidro fechado, antes da realização dos procedimentos analíticos. De acordo BRASIL (2005), a dosagem de proteína bruta foi determinada pelo método de Kjeldahl, enquanto a de lipídios pelo método de Soxhlet; já o teor de fibra bruta e o teor de água foram mensurados por métodos gravimétricos; a fração mineral por incineração em mufla a 550-570°C, a determinação de carboidratos foi feita por diferença. Determinaram-se os teores de açúcares redutores em glicose, açúcares não-redutores em sacarose e açúcares totais, pelo método de Fehling, em obediência à metodologia do Instituto Adolf Lutz. O processo de obtenção da aguardente de algaroba seguiu o fluxograma da Figura 3.3

3.2. Descrição do processo e obtenção de aguardente de algaroba

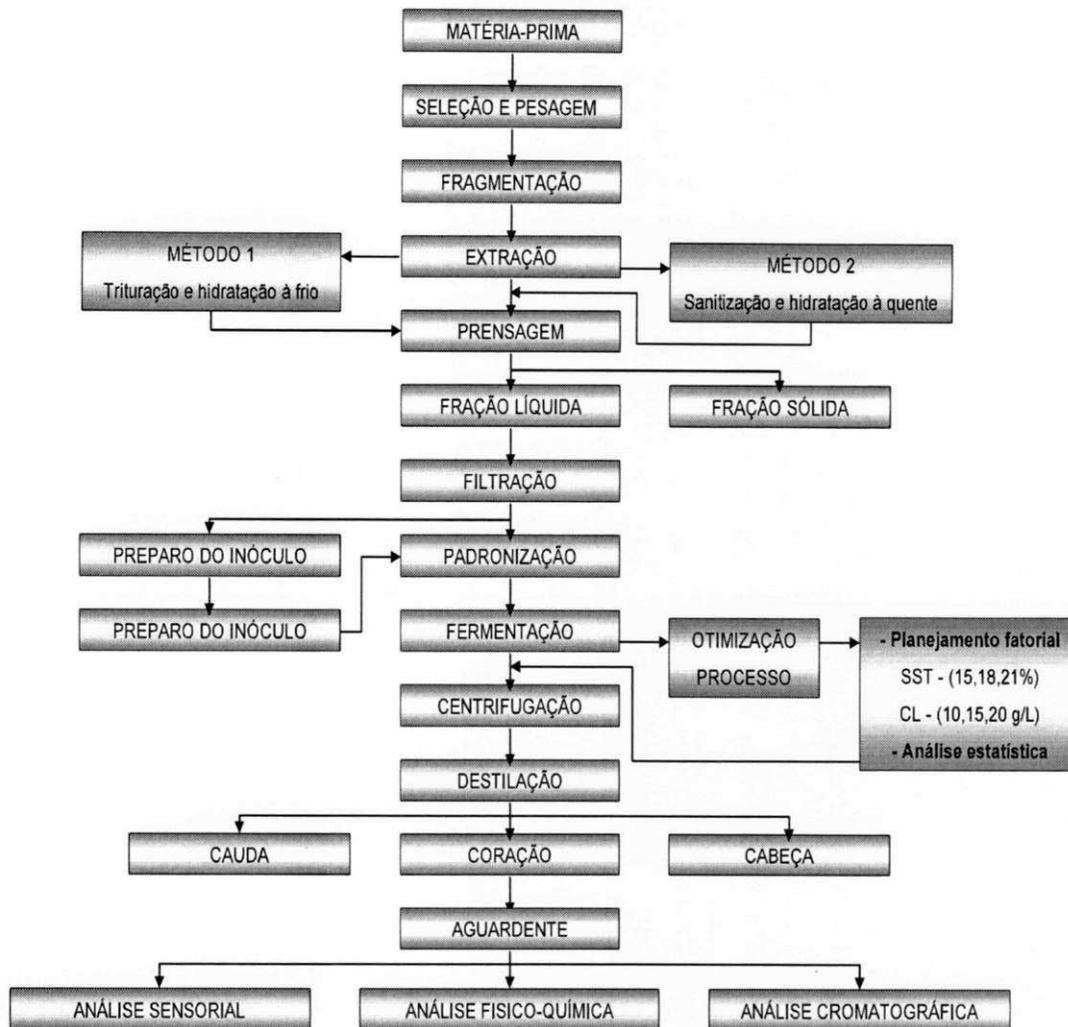


Figura 3.3 – Fluxograma do processo da produção de aguardente de algaroba

3.2.1. Matéria-prima

A matéria-prima utilizada neste trabalho veio do município de Serra Branca, situado na microrregião do Cariri Ocidental, no estado da Paraíba.

3.2.2. Seleção e pesagem

Antes de serem submetidas aos tratamentos de sanitização, fragmentação e hidratação, as vagens foram selecionadas e pesadas em uma balança eletrônica (LUCASTECH), modelo PL-100, carga máxima de 25 kg e mínima de 125 g. Realizaram-se pesagens no final do processo de produção de aguardente com o objetivo de determinar os rendimentos representativos.

3.2.3. Sanitização

Fez-se a sanitização apenas para o método 2, imergindo as vagens em uma solução bactericida de largo espectro (hipoclorito de sódio), efetivo contra esporos, fungos e bacteriófagos: água clorada a 3% durante 5 minutos. A remoção dos resíduos sanitizantes foi efetuada enxaguando-se as vagens em água corrente, com o objetivo de prevenir qualquer tipo de contaminação por micro-organismos estranhos ao processo.

3.2.4. Fragmentação

A operação de fragmentação das vagens foi manual partindo-se as vagens em tamanhos de $1,5 \text{ cm} \pm 0,5$. Este procedimento teve, como propósito, aumentar a área de contato entre o solvente (água) e o soluto (açúcares da vagem).

3.2.5. Hidratação

As vagens foram submetidas a duas hidratações diferentes: com água aquecida a $60 \pm 5^\circ\text{C}$ e com água a temperatura ambiente, na proporção de 1:2 m/v (1 kg de vagem para 2 litros de água). A mistura água + vagem foi deixada em repouso durante três horas até a parte sólida apresentar um aspecto escurecido, conforme a Figura 3.4.



Figura 3.4 - Aspectos dos fragmentos hidratados das vagens antes da prensagem

No método 1 os fragmentos das vagens de algarobeira foram submetidos ao processo de hidratação com água potável na proporção de 1:2 m/v, a temperatura ambiente; Já no método 2 os fragmentos das vagens de algarobeira foram submetidos ao processo de hidratação com água potável na proporção de 1:2 m/v, a uma temperatura média de $60 \pm 5^\circ\text{C}$. Após a prensagem o material foi submetido a uma reidratação com a água resultante da primeira prensagem, etapa que teve, como finalidade, promover a remoção dos açúcares remanescentes da primeira prensagem.

3.2.6. Extração

Para se executar o processo de extração dos açúcares fermentescíveis contidos nas vagens da algarobeira, foi necessário dimensionar e construir, inicialmente, um sistema de extração e captação dos materiais a serem separados. Avaliaram-se, na extração duas metodologias diferentes e se compararam os efeitos da variação da pressão aplicada pelo sistema de acionamento do êmbolo central nos rendimentos em caldo e resíduo extraídos, concentração de sólidos solúveis totais e das perdas no processo operacional.

3.2.6.1. Métodos 1 e 2

Neste método as vagens foram fragmentadas, hidratadas com água potável na proporção de 1:2 m/v a temperatura ambiente, trituradas por três minutos em um liquidificador de bancada, semi-industrial, Marca SIEMENS, com capacidade para cinco litros, enquanto no método 2 as vagens foram submetidas a um pré-tratamento de sanitização, antes da fragmentação; em seguida, foram hidratadas a uma temperatura de $60 \pm 5^\circ\text{C}$ com água potável na proporção de 1:2 m/v e prensadas.

3.2.7. Prensagem

Nesta operação se utilizou o sistema de prensa hidráulica manual com capacidade máxima para $795,33 \text{ kg}\cdot\text{cm}^{-2}$, composta de um cilindro em aço inox perfurado, medindo 222,0 mm de altura x 155,0 mm de diâmetro interno, conforme observado na Figura 3.5.

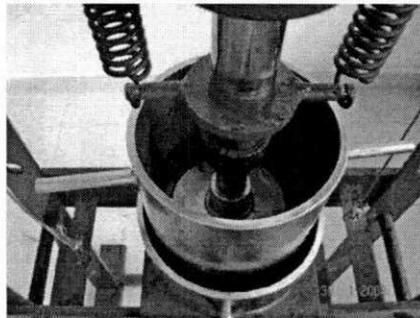


Figura 3.5 – Prensa manual utilizada para extração dos açúcares de algaroba do LAPPA

Variou-se, aqui, a pressão aplicada de 106,00 a $530,20 \text{ Kg}\cdot\text{cm}^{-2}$ para cada ensaio dos sete testados em cada método (triplicata) e se mediu o efeito dessas variações na massa de resíduo extraído (g), no volume de caldo extraído (mL) e na concentração de sólidos solúveis totais ($^\circ\text{Brix}$) desse caldo, o qual foi coletado em uma camisa externa (copo coletor) em inox medindo 190 mm x 90 mm de altura, acoplado na parte inferior do cilindro, mostrado na Figura 3.5.

3.2.8. Fração líquida

O extrato aquoso (caldo) obtido durante o processo de prensagem das vagens fragmentadas foi medido, pesado e caracterizado com relação ao teor de sólidos solúveis totais e temperatura para avaliação do rendimento da extração. O cálculo do rendimento da extração é descrito no Anexo A.

3.2.9. Filtração

O caldo foi submetido a uma filtração em peneira de Nylon fina, para retirada das partículas sólidas em suspensão.

3.2.10. Padronização

Antes de se inocular o agente fermentativo e iniciar a fermentação, o caldo obtido sofreu uma diluição com água potável, a temperatura ambiente, para ajustar o teor de sólidos solúveis totais (SST) nas concentrações de 15, 18 e 21°Brix, com o que se calculou a quantidade de água a ser adicionada, através da regra das misturas, conhecida também como Cruz de Combenge, conforme a Equação 3.1.

$$\begin{array}{ccc} B & \diagdown & \\ & M & \\ b & \diagup & \end{array} \begin{array}{l} M-b = (\text{quantidade de caldo em peso}) \\ \\ B-M = (\text{quantidade de água em peso}) \end{array} \quad (3.1)$$

B = Brix do caldo concentrado

b = Brix da água (zero)

M = Brix do caldo desejado

Um exemplo prático de padronização pode ser encontrado no Anexo A.

3.2.11. Fermentação

Realizou-se o processo fermentativo seguindo-se as metodologias utilizadas para os processos tradicionais de aguardentes de cana-de-açúcar, raízes e frutos exóticos, com pequenas adaptações, devidas às características próprias das vagens da algarobeira e se utilizaram as seguintes cepas de micro-organismos: *Saccharomyces cerevisiae* ALG3, isoladas a partir no caldo da algaroba (*Prosopis juliflora* Sw DC), e *Saccharomyces cerevisiae* do tipo comercial granulado seco Fleischman[®], adquiridas no comércio local.

3.2.11.1. Preparo do inóculo

Conduziu-se o controle operacional no preparo do inóculo simulando-se as condições encontradas nos processos industriais. A partir do cultivo em tubos de ensaio e mantidos sob refrigeração com o auxílio de uma alça de platina previamente esterilizada, deu-se início ao processo de multiplicação celular preparando-se, para isto, alíquotas esterilizadas de caldo de cana que foram semeadas na porção inicial de células a serem propagadas no meio de cultivo.

As células de levedura foram ativadas em caldo de cana previamente esterilizado a 121°C, por 20 minutos em autoclave, ajustando-se a concentração do substrato a cada 24 horas, durante cinco dias. O processo de propagação foi alimentado a cada 24 horas com caldo de cana estéril em volumes quadruplicados (10, 50, 250 e 1250 mL) aumentando-se a concentração dos sólidos solúveis em dois graus (5°, 7°, 10° e 12° Brix) por quatro dias em frascos erlemmeyers de 100, 250, 500 e 2000 mL, deixando-se em repouso 24 horas, em temperatura ambiente.

A multiplicação da levedura ALG3, foi feita a partir do tubo de ensaio em meio inclinado, utilizando-se uma alça de platina previamente esterilizada e flambada em lamparina a álcool, inoculando-se as células em meio líquido (caldo de cana-de-açúcar); no primeiro dia, foram transferidas colônias da cultura ALG3 foram transferidas para um tubo

de ensaio de 20 mL, contendo 10 mL de caldo de cana centrifugado, esterilizado em autoclave a 121°C por 15 min e a uma concentração de sólidos solúveis de 5° Brix e deixado em repouso a temperatura ambiente, por 24 horas; Já no segundo dia e na presença da chama, inoculou-se a biomassa do dia anterior para um erlemmeyer de 100 mL, contendo 40 mL de caldo de cana centrifugado, estéril e corrigido para 7°Brix assim sucessivamente até se obter uma concentração de células média de 20 g/L a ser usada no processo de fermentação alcoólica da aguardente de algaroba.

No final, as células foram recolhidas por centrifugação a 3000 rpm por 20 minutos, tratadas com ácido sulfúrico a 10% até pH 2,5, durante uma hora. A esta suspensão adicionou-se uma quantidade de água destilada de forma a se obter uma concentração próxima a 30 g/L, sempre se ajustando o seu pH da mesma para valores próximos de 2,5. Esta ressuspensão foi repetida três vezes até clarificar a massa celular a ser inoculada ao caldo da algaroba padronizado, Figura 3.6.

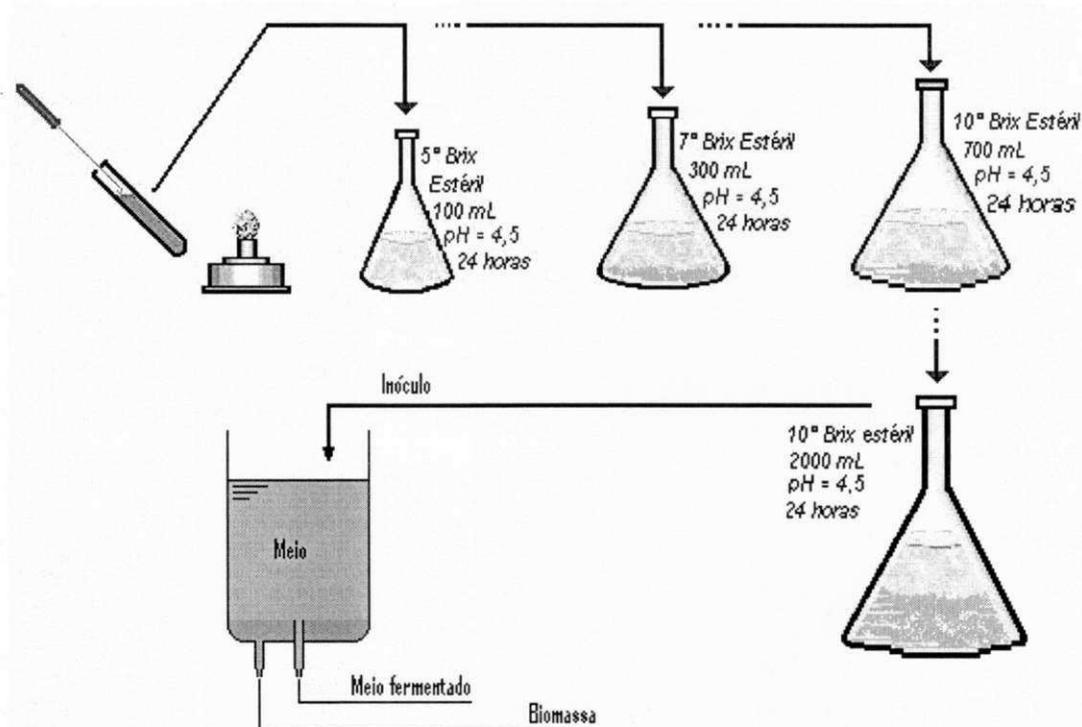


Figura 3.6 – Processo de multiplicação do fermento ALG3 no caldo de cana

Preparou-se o fermento suspendendo-se o fermento prensado em 500 mL de caldo de algaroba aquecido a 35°C para facilitar a desagregação das partículas; esta suspensão foi agitada de 3 a 5 minutos antes de ser inoculada no caldo a ser fermentado.

3.2.11.2. Adição do inóculo

Pesou-se, o fermento ativado de acordo com a concentração predeterminada para cada reator na matriz de planejamento, inoculado nos reatores conforme a concentração de substrato. A inoculação foi feita sob agitação manual, com o auxílio de uma espátula metálica, até completa dissolução. Uma vez preparado o sistema (reator+meio inoculado) iniciou-se a fermentação.

3.2.12.3. Otimização do processo

3.2.12.3.1. Estudo cinético

Realizou-se durante a fermentação alcoólica, um estudo cinético com o objetivo de: medir as velocidades das transformações que ocorrem durante o processo e estudar a influência dos parâmetros físicos e químicos de produção de fermentado (etanol) e do consumo de substrato relacionado na otimização do processo produtivo para duas linhagens de leveduras diferentes: uma comercial, utilizada para panificação adquirida no comércio local, e a outra isolada, a partir do próprio caldo da algaroba (ALG3). Estudou-se, no estudo cinético o comportamento da fermentação alcoólica a cada duas horas, medido-se as variáveis responsáveis pelo consumo de substrato, a formação de produto e o crescimento celular:

A concentração de sólidos solúveis totais (SST) e seguiu a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2004) enquanto a de açúcares redutores totais (ART) obedeceu à

metodologia de DNS (Ácido 3,5 Dinitro Salicílico) descrita por MILLER (1959) e adaptada pela EMBRAPA-CNPAT;

A concentração celular (biomassa) foi determinada pelo método de massa seca, descrito por FLORENTINO (2006); a temperatura foi medida com o auxílio de termômetro de vidro com escala variável de 0 a 100°C; a determinação da acidez total, da acidez fixa e da acidez volátil, seguiu a metodologia de titulação volumétrica do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005); O pH foi determinado por potenciometria e o teor alcoólico (Etanol) por ebuliometria; enfim, a viabilidade celular da levedura selecionada no caldo de algaroba foi determinada em câmara de Neubauer, segundo metodologia citada por LOPES (2005).

Criou-se uma matriz de planejamento para cada experimento, composta de sete ensaios, na qual se variou a concentração de sólidos solúveis totais (SST) de 15 a 21°Brix, e a concentração celular de 10 a 20 g/L com três repetições no ponto central; comparou-se o efeito da aplicação de duas linhagens diferentes de leveduras, isto é, a selecionada no caldo da algaroba ALG3 e uma levedura comercial normalmente utilizada para panificação.

Os resultados deste estudo foram aplicados às variáveis de respostas do bioprocessamento: rendimento (fator de rendimento de produção de etanol (Y_p/s)), produtividade volumétrica (P), rendimento em biomassa (fator de rendimento celular em relação ao substrato (Y_x/s)), percentual de conversão (eficiência fermentativa) e a velocidade específica máxima de crescimento da levedura aplicada no processo fermentativo tomando-se por base, o consumo do substrato, a formação do produto e o crescimento celular. Ressalta-se que os ensaios foram realizados por fermentação submersa em batelada simples, sem agitação e sem controle de temperatura, a partir de um sistema estático de sete reatores construídos em polietileno, com capacidade para 3 litros de caldo por batelada, cujo protótipo é munido de desnível para retenção da massa celular decantada no fundo de cada reator e com torneiras que funcionam de forma simultânea, possibilitando o controle e a descarga do sobrenadante (fermentado), coletado na parte superior do reator e a retenção da biomassa na parte inferior, conforme se observa na Figura 3.7.

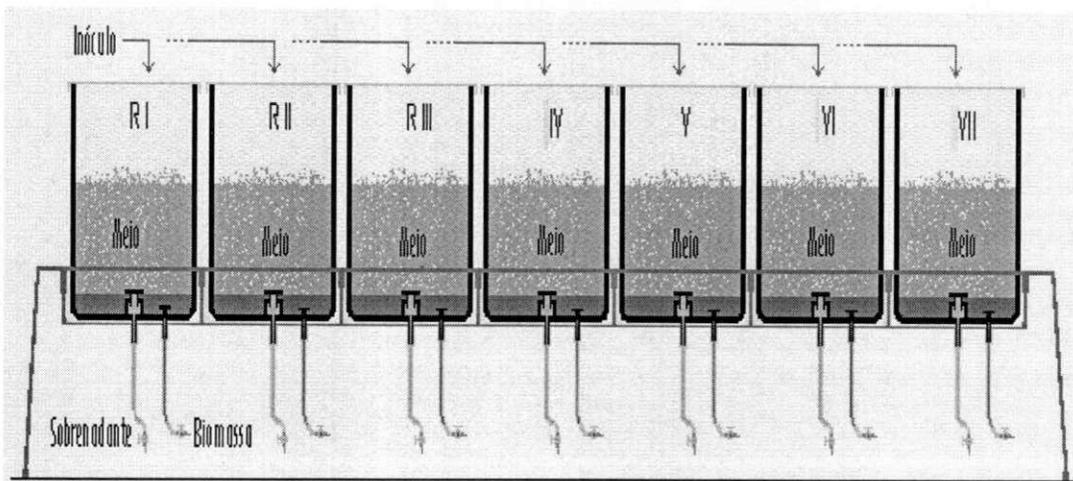


Figura 3.7 – Sistema de reatores utilizado na fermentação do caldo de algóroba

Realizaram-se sete ensaios mantendo-se sempre um volume constante. As alíquotas a serem analisadas foram recolhidas no tempo 0 (antes do início da fermentação) e em intervalos de 2 horas, durante o ensaio.

Alíquotas de 30 mL foram imediatamente congeladas para determinação dos açúcares redutores totais, biomassa e acidez, após descongelamento. Amostras de 2 mL foram retiradas e colocadas em tubos de Ependoff previamente tarados e secos, centrifugadas para determinação da biomassa e, nos sobrenadantes, determinaram-se os teores de açúcares redutores totais utilizando-se a metodologia do DNS. O precipitado resultante da extração do sobrenadante para ART foi lavado duas vezes, secado em estufa a 105°C, até se obter peso constante; determinou-se, através da diferença de pesos, a concentração de biomassa presente nas amostras; enquanto as análises de pH, acidez total, teor alcoólico, temperatura e teor de sólidos solúveis foram determinados imediatamente após coletadas, dado à complexidade das análises de ART e biomassa que demandam mais tempo para sua determinação, as amostras foram congeladas e analisadas depois.

3.2.12.3.2. Planejamento experimental

Objetivando-se a otimização dos procedimentos operacionais no processo fermentativo da aguardente de algaroba e permitir a avaliação de todas as combinações prováveis das variáveis envolvidas no estudo da conversão do substrato (caldo de algaroba) em produtos (etanol), realizando-se o mínimo de experimentos, aplicaram-se dois tratamentos utilizando-se a ferramenta planejamento experimental fatorial e a análise de variância. A partir deste planejamento experimental fatorial, dois planejamentos fatoriais completos foram realizados, cada um composto de sete ensaios, ou seja, quatro combinações diferentes e três repetições no ponto central, totalizando 14 ensaios. Neste estudo se avaliou, também a influência das variáveis quantitativas independentes (fatores): concentração do substrato em Teor de Sólidos Solúveis Totais (SST), Concentração de leveduras (CL) e o efeito dessas variáveis sobre os valores das variáveis dependentes (respostas): produtividade ($\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$), percentual de rendimento teórico (Y_p/s), percentual de rendimento em biomassa (Y_x/s) e percentual de conversão para dois tipos de inóculo diferentes: a linhagem ALG3 (levedura selecionada a partir do caldo da algaroba) e uma levedura comercial utilizada para panificação, cujos dados foram tratados através do software Excel versão 2007.

A Tabela 3.1 apresenta os níveis reais e codificados das variáveis de entrada: SST nas concentrações de 15, 18 e 21 (°brix) e CL nas concentrações de 10, 15 e 20 (g/L). Repetindo-se a matriz para cada linhagem de leveduras envolvida no processo, para cada variável de entrada foram fixados dois números de níveis, um nível inferior (-), um superior (+) e um ponto central (0) que é a média algébrica dos níveis inferior e superior. A escolha dos níveis -1(15°brix) e +1(21°brix) para o fator teor de sólidos solúveis totais (SST) e dos níveis -1(10g/L) e +1(20g/L) para o fator concentração de leveduras (CL) com três repetições no ponto central para cada tipo de fermento testado, baseou-se em estudos e resultados obtidos por SILVA (2002 e 2008). A experiência do pesquisador sobre o fenômeno em estudo foi levada em consideração visto que a metodologia empregada para os cálculos dos resultados pressupõe uma estimativa de erro experimental conhecido.

Tabela 3.1 – Níveis reais e codificados das variáveis de entrada

VARIÁVEIS		NÍVEIS CODIFICADOS		
Variáveis	Nível (-1)	Ponto Central	Nível (+1)	
Sólidos solúveis totais (%)	15,0	18,0	21,0	
Concentração leveduras (g/L)	10	15	20	

Observa-se, na Tabela 3.2, se observa a matriz de planejamento criada para avaliar a influência das variáveis independentes: SST e CL para cada tipo de inóculo, sobre as variáveis dependentes: produtividade ($\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$), percentual de rendimento teórico (Y_p/s), percentual de rendimento em biomassa (Y_x/s) e percentual de conversão. Nesta matriz se gerou um planejamento fatorial de $2^2 + 3$ PC, no qual, todas as variáveis são quantitativas existindo três repetições no ponto central, totalizando 7 ensaios laboratoriais para cada tipo de inóculo testado e os ensaios realizados com as combinações possíveis para que se evitasse a ocorrência de distorções estatísticas nos resultados.

Tabela 3.2 – Matriz de planejamento fatorial $2^2 + 3$ PC, da fermentação alcoólica usando-se caldo da algaroba e inóculo comercial e ALG3

Ensaio	Sólidos solúveis totais (SST)	Concentração celular (g/L)
1	-1	-1
2	+1	-1
3	-1	+1
4	+1	+1
5	0	0
6	0	0
7	0	0

3.2.12.3.3. Análise estatística

Para se analisar estatisticamente a influência das variáveis independentes (concentração de sólidos solúveis totais - SST, e a concentração de leveduras) das duas linhagens de leveduras testadas neste estudo, empregou-se o software Statistic versão 7.0, aplicado à regressão linear e à análise de variância. Na regressão linear, os efeitos principais e as interações entre eles foram obtidos na matriz de planejamento e analisados estatisticamente pela ANOVA.

3.2.13. Centrifugação

Na recuperação dos produtos da fermentação o sistema sólido/líquido formado na fermentação, foi separado por centrifugação em centrífuga da marca excelsa II modelo 206 BL, em volume de 400 mL por batelada, velocidade de 3000 rpm por 3 minutos, com o objetivo de separar a massa celular em suspensão do meio líquido fermentado. O rendimento em volume do fermentado em relação ao caldo inicial colocado no reator, foi calculado de acordo com a Equação 3.2.

$$R_{VF} = \frac{V_F}{V_{ct}} \times 100 \quad (3.2)$$

Donde;

R_F = Rendimento do volume do fermentado (%);

V_c = Volume do fermentado (L);

V_{ct} = Volume total do caldo (L).

3.2.14. Destilação

Neste trabalho, a destilação foi realizada em um alambique artesanal dimensionado para fornalha de 25 litros úteis, em cobre, chapa 18, rebatido, polido e envernizado,

blindado em solda de cobre e solda neutra, coluna modelo deflegmador, termômetro, flanges, tampão em bronze e uma serpentina de resfriamento em cobre adaptada a uma caixa de cobre polida e rebatida, conforme Figura 3.8.

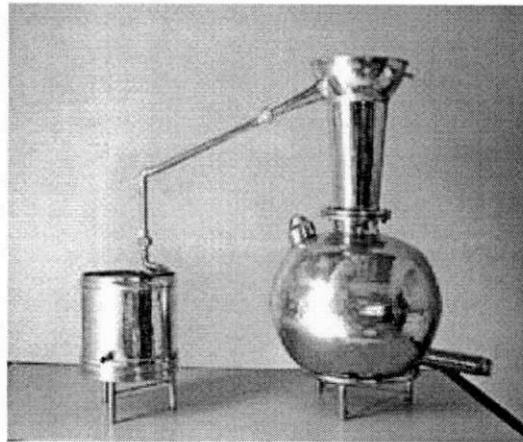


Figura 3.8 – Alambique usado na destilação da aguardente de algaroba

O aquecimento foi feito por chama direta; inicialmente, abriu-se a entrada de vinho no alambique até que o vinho oriundo dos três reatores fosse transferido para o alambique por gravidade, ocupando aproximadamente $2/3$ da sua capacidade total; em seguida, o ebulidor foi fechado, aquecido moderadamente através de um queimador semi-industrial a gás butano, dando início ao processo de separação da aguardente no mosto fermentado. Esta prática, além de evitar o transbordamento e a explosão brusca de líquido não destilado, é recomendada pelos especialistas como condição básica para se obter uma aguardente de qualidade.

A condução operacional do processo destilatório foi desenvolvida controlando-se: o nível da carga de produto a ser destilado no alambique, a temperatura de ebulição do mosto, a pressão da base do tacho, o ajuste do fluxo de gás e da vazão da água de alimentação, a temperatura da água nas saídas do condensador e no deflegmador, a temperatura do destilado e a chama do aquecedor, controlando o fluxo de gás liberado pelo botijão; em seguida, os vapores hidroalcoólicos começaram a ascender através do capitel do alambique chegando até o sistema de condensação e, ao chegarem até o condensador, esses vapores,

foram resfriados até a temperatura média de 25°C, e coletado todo o álcool na forma de destilado sem separação das frações cabeça, coração e cauda. Terminada a destilação, foi aberta a válvula de alimentação para evitar o “murchamento” do ebulidor, suprimiu-se o aquecimento, e se descarregou o vinhoto reiniciando-se o novo ciclo.

3.2.15. Bidestilação

Para melhorar a qualidade da aguardente e atingir a redução máxima dos teores de cobre, ácidos orgânicos, aldeídos acéticos, acetatos de etila e metanol, entre outros contaminantes no produto final, realizou-se uma dupla destilação na qual se preestabeleu um percentual de 10% para a primeira fração destilada (cabeça) e os 10% finais (cauda); desta forma foram utilizados apenas os 80% intermediários (coração).

A tecnologia empregada neste processo consistiu de uma nova destilação, na qual se utilizou o corpo proveniente da primeira, visando à realização da segunda; a partir da concentração inicial de etanol obtido durante a monodestilação, o flegma resultante deste processo foi submetido a uma diluição com água potável até atingir uma concentração alcoólica de 10°GL; a solução hidroalcoólica sofreu dupla destilação, separando-se, desta vez, as frações cabeça, coração e cauda. para atingir a graduação desejada.

Realizou-se um estudo cinético da destilação com o objetivo de avaliar o comportamento da concentração de etanol em g/L no processo, em períodos regulares a cada volume extraído (250 mL). A fim de se determinar os volumes de etanol em g/L a serem extraídos, quantificar as frações de cabeça, coração e cauda e calcular os rendimentos em cada fase do processo, realizou-se um balanço de massa antes de cada destilação.

3.2.15.1. Cabeça

O primeiro destilado, é um produto composto de 10% do total, rico em maiores concentrações de contaminantes e componentes indesejáveis; é conhecido como fração de cabeça, material este desprezado.

3.2.15.2. Coração

Trata-se da segunda, a aguardente propriamente dita; cerca de 80% do total bidestilado mais suave, de melhor qualidade e sensorialmente mais saborosa; denominada fração coração, foi acondicionada em garrafas e submetida a testes de controle de qualidade.

3.2.15.3. Cauda

A terceira parte, ou cauda, é composta de cerca de 10 a 15% do total da porção hidroalcoólica menos concentrada (cauda) ou popularmente conhecida como de água fraca; em razão de conter muita água e pouco álcool, foi eliminada.

3.2.16. Aguardente

Obteve-se a aguardente de algaroba bidestilada a partir da fração do coração, na qual se determinaram o teor alcoólico, a temperatura, a acidez volátil, o pH e o volume extraído. O volume total extraído foi acondicionado em potes de polietileno de onde se retiraram amostras, para realização das análises físico-químicas, sensoriais e cromatográficas, com o objetivo de se avaliar a qualidade do produto final em função dos padrões de qualidade exigidos pela legislação em vigor.

3.2.16.1. Análises físico-químicas

Efetuarão-se, para avaliação da qualidade das aguardentes, as análises físico-químicas, de acordo com os Métodos Oficiais de Análises para Destilados Alcoólicos, Retificados e Alcoólicos por Mistura, segundo o Decreto 2314, de 04/09/1997. Artigo 91 (Brasil, 1997):

Teor alcoólico: Determinaram-se as concentrações de etanol nos destilados por densimetria, utilizando-se o alcoômetro de Gay Lussac e se corrigindo os resultados da leitura a 20°C. Os resultados obtidos através do ebuliômetro foram corrigidos com a régua de conversão que acompanha o equipamento e multiplicados pelo fator de diluição e pela concentração encontrada;

Acidez volátil: Obteve-se a acidez volátil por titulação e se seguiu a metodologia descrita pelo Instituto Adolf Lutz (BRASIL, 2004);

Cobre, Cádmio e chumbo: As concentrações dos íons cádmio, chumbo e cobre presentes nas amostras foram quantificadas por técnica de polarografia ASV (Anodic Stripping Voltammetry) utilizando-se um polarógrafo modelo POL 150, acoplado a uma célula de mercúrio modelo MDE 150, ambos da marca Radiometer – Analytical. O polarógrafo é conectado a um microcomputador PC com sistema operacional Windows 95®, utilizando-se o programa Trace Master X9737-2.03, da Radiometer, para realização das medições experimentais. Essas análises foram realizadas no Laboratório de Engenharia Eletroquímica da Universidade Federal de Campina Grande.

3.2.16.2. Análise cromatográfica

Aqui, as determinações dos teores de ésteres, aldeídos, álcoois superiores e metanol e etanol, nas aguardentes bidestiladas de algaroba, foram determinadas por cromatografia gasosa e comparadas com a legislação brasileira (BRASIL, 1999). Utilizou-se, com este objetivo, um cromatógrafo gasoso da marca Varian CP – 3380 com padrão adquirido no

ITEP (Instituto Tecnológico de Pernambuco), e concentrações de: aldeídos de etila: 4,96 mg/100 mL; metanol: 2,73 mg/100 mL; n-propanol: 6,03 mg/100 mL; isobutanol: 4,42 mg/100 mL; nbutanol: 3,16 mg/100 mL; isoamílico : 3,20 mg/100 mL. O cromatógrafo estava equipado com uma coluna capilar de fundo oco CP - Wax 57CB, nas seguintes condições operacionais: Temperatura de 180, 250 e 6 -120°C para injetar, detector e coluna, respectivamente, e se utilizou hidrogênio como gás de arraste, com velocidade de 20 mL/40. As análises foram realizadas no laboratório da destilaria Gramame Industrial Agrícola GIASA S.A/PB localizada a 60 km do Porto de Cabedelo.

3.2.16.3. Análise sensorial

A análise sensorial foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, em João Pessoa, PB.

Para a realização das análises utilizaram-se copos descartáveis codificados com números de três dígitos, além de biscoitos de água e sal para degustação entre as amostras, processo este dividido em duas etapas, em que a primeira foi realizada com a aguardente bidestilada obtida a partir do fermento comercial e na segunda buscou-se verificar os efeitos sensoriais perceptíveis em termos de sabor e aroma da aguardente bidestilada produzida com o fermento ALG3. A metodologia aplicada foi o teste efetivo em escala hedônica, com a participação de 40 provadores não treinados, método em que se pode avaliar um grande número de consumidores, a respeito de suas preferências, gostos e opiniões. Avaliaram-se os atributos relacionados ao sabor e ao aroma da aguardente, conforme a ficha de provadores, na Figura 1 do apêndice A.

3.3. Aproveitamento da fração sólida (Resíduo da prensagem)

O processo de separação por prensagem para obtenção do substrato produz como subproduto, um resíduo sólido com teor de água médio de 40 % b.u., e composição química rica em materiais protéicos, fibras, minerais e outros nutrientes importantes na suplementação e enriquecimento de produtos alimentícios.



Figura 3.9 – Resíduo sólido prensado de algaroba antes dos tratamentos

O processo de obtenção da farinha de algaroba seguiu o fluxograma da Figura 3.10.

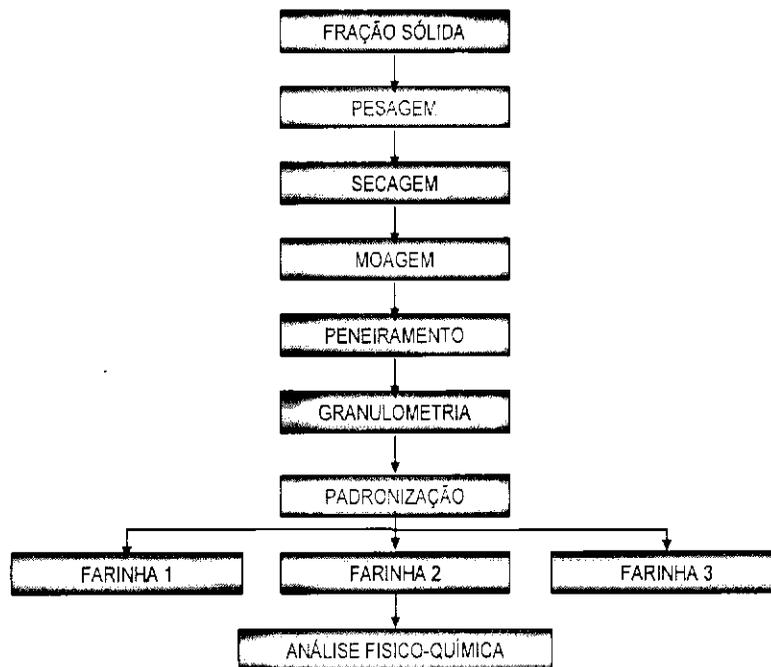


Figura 3.10 – Fluxograma do processo da produção de farinha do resíduo de algaroba

3.3.1. Fração sólida

A fração sólida, ou resíduo úmido prensado, é um subproduto obtido a partir da extração dos açúcares para a produção da aguardente de algaroba.

3.3.2. Pesagem

O resíduo foi pesado utilizando-se uma balança eletrônica (LUCASTEC), modelo PL-100, carga máxima de 25kg e mínima de 125g, com o objetivo de determinar os rendimentos representativos de cada processo.

3.3.3. Secagem

Essa etapa teve como objetivo estudar o comportamento da secagem do resíduo prensado de algaroba, em diferentes temperaturas e definir a temperatura que atinge o ponto de quebra (fragmentação) em menor tempo, preservando as características originais da matéria-prima. Conforme FIOREZE (2004), as condições de secagem para o resíduo prensado de algaroba, foram realizadas através do secador de leito fixo. Para a secagem deste material utilizou-se o método de camadas finas, em que toda superfície de uma área isolada troca calor e massa, não havendo contato físico entre as partículas suficiente para a troca de calor por condução ou troca de massa por difusão, entre elas. Durante este processo se monitorou a perda de massa através de pesagens periódicas, até peso constante. A secagem foi realizada em um sistema projetado em coluna, composto de compressor radial (B) que impulsiona o ar no interior da linha de alimentação do leito, rotâmetro (C), que mede a vazão do ar de secagem.

O ar de secagem foi aquecido por resistências elétricas (E), válvulas para especificar a vazão na linha de alimentação, dois termopares do tipo Chromel–alumel, controlador de temperatura, chaves seletoras, milivoltímetro digital e câmara de secagem; esta câmara de secagem (H) é composta de uma coluna cilíndrica de 17,80 cm de diâmetro e 60 cm de

altura; possui uma seção inferior tronco-cônica que funciona como distribuidor de ar e onde são colocadas esferas de vidro, empilhadas aleatoriamente, permitindo a uniformidade do ar de secagem em todo o leito. Esta câmara é isolada termicamente nas laterais com uma camada de amianto de 1,5 cm de espessura; nas suas laterais existem furos, nos quais se colocam termopares para a medição da temperatura e umidade relativa do ar de secagem; há, também, um outro termopar que é inserido no fundo da seção cônica e serve para enviar sinal ao controlador de temperatura, conforme a Figura 3.11, instalado no Laboratório de Transferência em Meios Porosos e Sistemas Particulados da UFCG.

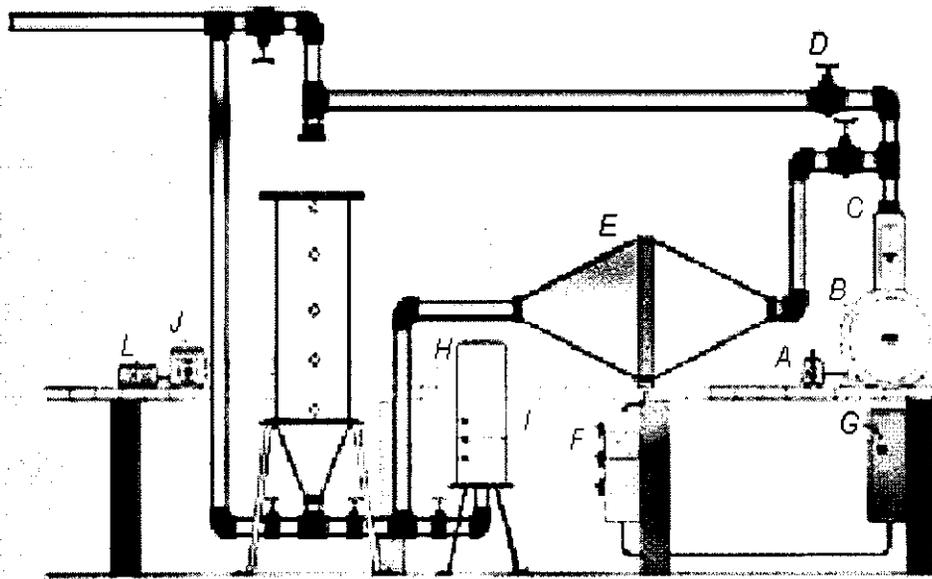


Figura 3.11. Secador de coluna em leito fixo utilizado na secagem do resíduo de algaroba

O teor de umidade perdido durante o processo foi obtido por pesagens descontínuas das amostras em intervalos de 3, 5, 10, 30 e 60 min, até o final do processo.

As temperaturas de secagem foram de 50°C, 60°C, 70°C e 80°C com duas repetições e a velocidade do ar foi ajustada para 1,00 m/s e aferida com o anemômetro de pás rotativas marca ICEL MANAUS Modelo 3070, posicionado na saída da câmara de secagem. A velocidade foi escolhida em função do material a ser secado para evitar perdas das partículas menores. No início do experimento os intervalos entre as pesagens foram de

3 minutos e, no final, o tempo foi de uma hora. A secagem foi concluída quando as variações das massas na pesagem foram repetidas entre duas pesagens sucessivas. Retirou-se uma amostra do resíduo prensado seco, para determinação da umidade final; já para determinação da cinética de secagem, os dados experimentais foram expressos na forma de razão de umidade e calculados pela equação 3.3 e aplicados nos modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Page e Thompson que se encontram descritos na Tabela 3.3. Obtiveram-se os coeficientes dessas equações mediante o ajuste das curvas de secagem aos dados experimentais, utilizando-se o programa computacional Statistica versão 7.0. Como parâmetro de avaliação do melhor modelo que se ajusta aos dados experimentais, utilizou-se o coeficiente de determinação (R^2).

$$RX = \frac{X_t - X_e}{X_i - X_e} \quad (3.3)$$

RX = Razão de umidade

Xt = Umidade na base úmida no instante t

Xi = Umidade na base úmida no início do processo

Xe = Umidade de equilíbrio para cada temperatura

Tabela 3.3 – Equações usadas para modelar os resultados da secagem a 50, 60 e 70 e 80°C

ITEM	EQUAÇÃO	AUTORES
01	$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = \exp(-kt^n)$	PAGE CITADO POR SHARMA et al. (1982)
02	$T = A \cdot \ln(RX) + B[\ln(RX)]^2$	THOMPSON et al. (1968)
03	$RX = \frac{X - X_e}{X_i - X_e} = a_1 \exp(-a_2 t^{a_3}) + a_4 \exp(-a_2 t^5) + a_6$	CAVALCANTI MATA (2004)

RX – Razão de umidade; t – tempo(min); n, a, b, a₁, a₂, a₃, a₄ e a₅ – constantes; k – coeficientes (s⁻¹)

Definidos esses parâmetros, a secagem passou a ser feita no mesmo secador, em camada espessa em bandeja cilíndrica construída de alumínio, com capacidade para 1,5 kg por batelada acoplada verticalmente e submetido a temperaturas de 50, 60 e 70°C, em duas repetições, até atingir um teor de umidade que conferisse, ao produto, uma facilidade maior de quebra (ponto de quebra).

3.3.4. Moagem

Os resíduos secos foram moídos (fragmentados) em moinho tipo hélice, marca Tecnal, modelo TE.631, velocidade 21500 rpm, até a obtenção de um material uniforme para o peneiramento, segundo a Figura 3.12, seguinte:

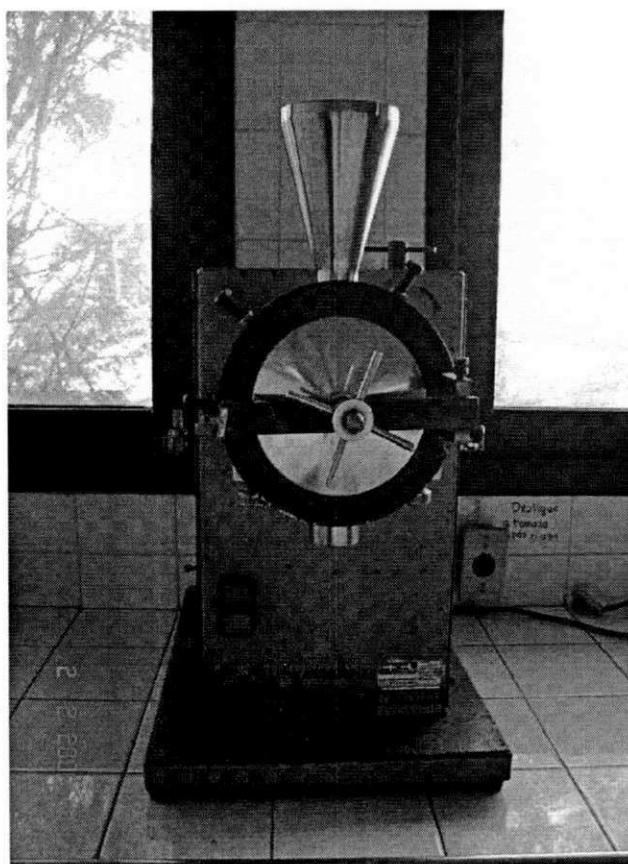


Figura 3.12. Moinho utilizado na fragmentação do resíduo seco de algaroba

3.3.5. Peneiramento

O material obtido durante a moagem foi submetido a um processo de tamisação com peneiras da série de Tyler. Para a obtenção da farinha, as frações obtidas foram direcionadas de acordo com a especificação granulométrica. As amostras moídas foram peneiradas em peneiras de marca GRANUTEST, de abertura 0,250 mm correspondendo a 60 mesh, 0,177 mm referente a 80 mesh e 0,149 mm relacionado a 100 mesh, de acordo com a aplicação e do tipo de processo a ser realizado, até a granulometria desejada e caracterizada do ponto de vista nutricional, sensorial e microbiológico, para atendimento das exigências em formulações de produtos alimentícios.

3.3.6. Padronização

O material coletado nas peneiras foi padronizado de acordo com a granulometria. Farinha 1, para o material obtido com a malha de 60 mesh, farinha 2 para o material obtido na malha 80 e farinha 3 para o material obtido com a malha 100 mesh da série de Tyler, como mostrado na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 – Classificação das farinhas e especificações granulométricas

Classificação	Abertura da peneira (mesh)	Abertura na peneira (mm)
Farelo	Acima de 60	Acima de 0,250
Farinha 01	60	0,250
Farinha 02	80	0,177
Farinha 03	100	0,149

3.3.7. Análises físico-químicas

As análises físico-químicas da farinha de algaroba foram realizadas conforme a metodologia descrita no Manual das Normas Analíticas do Instituto Adolf Lutz (BRASIL, 2005), quanto ao teor de fibras, proteínas, acidez total, lipídios, resíduo mineral fixo, carboidratos e valor calórico total. O percentual retido na malha 80 mesh foi armazenado e definido como farinha 01, padrão para validação do teste de panificação experimental por apresentar características químicas e físicas bastante semelhantes às das farinhas recomendadas para produção do pão do tipo forma, conforme Figura 3.13.

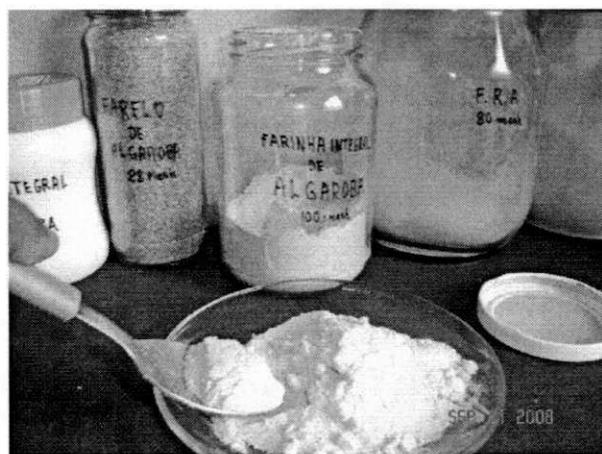


Figura 3.13. Farinha obtida a partir do resíduo prensado da algaroba

3.4. Pão de forma enriquecido com a farinha da algaroba

Elaboraram-se, para os testes de panificação, três tipos de pão de forma, com concentrações de farinha de algaroba de 5, 10 e 15% na mistura contendo 95, 90 e 85% de farinha de trigo comercial, para o que se aplicou a metodologia utilizada no processo convencional de produção do pão de forma comercial.

O processo de obtenção do pão de forma de algaroba seguiu o fluxograma da Figura 3.14.

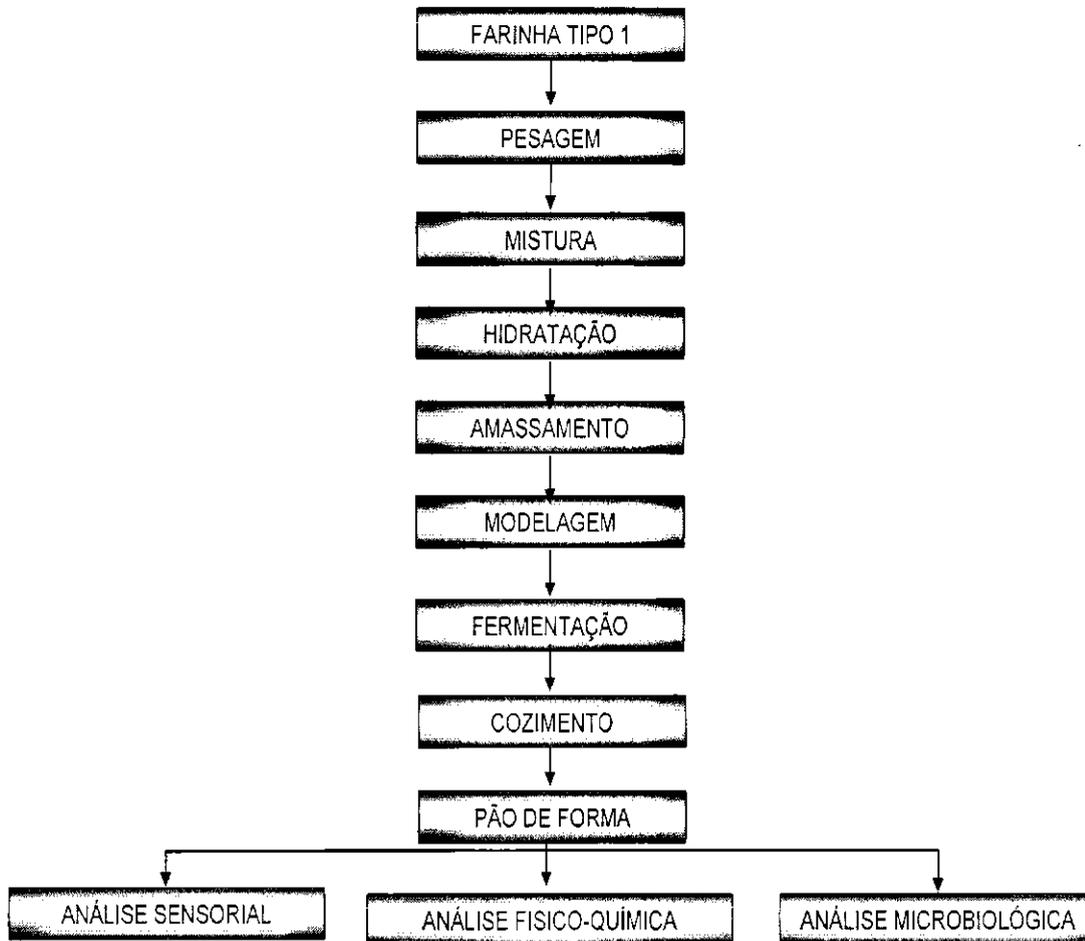


Figura 3.14 Fluxograma da produção do pão de forma com farinha de algaroba

3.4.1. Farinha tipo 1:

Os pães tipo forma foram elaborados utilizando-se apenas a farinha de resíduo de algaroba do tipo 01; para a farinha de trigo, lançou-se mão das concentrações de 95, 90 e 85%, respectivamente, com 7,91% de umidade, 6,70 de proteína bruta, sal refinado 1,80%, açúcar refinado 6,00%, fermento biológico seco 1%, gordura vegetal hidrogenada 4,00% e uma quantidade de água de 60,00%, conforme pode ser observado nas Tabelas 3.5, 3.6 e 3.7.

3.4.2. Pesagem dos ingredientes

A pesagem dos ingredientes definiu quantitativamente os percentuais de farinha de algaroba, farinha de trigo e outras substâncias a serem adicionados ao produto. Os percentuais testados foram baseados em processos convencionais já existentes para o pão de forma e em testes preliminares de panificação realizados em laboratório, conforme as concentrações descritas na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Balanço de massa para o pão de forma processado com 5, 10 e 15% da farinha de algaroba

F.TRIGO	ÁGUA	AÇÚCAR	F.ALGAROBA	G. HIDROGENADA	SAL	FERMENTO
95%	60%	6%	5%	4%	1,8%	1%
90%	60%	6%	10%	4%	1,8%	1%
85%	60%	6%	15%	4%	1,8%	1%

3.4.3. Mistura

A mistura da massa foi realizada manualmente e os ingredientes, na proporção indicada na formulação, foram adicionados na seguinte ordem: misturando-se, inicialmente, a farinha de trigo com a farinha de algaroba, açúcar, fermento, gordura vegetal hidrogenada e água; a adição do sal foi feita por último, para evitar o efeito inibidor no fermento.

3.4.4. Hidratação

A água gelada foi adicionada em quantidade suficiente para homogeneizar e dar consistência. A hidratação da massa foi lenta e em pequena quantidade, amassando-se sempre a massa, com cuidado para não umedecê-la demais.

3.4.5. Amassamento

Para o amassamento, a mistura foi acondicionada na masseira até formar uma massa elástica e brilhante, com adição de pequenas quantidades de água e em seguida colocada em cilindro até total consistência.

3.4.6. Salga

O processo de salga foi realizado lentamente durante a mistura da massa, após a adição de todos os ingredientes.

3.4.7. Modelagem

Depois de hidratada, a massa passou pelo processo de modelagem, foi salgada e modelada, até atingir consistência branda e perder a elasticidade, fato observado quando, ao se puxar com o rodo, a massa tendia a permanecer expandida na bancada, não oferecendo resistência ao rodo.

3.4.8. Fermentação

Na fase conhecida como fermentação, fase de crescimento ou de repouso da massa, cada amostra foi modelada manualmente e colocada em formas de tamanho padrão para fermentar em câmara de fermentação em temperatura média de 35°C, por aproximadamente uma hora, até atingir o crescimento ideal, volume e firmeza para ser assado. O crescimento foi atingido quando o pão ocupou toda a forma e o processo de fermentação foi interrompido ao se verificar a paralisação do aumento do volume.

3.4.9. Cozimento

No cozimento, a massa modelada e fermentada foi imediatamente levada ao forno elétrico turbo a gás, de Marca: TOLLEDO, com capacidade para 200 pães, aquecida a temperatura de 180°C, durante sete minutos, O pão foi retirado do forno quando a crosta apresentou coloração amarela intensa e brilhante.

3.4.10. Análises físico-químicas

Para atender aos padrões de qualidade estabelecidos pela legislação vigente, e estabelecer seu potencial como produto de panificação (pão de forma) os pães foram caracterizados quimicamente com relação aos teores de proteínas, lipídeos, fibra bruta, carboidratos, valor calórico total e minerais.

3.4.11. Análise estatística

Os dados experimentais obtidos na análise sensorial foram analisados estatisticamente com o uso do programa computacional ASSISTAT versão 7.5 beta SILVA (2008). O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DCC) cujos resultados foram submetidos a análise de variância. A comparação entre as médias dos dados foi feita através do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.4.12. Análises microbiológicas

As análises microbiológicas do pão de forma foram realizadas no Laboratório de Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal da Paraíba; as determinações foram feitas quanto à presença de *Coliformes* a 45 °C e *Salmonella sp*, com base nas metodologias descritas pelo ICMSF (1997).

3.4.13. Análise sensorial

Realizou-se a avaliação nos dias 12 e 13 de agosto de 2008, por 59 provadores não treinados, na Escola Agrotécnica Federal de Belo Jardim, PE. Três amostras de pão de forma processadas com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 5, 10 e 15% foram analisadas. Com vistas à avaliação das características sensoriais dos pães de forma, realizou-se um teste de preferência por escala hedônica com nove denominações que vão desde o gostei muitíssimo até desgostei muitíssimo, no qual se avaliaram os atributos relacionados a sabor e aroma, em que as amostras foram apresentadas codificadas com algarismos de três dígitos; cada provador recebeu três amostras e as avaliou separadamente, com relação aos atributos aroma e sabor, de acordo com a Figura 2 do apêndice A. Observaram-se, na Figura 3.15, a seleção e a pesagem dos ingredientes para elaboração do pão de forma a partir da farinha do resíduo de algaroba.

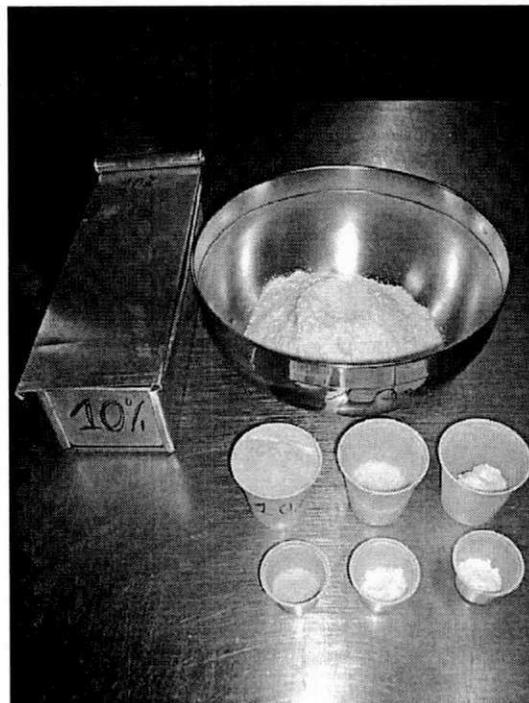


Figura 3.15 - Preparo da massa para elaboração do pão de forma

4.0. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo se apresentam os resultados obtidos e sua discussão. São apresentados e discutidos, inicialmente os resultados da caracterização física, química e físico-química das vagens da algarobeira, nos principais municípios da região semiárida do estado da Paraíba e, na etapa seguinte, avaliados e comparados os resultados após as modificações e ajustes no sistema de extração, por dois métodos diferentes, enquanto na terceira etapa se expõem os resultados do estudo cinético da fermentação alcoólica, testando-se o efeito das variáveis sólidos solúveis totais (SST) e concentração de leveduras (CL), para as leveduras: comercial e ALG3, avaliando-se os parâmetros cinéticos produtividade (P), rendimento teórico (Y_p/s), rendimento em biomassa (Y_x/s) e percentual de conversão (PC), além de se verificar a influência dessas variáveis de entrada na velocidade das reações do processo de transformação de substrato em produtos. Aqui se aplicou um planejamento fatorial para analisar estatisticamente as respostas e propor as condições mais adequadas de produção do fermentado (vinho de algaroba). Nesta última etapa o material fermentado foi destilado e bidestilado para obtenção de aguardente. Em um estudo complementar se tem, de forma sucinta, os resultados dos tratamentos aplicados ao resíduo objetivaram seu aproveitamento como fonte nutricional. A farinha obtida foi usada como matéria-prima na produção de pão de forma, nas dosagens de 5, 10 e 15% de farinha do resíduo da algaroba.

4.1 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada nos experimentos se refere às vagens maduras de algarobeira originadas de regiões semiáridas do estado da Paraíba submetidas a uma série de operações e avaliações preliminares para medir o perfil de aproveitamento e da sua aplicação no processo de extração do substrato para produção da aguardente, conforme os resultados da Tabela 4.1 do item 4.1.1, na qual se encontram os rendimentos médios da matéria-prima trazida do campo, acondicionadas em sacos de nylon de 25 kg.

Tabela 4.1 – Rendimento médio por saca de 25 kg de vagem utilizada para obtenção do caldo

Parâmetros	Média±DP
Massa total das vagens (kg)	25,00±3,00
Massa das vagens selecionadas (kg)	21,94±1,89
Massa das vagens descartadas (kg)	3,36±0,38
Percentual de perdas por saca (%)	13,44±2,00
Rendimento das vagens (%)	87,76±2,40

Os resultados da Tabela 4.1, comprovam que as amostras apresentam, quando chegam ao laboratório, rendimento médio de 87,76%, perda em torno de 13,44% e desvio padrão de dois pontos percentuais, equivalentes a 3,30 kg por saca de 25,00 kg, constituídas, na sua maior parte de talos, galhos, pedras, folhas secas e espinhos, além daquelas que apresentavam danos mecânicos e anomalias físicas (atrofiadas, quebradas, ataques de pragas, fungos).

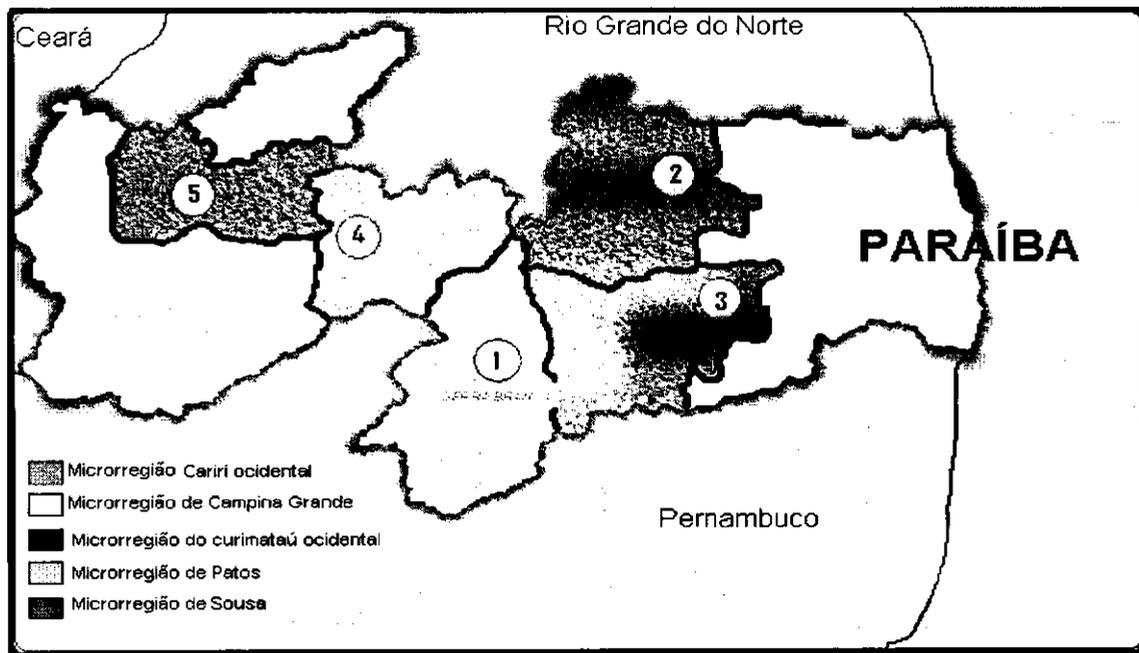
NASCIMENTO et. al (2008) encontraram, quando selecionaram o material recém chegado do campo em sacos de nylon com peso médio de 31,30 kg, um rendimento médio de 67,37%. Esses resultados indicam que, quando a colheita é feita manualmente, o rendimento pode ser elevado e a qualidade das vagens melhorada; portanto, a qualidade e o rendimento das vagens utilizadas neste estudo, estão inteiramente associados à forma de colheita e ao tipo de armazenamento pós-colheita no campo.

Normalmente, as vagens são colhidas manualmente ou com o auxílio de instrumentos simples (ancinhos) e comercializadas em sacos de nylon 25,00 a 30,00 kg, sem a preocupação com a qualidade em função, sem dúvida, de ser direcionada ao consumo animal. Para processos biotecnológicos, no entanto, existe uma preocupação maior com a qualidade desse material em virtude do objetivo da sua aplicação visto que qualquer contaminação é passível de gerar prejuízos irreversíveis, tanto para o processo como para o consumidor.

4.1.2 Caracterização da matéria-prima

O potencial de aproveitamento das vagens de algarobeira para a produção de aguardente e outros alimentos depende, essencialmente, de suas características físicas e químicas e físico-químicas.

As amostras analisadas foram originadas das principais microrregiões produtoras do semiárido paraibano, representadas na Figura 4.1. Em relação a este aspecto, a avaliação preliminar teve, como objetivo, estudar o perfil físico, químico e nutricional da matéria-prima a ser usada no estudo, de forma a promover melhor rendimento nos processos experimentais.



LEGENDA: Municípios pesquisados: 1-Serra Branca, 2-Picuí, 3-Campina Grande, 4-Patos e 5-Sousa

Figura 4.1 – Mapa das microrregiões produtoras de algaroba do Semiárido paraibano

FONTE: SILVA (2007)

A Figura 4.1 representa a localização, no mapa, das microrregiões produtoras de vagens de algarobeira. O município de Serra Branca, localizado na microrregião do Cariri Ocidental, foi o principal fornecedor da matéria-prima utilizada neste trabalho. De acordo com GRABOIS & AGUIR (1985), a microrregião do Cariri se localiza na parte centro-sul do estado da Paraíba. Os autores relatam que as diferenças entre o Curimataú, o Agreste e o

Cariri, são marcadas pela diminuição progressiva e pelo desaparecimento quase que total, das plantações de sisal (agave) e o aparecimento da palma forrageira além de grandes plantações de algaroba. É marcante o uso da terra por grandes plantios desta leguminosa formando verdadeiros bosques.

4.1.2.1 Caracterização morfológica

Morfológicamente, as vagens da algarobeira coletadas no semiárido do estado da Paraíba apresentam epicarpo coriáceo amarelo-claro, mesocarpo carnoso e rico em sacarose e um endocarpo lenhoso com uma cápsula muito resistente, que envolve a semente; normalmente, são achatadas e mais ou menos curvas, com ligeira depressão entre elas.

A Tabela 4.2 apresenta valores médios dos resultados descritivos da caracterização das vagens in natura da algarobeira utilizadas neste trabalho.

Tabela 4.2 – Características morfológicas estudadas nas vagens da algarobeira

Vagens	Média± DP
Massa (g)	11,10 ± 2,25
Número sementes	25,56 ± 5,32
Largura (cm)	1,29 ± 0,11
Comprimento (cm)	21,44 ± 3,78
Espessura (cm)	0,73 ± 0,09
Exocarpo (29,23 ± 2,09%)	2,90 ± 0,35
Mesocarpo (42,06 ± 2,44%)	4,21 ± 0,95
Endocarpo (28,28 ± 0,14%)	2,81 ± 0,49

Verifica-se, através da Tabela 4.2, que os valores médios de massa (g), comprimento (cm), largura (cm), espessura (cm) e número de sementes por vagens são muito irregulares. Esses resultados estão próximos dos encontrados por FIGUEIREDO (2000), SOARES (2006)

e VALDÍVIA (1972) que obtiveram valores médios de 21,90, 17,68 e 22,50 cm, respectivamente. O valor da massa média, isto é, 11,10 (g) obtido neste trabalho, foi superior aos valores de 8,00 e 10,50 (g) encontradas por VALDÍVIA (1972) e FIGUEIREDO (2002).

O percentual de 42% encontrado para o mesocarpo em relação ao peso total da vagem, está compatível com os resultados citados na literatura. PROKOPIUK (2000) obteve entre 45,4 a 45,34%; VALDÍVIA (1972) concluiu que 20 a 25% desse total são de sacarose e entre 10 a 20%, açúcares redutores. A autora diz ainda, que o endocarpo se compõe, basicamente, de semente e guarda, em seu interior, de 34 a 39% de proteínas. Para GRADOS e CRUZ (1996) a polpa representa 56% do fruto e contém 60% de açúcares, dos quais 96% são sacarose. Esses altos índices de sacarose, além de tornarem os frutos mais apreciados e palatáveis, fortalecem os resultados desta pesquisa e confirmam a viabilidade dos bioprocessos aqui desenvolvidos a partir das vagens de algaroba.

Para PROKOPIUK (2000), o percentual médio encontrado variou entre 23 a 29% para o endocarpo, 16 a 22,5% para o exocarpo e de 45,4 a 45,34% para o mesocarpo. Quanto aos resultados, verifica-se que as vagens estudadas neste trabalho apresentaram um número menor de sementes em relação ao apresentado por PROKOPIUK (2000) em estudo sobre a composição da algaroba porém são maiores, espessas e mais pesadas.

Tais resultados confirmam a importância da pesquisa e a proximidade dos valores obtidos com a literatura consultada, haja vista a necessidade de se conhecer profundamente essas variações, antes de se iniciar os procedimentos experimentais. Referidos procedimentos facilitaram a avaliação da matéria-prima mais apropriada para cada etapa do processo objeto do estudo em questão, independente da região e do tempo em que foram realizados os estudos.

Os valores apresentados também confirmam os resultados de SILVA (2005) que classifica as vagens encontradas no semiárido do estado da Paraíba como normalmente: achatadas e mais ou menos curvas, com aproximadamente 20 cm de comprimento, 1 a 2 cm de largura e depressões entre as sementes. São compostas de epicarpo coriáceo amarelo-claro, mesocarpo carnoso e rico em sacarose e um endocarpo lenhoso com uma cápsula muito

resistente que envolve as sementes; no entanto, durante as pesquisas foram encontradas vagens de até 36 cm de comprimento.

4.1.1.2 Caracterização físico-química

Quando aplicada ao estudo e ao desenvolvimento de produtos biotecnológicos, principalmente aos de caráter fermentativos a engenharia de processos tem, como foco, matérias-primas potencialmente ricas em carboidratos e diversos minerais (nitrogênio, fósforo, potássio e cálcio) necessários para acelerar os processos de conversão do substrato em produtos.

O teor de açúcares totais, os sais minerais, as proteínas e outros nutrientes existentes nas vagens da algarobeira, são de fundamental importância para viabilizar processos de conversão desses componentes no desenvolvimento de bioprodutos. Desta forma, a avaliação preliminar de cada uma dessas substâncias tem, como base, direcionar o seu aproveitamento racional e gerar tecnologias limpas de produção, a partir da matéria-prima envolvida.

4.1.2.2.1. Análise estatística

Na Tabela 4.3 estão dispostos os resultados da análise estatística aplicada aos valores encontrados nas análises físico-químicas quando usado o teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade.

Percebe-se, para o resíduo mineral fixo, que os resultados analisados foram estatisticamente significativos a nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$) e as amostras mais ricas em minerais foram colhidas nos municípios de Patos 3,16%, microrregião do sertão da Paraíba e no município de Picuí, localizado na microrregião do Curimataú paraibano, com 3,58%. Esta diferença na quantidade de minerais pode ser atribuída a composição do solo das regiões pesquisadas. Resultados como esses são bastante significativos para o preparo de alimentos e na composição dos meios nutrientes dos processos fermentativos.

O valor calórico total (VCT) determinado neste estudo, apresentou diferença significativa a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$), em que os melhores resultados foram alcançados nas amostras oriundas dos municípios de Picuí e Patos.

Tabela 4.3 – Análise estatística da composição físico-química média das vagens da algarobeira das regiões pesquisadas

Tratamentos	Teste F	DMS	CV
Umidade	9,1060 **	5,29977	15,22839
Proteínas	3,3215 ns	3,83595	15,36385
Lipídios	3,8483 *	1,68046	29,45306
Acidez total	1,5937 ns	0,55435	9,38261
Minerais	4,1865 *	1,08809	14,06208
Fibra bruta	5,0374 *	2,45873	5,99522
Açúcares redutores	2,6800 ns	0,78001	10,42376
Açúcares não redutores	2,0071 ns	9,15991	8,54168
Açúcares totais	2,3528 ns	8,95416	7,80505
Carboidratos	2,0112 ns	8,58595	4,36029
Valor calórico total	8,6352 **	27,01610	2,87880

** significativo a nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$)

* significativo a nível de 5% de probabilidade ($0,01 < p < 0,05$)

ns não significativo ($p > 0,05$)

Observa-se, nas Tabelas 4.4 e 4.5, que para proteínas totais, acidez e açúcares, esses componentes não apresentam diferença a um nível de 5% de significância ($p > 0,05$); portanto, nos processos em que esses componentes forem considerados importantes, poder-se-á trabalhar com vagens originadas de qualquer uma das regiões estudadas.

Apesar das diferenças observadas nas diversas microrregiões quando estudadas isoladamente na Tabela 4.4, verifica-se influência elevada da higroscopicidade da algaroba quando se avaliam os teores de água das amostras colhidas nas regiões semiáridas, conforme se observa nas amostras de Serra Branca e Patos, que apresentaram valores mais baixos compatíveis com a baixa umidade relativa nessas regiões; já nas regiões em que, apesar de semiárida, prevalece uma umidade relativa mais elevada a exemplo de Campina Grande, Picuí e Sousa, o teor de água das amostras refletiu esta realidade em um nível de 1% de significância ($p < 0,01$). Resultados assim foram observados por LIMA & LIMA (1985) para teor de água na amostra de 17%, ao contrário de DEL VALLE et al. (1983) que observaram

teor de água de 9%, com 14,7% de proteínas.

Quanto ao teor de lipídios, a diferença apresentada em um nível de 5% de significância ($0,01 < p < 0,05$), pode ser atribuída a um número maior de sementes nas amostras advindas do município de Sousa.

Pode-se observar, nas Tabelas 4.4 e 4.5, os resultados analíticos das vagens de algarobeira nos principais municípios pesquisados. Os percentuais seguidos das letras a, b, c, d e representam as variações correspondentes à análise estatística de cada componente da vagem dos diversos municípios.

Em observação preliminar dos dados, se encontram teores médios mais elevados de proteínas, carboidratos e valor calórico total, nas vagens oriundas dos municípios de Serra Branca, Picuí e Patos, localizados nas microrregiões do Cariri, Curimataú e Sertão da Paraíba, respectivamente. Com relação ao teor de açúcares totais, os valores encontrados nos municípios de Picuí e Serra Branca foram maiores; as planilhas com os dados se encontram nas Tabelas B1 a B5, do Apêndice B.

As amostras provenientes dos municípios de Campina Grande e Sousa apresentaram valores menores de proteínas e açúcares totais; verifica-se, no entanto, que o percentual de proteínas é ligeiramente maior nas amostras colhidas em Sousa em relação a Campina Grande; quanto ao teor de açúcares, quando se comparam as vagens de Campina Grande com as vagens obtidas no município de Sousa, percebe-se uma concentração maior de açúcares totais nas vagens do município de Campina Grande, porém a análise estatística desses resultados confirma que, para a maioria dos componentes importantes nos processos fermentativos, as diferenças não foram significativas em um níveis de 1 e 5% de significância.

Tabela 4.4 – Composição físico-química das vagens de algarobeira coletadas aleatoriamente nos municípios paraibanos de Serra Branca, Campina Grande e Sousa

Componentes	S. Branca	C. Grande	Sousa
Umidade (%)	9,75 ± 0,72	18,41 ± 0,29	13,17 ± 0,12
Proteínas (%)	10,81 ± 2,10 a	6,89 ± 1,28b	9,28 ± 0,14ab
Lipídeos (%)	2,11 ± 1,30ab	2,20 ± 0,15ab	1,00 ± 0,17ab
Acidez total (%)	1,97 ± 0,06 a	2,28 ± 0,14a	2,37 ± 0,12a
Minerais (%)	2,48 ± 0,86b	2,67 ± 0,22ab	2,50 ± 0,00ab
Fibra bruta (%)	16,66 ± 1,82a	15,77 ± 0,23ab	15,27 ± 0,39ab
Açúcares redutores (%)	3,08 ± 0,03a	2,56 ± 0,46a	2,44 ± 0,25a
Açúcares não redutores (%)	41,18 ± 5,98a	39,01 ± 0,58a	36,48 ± 0,31a
Açúcares totais (%)	44,27 ± 6,00a	41,57 ± 0,23a	38,92 ± 0,55a
Carboidratos (%)	76,86 ± 5,48a	69,83 ± 1,21a	74,05 ± 0,43a
Valor Calórico Total (Kcal/100g)	369,67 ± 9,17a	325,88 ± 11,41c	342,32 ± 0,38bc

Tabela 4.5 – Composição físico-química das vagens de algarobeira coletadas aleatoriamente nos municípios paraibanos de Sumé, Picuí e Patos

Componentes	Picuí	Patos
Umidade (%)	13,05 ± 3,52	10,30 ± 0,40
Proteínas (%)	9,16 ± 0,34ab	10,26 ± 1,98ab
Lipídeos (%)	2,36 ± 0,11ab	2,94 ± 0,44a
Acidez total (%)	2,20 ± 0,22a	2,17 ± 0,32a
Minerais (%)	3,58 ± 0,11a	3,16 ± 0,08ab
Fibra bruta (%)	13,43 ± 0,52a	15,08 ± 0,50ab
Açúcares redutores (%)	2,83 ± 0,27a	2,99 ± 0,19a
Açúcares não redutores (%)	43,85 ± 3,34a	38,78 ± 2,23a
Açúcares totais (%)	46,69 ± 3,08a	40,62 ± 1,30a
Carboidratos (%)	71,86 ± 3,21a	73,34 ± 1,93a
Valor Calórico Total kcal/100g	345,29 ± 13,51abc	360,88 ± 4,00ab

Tem-se, na Tabela 4.5, que, para os municípios de Picuí e Patos, os valores com letras (a,b e c) iguais não diferem estatisticamente. Pode-se verificar nas Tabelas 4.4 e 4.5, elevado teor de carboidratos, com destaque para os teores de açúcares totais (46,69%).

Os valores expostos na Tabela 4.5 são próximos aos encontrados, de 41,30% por ALVES (2008), SOARES (2006) 44,07%, e inferiores aos 60,00% encontrados por GRADOS (2000) e 54,16% por BARBOSA e citados por ARRUDA (1994). Conclui-se que se pode usar vagens das cinco microrregiões pesquisadas sem que haja diferenças significativas a níveis de 1 e 5% de probabilidade. Portanto, como já citado por CAMPOS (1980) e confirmado nesses resultados, a grande quantidade de estudos físico-químicos sobre as vagens da algarobeira reforça cada vez mais sua importância como mais um recurso natural disponível e abundante, que poderá ser utilizado como fonte de matéria-prima para diversos produtos que geram riqueza e desenvolvimento.

Em outros estudos, de destacados pesquisadores do mundo inteiro, os autores classificam os potenciais nutricionais das vagens de algarobeira e os comparam entre espécies diferentes em vários países, nos quais foram investigados os potenciais de minerais, vitaminas e outras características para aplicações ainda mais nobres do ponto de vista socioeconômico e ambiental.

4.2. Extração

As vagens da algarobeira possuem algumas propriedades especiais que dificultam a separação e a extração dos seus açúcares solúveis, por processos convencionais, motivo pelo qual foi necessário se projetar uma adaptação a uma prensa hidráulica por acionamento manual para atender às necessidades de operacionalização e rendimento da extração dos açúcares contidos na vagem da algarobeira (*Prosopis juliflora Sw D.C.*). Considerando-se todos esses fatores e as características do material biológico a ser processado para o consumo humano, foi necessário projetar e adicionar, ao sistema, algumas adaptações imprescindíveis.

Especificações do sistema

1. Cilindro interno perfurado na lateral inferior: $V = 3725,23 \text{ cm}^3$;
2. Cilindro externo: $V = 9156,24 \text{ cm}^3$;
3. Torneira para escoamento e coleta do caldo no cilindro externo;
4. Disco perfurado na parte inferior do cilindro interno para facilitar a remoção do material sólido retido no cilindro;
5. Êmbolo com sistema de reforço escalonado para suportar a pressão aplicada no material.

Material utilizado

1. Todas as partes em contato com a matéria-prima foram dimensionadas e construídas em aço inoxidável com paredes robustas para suportar o esforço aplicado, facilitar o escoamento e camisa externa para evitar perdas do material e espirrar no operador;

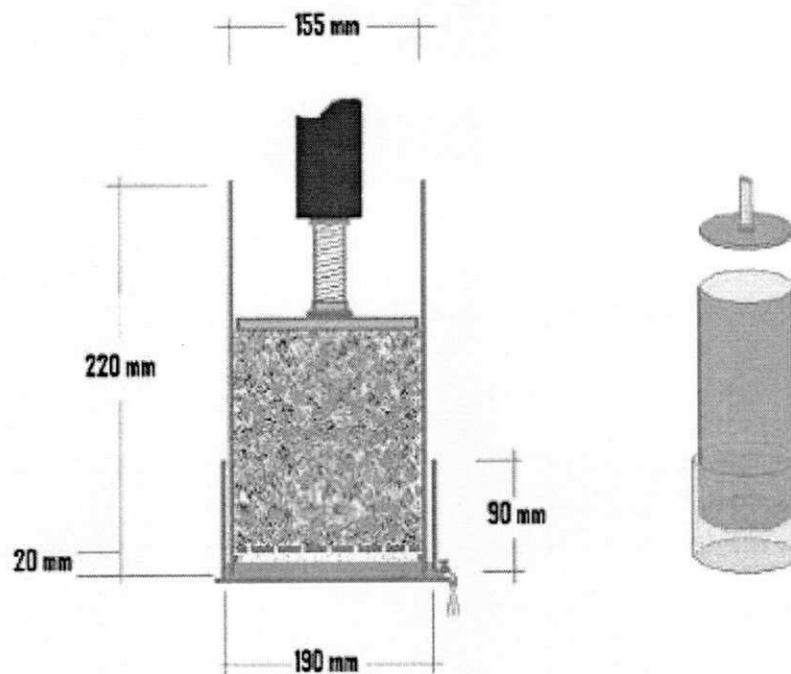


Figura 4.2 – Sistema de prensagem e coleta do caldo de algaroba

2. Na parede externa do cilindro foram colocadas duas alças horizontais para facilitar a operacionalização durante a remoção e limpeza do sistema;
3. O dimensionamento das áreas interna e externa foi determinado em função da capacidade de produção da prensa, do volume necessário por batelada e da pressão adequada para extrair apenas os açúcares sem esmagar as sementes nem comprometer as outras propriedades naturais das vagens e se obter, então, o melhor rendimento no processo.
4. O material resultante foi submetido a operações sucessivas de prensagem até separar o extrato aquoso (caldo) do resíduo sólido (bagaço).

4.2.1. Extração pelo método 1

Apresentam-se, na Tabela 4.6, os resultados dos ensaios de 01 a 07, referentes ao item 3.2.3.1 de material e métodos; nesta etapa o desempenho operacional foi avaliado em função dos percentuais de rendimento em caldo, do resíduo prensado, do teor de sólidos solúveis totais e do percentual de perdas no processo operacional.

Tabela 4.6 - Efeito da variação da pressão no caldo de algaroba extraído pelo método 1

ENSAIOS	EXTRAÇÃO				
	Pressão (kgf.cm ⁻²)	Rendimentos (%)			
		Caldo	Resíduo	SST	Perdas
Ensaio. 01	106,00	53,90±1,63	25,30±0,71	18,20±0,49	20,70±0,92
Ensaio. 02	159,10	60,35±1,06	24,22±1,77	16,73±1,06	14,41±0,73
Ensaio. 03	212,10	61,55±2,76	24,95±0,35	23,47±1,75	12,40±4,67
Ensaio. 04	318,10	66,50±4,95	26,90±0,28	20,50±0,71	3,10±0,14
Ensaio. 05	424,18	69,90±1,13	27,60±2,83	22,00±0,00	2,40±1,70
Ensaio. 06	477,20	70,24±2,47	24,23±1,77	19,75±0,71	5,50±0,35
Ensaio. 07	530,20	69,60±1,56	26,25±1,06	19,55 ±0,64	3,85±0,35

As maiores concentrações de sólidos solúveis totais foram 23,47, 20,50 e 22,00 °Brix obtidos nos ensaios 3, 4 e 5, respectivamente, para pressões de 212,10 a 424,12 kgf/cm².

enquanto para o caldo os melhores percentuais de rendimento foram observados nos ensaios 5, 6 e 7, 69,90, 70,24 e 69,60% para pressões de 424,18, a 530,20 kgf/cm² respectivamente.

Quanto ao resíduo, ocorreu pouca variação ao longo dos sete experimentos; outra variável importante estudada foi o percentual de perdas no qual se observou uma diminuição proporcional à carga aplicada. As concentrações mais elevadas se encontraram nos ensaios centrais quando foram aplicadas pressões médias de 424,18 kgf/cm², estabilizando-se a partir de 477,20 kgf/cm². Este processo foi dificultado pela formação de uma mistura homogênea e viscosa, de difícil separação, e apresentou um percentual maior de perdas em relação a extração, pelo método 2, pois além de dificultar a extração elevou o percentual de rendimento do resíduo, retendo, em consequência, mais açúcares, resultados que confirmam as dificuldades encontradas por SILVA (2002) quando relata que o processo de extração por trituração é dificultado pela viscosidade apresentada no material triturado, o que forma uma mistura de difícil separação, impermeabilizando as malhas e impedindo o escoamento do caldo; outra dificuldade observada no processo foi a quantidade elevada de gomas em suspensão na solução extraída.

O excesso de força aplicada, a trituração das vagens e a hidratação a frio, esmagam as sementes, dissolvem compostos contidos na casca e na semente, formam uma emulsão turva e viscosa de difícil separação ao invés de uma solução límpida e de fácil escoamento no momento da filtração. Esses problemas detectados durante os ensaios experimentais provocaram contaminação e inibição no meio de crescimento no processo de fermentação. Problemas semelhantes foram observados por ARRUDA (1994), no seu trabalho com algaroba para a produção de etanol.

SILVA (2007) obteve, pesquisando a aplicação das vagens da algarobeira para obtenção de etanol, um meio de crescimento secando as vagens em estufa com circulação de ar a 45°C, por 18 horas, transformadas em farinha e hidratadas a diferentes percentuais com água destilada. A autora verificou que a melhor concentração foi obtida com 30% da farinha, uma concentração de glicose de 3,99 (g/L) a um pH de 5,4, com 17,70 (g/L) de proteínas totais, por ocorrer a saturação quanto à solubilização desses nutrientes no meio aquoso.

4.2.2. Extração pelo método 2

Na Tabela 4.7 se observam os resultados dos ensaios de 1 a 7, referentes ao item 3.2.8.2. de material e métodos.

Tabela 4.7 – Efeito da variação da pressão no caldo de algaroba extraído pelo método 2

ENSAIOS	EXTRAÇÃO				
	Pressão (kgf.cm ⁻²)	Rendimentos (%)			
		Caldo	Resíduo	SST	Perdas
Ensaio. 01	106,10	55,52±1,86	24,41±1,41	16,00±0,71	20,07±0,45
Ensaio. 02	159,10	60,53±0,29	24,77±0,40	14,73±0,23	15,36±2,85
Ensaio. 03	212,10	59,85±0,35	24,70±5,73	23,60±1,56	19,05±4,77
Ensaio. 04	318,10	67,25±1,63	20,77±1,81	20,25±0,00	11,98±0,03
Ensaio. 05	424,20	68,95±0,21	21,94±3,31	18,75±1,06	9,10±3,03
Ensaio. 06	477,20	67,80±3,96	25,50±0,00	16,5±4,24	6,70±3,95
Ensaio. 07	530,20	79,05±2,05	19,40±1,27	14,75±1,77	1,54±0,76

Para o caldo se verifica que, ao se aplicar o método 2, a uma pressão média de 424,20 a 530,20 kgf.cm⁻², os melhores rendimentos foram 68,95, 67,80 e 79,05% relativos aos ensaios 5,6 e 7, respectivamente; para a concentração de sólidos solúveis, os melhores resultados foram 23,60, 20,25 e 18,75 °Brix, obtidos nos ensaios 3, 4 e 5 do experimento, com pressões que variaram entre 212,10, 318,10 e 424,12 kgf/cm².

A concentração de sólidos solúveis totais apresentou o melhor rendimento a uma pressão de 212,10 kgf/cm² e o percentual de caldo extraído foi de 59,85%; portanto é importante observar, na Tabela 4.9, que o melhor resultado obtido foi para o 5º ensaio no qual se aplicou uma pressão média de 424,20 kgf.cm⁻² obtendo-se um rendimento de 68,95 % e a uma concentração sólidos solúveis totais, média de 18,75 °Brix.

Esses resultados indicam, para o sistema utilizado que, aplicando-se o método 2 de extração, o processo pode ser otimizado a uma pressão média de $477,20 \text{ kgf.cm}^{-2}$ obtendo-se o rendimento médio em caldo de 71,93% com percentual médio de sólidos solúveis totais de 20,87%, faixa na qual se obtém os melhores rendimentos na fermentação alcoólica com caldo de algaroba em estudos até então realizados.

Esses resultados são muito próximos aos 72,00% encontrados por SILVA (2002) quando estudou a extração do caldo de algaroba para produção de aguardente e melhores que os 69,93% encontrados pelo método 1. As gomas e bagacilhos em suspensão no caldo extraído, elevam o teor de sólidos solúveis, prejudicam a fermentação alcoólica e a qualidade do produto final.

Os tratamentos de sanitização, aquecimento e reidratação das vagens com a água restante procurando extrair o máximo possível de açúcares antes da prensagem, justificam esses resultados. ARRUDA (1994) cita que resultados melhores foram obtidos na extração, quando o resíduo foi lavado e prensado novamente obtendo-se um caldo com $12,4^\circ \text{Brix}$ bem inferior ao menor resultado observado na Tabela 4.7 deste trabalho. Referidos resultados indicam que, para otimizar a extração, apenas o aumento da pressão não é suficiente, e o efeito de muitas outras variáveis (diluição, temperatura, tipo de esmagamento, temperatura da água de hidratação etc), interfere diretamente nos resultados.

O número de hidratações melhora o desempenho e o rendimento no processo de extração, enquanto o efeito da membrana filtrante (gomas, inibidores, contaminantes e outras partículas em suspensão) já citado em trabalhos anteriores por ARRUDA (1994) e SILVA (2002) e observado no método 1, prejudica o rendimento e piora o desempenho operacional. Um processo de extração semelhante ao método 2 também foi usado por GRADOS et. al (2000) na obtenção da algarobina com um rendimento médio de 34%, em seu trabalho sobre "Produtos Industrializados de Algaroba Peruana (*Prosopis pallida*): Algarobina e Farinha de algaroba.

4.3 Fermentação

O processo fermentativo apresentou excelente característica, do ponto de vista sensorial (aroma e cor) do início ao fim da fermentação alcoólica.

4.3.1 Estudo cinético

O controle de todas as variáveis do processo de fermentação alcoólica é necessário para a produção de bebidas alcoólicas de alta qualidade e seguras para o consumo. No estudo cinético da fermentação alcoólica foram determinadas, periodicamente e a cada duas horas, as principais variáveis envolvidas no processo fermentativo (açúcares redutores totais, acidez, pH, teor alcoólico, concentração celular e temperatura), para cada ensaio contido na matriz de planejamento das Tabelas 4.8 e 4.9. As planilhas com os resultados deste estudo estão nas Tabelas B6 a B19, do Apêndice B.

4.3.2. Planejamento experimental

Analisou-se, antes do planejamento fatorial experimental, a influência das variáveis de entrada (independentes): concentração de substrato, dada em percentual de sólidos solúveis totais (SST) e concentração de leveduras dada em g/L. O agente fermentativo testado no processo foram as linhagens das leveduras, *Saccharomyces cerevisiae* (comercial) e (selecionadas no caldo da algaroba). As respostas esperadas foram: Produtividade, dado, em $\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$; rendimento teórico (Y_p/s), rendimento em biomassa (Y_x/s) e percentual de conversão do substrato em produtos ou eficiência do processo durante a fermentação alcoólica do caldo de algaroba, cujo objetivo foi otimizar as condições operacionais do sistema de produção de aguardente de algaroba a partir dos açúcares extraídos das suas vagens, partindo-se da análise e do controle da matéria-prima (caldo de algaroba) envolvida e de linhagens diferentes de leveduras utilizadas no processo (*Saccharomyces cerevisiae* selecionada no caldo de algaroba e do tipo comercial).

A Tabela 4.8 apresenta a matriz de planejamento com duas variáveis de entrada (independentes) e quatro variáveis de resposta (dependentes), obtidas a partir dos experimentos realizados com as combinações dos níveis estudados para o fermento comercial.

Tabela 4.8 – Matriz de planejamento experimental fatorial 2^2 + três experimentos no ponto central e os resultados experimentais para os ensaios da fermentação alcoólica usando-se a levedura comercial

Ensaio	SST (°Brix)	Concentração leveduras (g/L)	RESPOSTAS				
			Produtividade (g.L ⁻¹ .h ⁻¹)	Y _{p/s} (%)	Y _{x/s} (%)	Conversão (%)	μ _{max} (h)
1	-1	-1	3,327	0,282	0,039	55,166	2,02
2	+1	-1	4,392	0,402	0,009	78,755	1,79
3	-1	+1	3,627	0,409	0,032	79,964	1,55
4	+1	+1	5,047	0,383	0,046	74,858	1,29
5	0	0	4,793	0,435	0,017	85,089	1,64
6	0	0	5,019	0,442	0,025	86,585	1,88
7	0	0	4,399	0,387	0,052	75,641	2,51

A Tabela 4.9 apresenta a matriz de planejamento com duas variáveis de entrada (independentes) e quatro variáveis de resposta (dependentes), obtidas a partir dos experimentos realizados com as combinações dos níveis estudados para a levedura selecionada no caldo de algaroba (ALG3).

Tabela 4.9 – Matriz do planejamento experimental fatorial 2^2 + três experimentos no ponto central e os resultados experimentais para os ensaios da fermentação alcoólica usando-se a levedura selecionada ALG3

Ensaio	SST (°Brix)	Concentração de leveduras (g/L)	RESPOSTAS				
			Produtividade (g/L.h)	Yp/s (%)	Yx/s (%)	Conversão (%)	μ_{max} (h)
1	-1	-1	1,664	0,312	0,062	61,014	0,50
2	+1	-1	1,813	0,324	0,042	63,324	2,79
3	-1	+1	1,934	0,329	0,048	64,448	1,10
4	+1	+1	1,516	0,245	0,093	48,022	1,60
5	0	0	2,105	0,284	0,012	55,609	0,44
6	0	0	1,974	0,303	0,016	59,388	0,30
7	0	0	1,974	0,244	0,009	47,758	0,23

4.3.3 Análise estatística

Através da análise estatística é possível obter os modelos empíricos codificados da regressão e as análises de variância dos parâmetros analisados. Para este estudo os dados experimentais foram submetidos, inicialmente, a uma análise de regressão linear, através do software Statistic 7.0.

4.3.3.1 Levedura comercial

As Equações 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam os modelos matemáticos empíricos codificados da regressão para o ajuste linear das variáveis dependentes: P, Yp/s, Yx/s e PC em função das variáveis independentes: SST e CL, para 95% de confiança.

Os modelos a seguir determinam os efeitos das variáveis independentes e a interação entre elas; os valores marcados em negrito são os coeficientes estatisticamente significativos.

$$P \text{ (g.L}^{-1}\text{.h}^{-1}\text{)} = 4,372 + 0,621\text{SST} + 0,239\text{CL} + 0,089\text{SST.CL} \quad (4.1)$$

$$Y_{p/s} \text{ (\%)} = 0,391 + 0,024\text{SST} + 0,027\text{CL} + 0,037\text{SST.CL} \quad (4.2)$$

$$Y_{x/s} \text{ (\%)} = 0,031 - 0,004\text{SST} + 0,008\text{CL} - 0,011\text{SST.CL} \quad (4.3)$$

$$PC \text{ (\%)} = 76,580 + 4,621\text{SST} + 5,226\text{CL} - 7,174\text{SST.CL} \quad (4.4)$$

Na Tabela 4.10 se encontram os valores dos coeficientes de variação explicada (R^2) e da razão entre $F_{\text{calculado}}$ e F_{tabelado} da análise de variância (ANOVA) para o ajuste do modelo linear das variáveis dependentes para a levedura comercial em um nível de significância de 95%.

Tabela 4.10 – Parâmetros da análise de variância para as variáveis de respostas P, $Y_{p/s}$, $Y_{x/s}$ e PC da levedura comercial a 95% de confiança

Parâmetros	R^2	$F_{\text{cal}}/F_{\text{tab}}$
Produtividade (g.L.h ⁻¹)	66,8	0,22
Rendimento teórico ($Y_{p/s}$)	61,5	0,17
Rendimento em biomassa ($Y_{x/p}$)	53,5	0,12
Conversão (%)	61,7	0,17

Os coeficientes de variação explicada (R^2) a 95% de confiança para as respostas, foram de 66,8, 61,5, 53,5 e 61,7, respectivamente; observa-se que os coeficientes de variação explicada (R^2) encontrados foram considerados muito baixos, mesmo se levando em conta que o material é biológico e está sujeito a variações maiores.

Analisando-se os modelos empíricos codificados da regressão linear dos dados experimentais nas Equações 4.1, 4.2, 4.3 e 4.4. e os parâmetros da análise de variância para as variáveis de respostas: P, $Y_{p/s}$, $Y_{x/p}$ e PC da levedura comercial em um nível de 95% de

confiança, observa-se que os coeficientes das variáveis de entrada expressos em função das variáveis independentes não foram significativos a 95% de confiança.

Nota-se, na análise de variância, que a razão entre F calculado e F tabelado é menor que 1; desta forma, pode-se afirmar que existe influência das duas variáveis de entrada (independentes) nas respostas a 95% de confiança para o fermento comercial.

Como os modelos lineares não foram satisfatórios no ajuste, aplicou-se o teste da curvatura a um nível de 90% de confiança com o objetivo de se checar o ajuste do modelo tem ajuste quadrático e simular a ampliação da faixa de investigação das variáveis de entrada.

As Equações 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8 apresentam os modelos empíricos codificados da regressão a 90% de confiança com curvatura para as variáveis dependentes P, Y_{p/s}, Y_{x/s} e PC dos sete ensaios utilizando-se fermento comercial.

$$P \text{ (g.L}^{-1}\text{.h}^{-1}\text{)} = 4,098 + 0,639\text{curv.} + 0,621\text{SST} + 0,239\text{CL} + 0,089\text{SST.CL} \quad (4.5)$$

$$Y_{p/s} \text{ (\%)} = 0,369 + 0,052\text{curv.} + 0,024\text{SST} + 0,027\text{CL} - 0,037\text{SST.CL} \quad (4.6)$$

$$Y_{x/s} \text{ (\%)} = 0,032 - 0,0002\text{curv.} - 0,004\text{SST} + 0,008\text{CL} + 0,011\text{SST.CL} \quad (4.7)$$

$$PC \text{ (\%)} = 72,186 + 10,255\text{curv.} + 4,621\text{SST} + 5,226\text{CL} - 7,174\text{SST.CL} \quad (4.8)$$

A Tabela 4.11 apresenta os resultados obtidos na análise de variância (ANOVA) com curvatura, dos coeficientes de variação explicada (R²) e das razões entre F calculado e F tabelado para variáveis de respostas produtividade, Y_{p/s}, Y_{x/s} e percentual de conversão para a levedura comercial com 90% de confiança.

Tabela 4.11 – Parâmetros da análise de variância para as variáveis de respostas P, Yp/s, Yx/s e PC da levedura comercial a 90% de significância com curvatura

Parâmetros	R ²	Fcal/Ftab
Produtividade (g.L ⁻¹ .h ⁻¹)	92,7	0,69
Rendimento teórico (Yp/s)	89,4	0,46
Rendimento em biomassa (Yx/p)	53,5	0,06
Conversão (%)	89,2	0,45

A análise dos modelos de regressão e dos valores contidos na Tabela 4.11 com os respectivos resultados da análise de variância (coeficientes de determinação (R² e a razão entre o F calculado e o F tabelado (Fcal/Ftab)) com curvatura, mostra que esses coeficientes aumentaram em relação ao modelo linear anterior; contudo, e se observando as Equações 4.5, 4.6, 4.7 e 4.8, percebe-se que os modelos com curvatura, apesar de serem melhores que o linear ao nível de 90% de confiança, não são estatisticamente significativos para todas as respostas em estudo, tendo em vista, que a razão entre F calculado F tabelado é menor que 1, ou seja, para a levedura comercial as variáveis testadas não apresentaram diferenças significativas, mesmo quando se aplicou o ajuste quadrático.

A Figura 4.3 indica no gráfico de Pareto, os efeitos significativos para produtividade a nível de 90% de confiança; apenas os valores que ultrapassam o valor de p são considerados estatisticamente significativos.

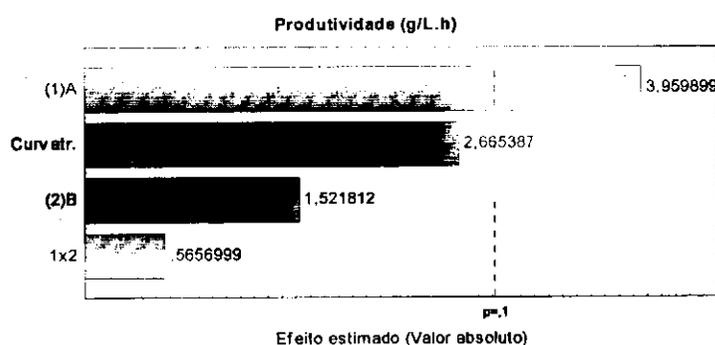


Figura 4.3 - Gráfico de Pareto para P com levedura comercial

Pode-se observar no gráfico representado na Figura 4.3 que a produtividade foi influenciada apenas pela concentração de substrato, não sofrendo o efeito da concentração de leveduras nem o efeito da interação entre a concentração de substrato e a concentração celular.

4.3.3.2 Levedura selecionada (ALG3)

Os modelos de regressão linear apresentados nas Equações 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12 e os resultados da análise de variância da Tabela 4.12, serviram para analisar a influência das variáveis sólidos solúveis totais e concentração de leveduras, nas respostas, quando se utilizou a levedura selecionada no caldo de algaroba ALG3. Nos modelos estudados as variáveis independentes não influenciaram significativamente as respostas e os coeficientes de variação explicada (R^2) foram muito baixos e a razão entre F calculado e F tabelado foi menor que 1; Portanto, conclui-se, portanto, que para a levedura selecionada no caldo da algaroba os modelos lineares não são estatisticamente significativos em um nível de 95% de confiança.

$$P \text{ (g.L}^{-1}\text{.h}^{-1}\text{)} = 1,854 - 0,067\text{SST} - 0,007\text{CL} - 0,142\text{SST.CL} \quad (4.9)$$

$$Y \text{ p/s (\%)} = 0,292 - 0,018\text{SST} - 0,016\text{CL} - 0,024\text{SST.CL} \quad (4.10)$$

$$Y \text{ x/s (\%)} = 0,040 + 0,006\text{SST} + 0,009\text{CL} + 0,0163\text{SST.CL} \quad (4.11)$$

$$\text{PC (\%)} = 57,080 - 3,529\text{SST} - 2,967\text{CL} - 4,684\text{SST.CL} \quad (4.12)$$

Nos resultados da análise de variância para as respostas Produtividade, rendimento teórico (Y_p/s), rendimento em biomassa (Y_x/s) e percentagem de conversão de açúcar em álcool apresentados na Tabela 4.12, constaram os coeficientes de variação explicada (R^2) e a razão entre F calculado e F tabelado para a levedura ALG3, em 95% de confiança.

Tabela 4.12 – Parâmetros da análise de variância para as variáveis de respostas P, Y_{p/s}, Y_{x/s} e PC da levedura ALG3, a 95% de confiança

Parâmetros	R ²	F _{cal} /F _{tab}
Produtividade (g.L.h ⁻¹)	39,5	0,07
Rendimento teórico (Y _{p/s})	60,9	0,17
Rendimento em biomassa (Y _{x/p})	27,4	0,04
Conversão (%)	60,6	0,17

Observou-se, na Tabela 4.12, que os valores de R² foram muito baixos e a razão entre F_{calculado} e F_{tabelado} foi inferior a 1, resultados que confirmam que os modelos não são significativos a 95% de confiança. Como o modelo linear não foi significativo a 95% de confiança novamente se aplicou o teste da curvatura em um nível de 90% de confiança para ampliar a faixa de influência da variáveis independentes.

As Equações 4.13, 4.14, 4.15 e 4.16 representam os resultados dos modelos testados com a curvatura em 90% de confiança.

$$P \text{ (g.L}^{-1}\text{.h}^{-1}\text{)} = 1,732 + 0,286\text{curv.} - 0,067\text{SST} - 0,007\text{CL} - 0,142\text{SST.CL} \quad (4.13)$$

$$Y_{p/s} \text{ (\%)} = 0,303 - 0,026\text{curv.} - 0,018\text{SST} - 0,016\text{CL} - 0,024\text{SST.CL} \quad (4.14)$$

$$Y_{x/s} \text{ (\%)} = 0,061 - 0,048\text{curv.} + 0,006\text{SST} + 0,009\text{CL} + 0,011\text{SST.CL} \quad (4.15)$$

$$PC \text{ (\%)} = 59,202 - 4,950\text{curv.} - 3,529 \text{SST} - 2,967\text{CL} - 4,684\text{SST.CL} \quad (4.16)$$

Na Tabela 4.13 se encontram os valores dos parâmetros das análises de variância (ANOVA), coeficientes de determinação (R²) e a razão entre F calculado e F tabelado, para o ajuste do modelo linear das variáveis dependentes para a levedura ALG3, em um nível de significância de 90%.

Tabela 4.13 – Parâmetros da análise de variância para as variáveis de respostas, a 90% de confiança

Parâmetros	R ²	Fcal/Ftab
Produtividade (g.L ⁻¹ .h ⁻¹)	95,4	1,19
Rendimento teórico (Yp/s)	75,8	0,17
Rendimento em biomassa (Yx/s)	99,6	12,24
Conversão (%)	75,3	0,17

De acordo com as Equações 4.13, 4.14 e 4.16 e a análise de variância, nem todos os modelos testados se apresentaram estatisticamente significativos; apenas os modelos das Equações 4.13 e 4.15, referentes à produtividade e ao rendimento em biomassa (Yx/s) se mostraram estatisticamente significativos em 90% de confiança.

Observando-se o gráfico de Pareto da Figura 4.4, concluiu-se que a produtividade não foi influenciada pela concentração do substrato (SST) nem pela concentração de leveduras; no entanto, foi estatisticamente influenciada pela interação entre a concentração do substrato e a concentração de leveduras do meio.

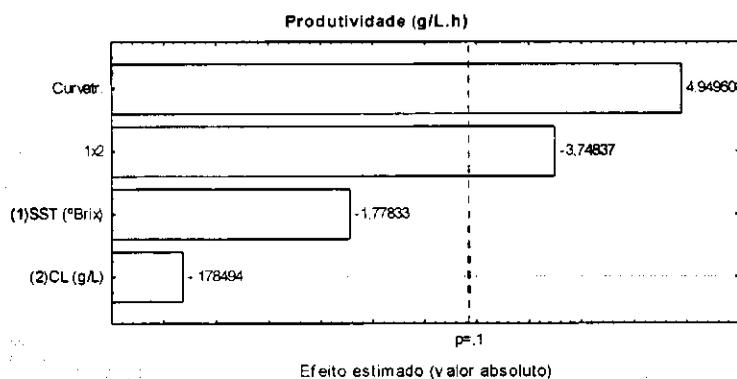


Figura 4.4 - Gráfico de Pareto para a produtividade para fermento ALG3

Com a análise de variância, a razão entre F calculado e F tabelado foi maior que 1; pode-se concluir, então, que o modelo da produtividade da levedura selecionado no caldo de algaroba (ALG3) é estatisticamente significativo em nível de 90% de confiança, cujos

resultados possibilitam a construção da superfície de resposta para análise de tendências das melhores faixas de operação das variáveis de entrada que aumentam a resposta em questão.

A Figura 4.5 apresenta a superfície de resposta que demonstra os efeitos da concentração de sólidos solúveis totais em °Brix e da concentração de leveduras em (g/L) sobre a produtividade.

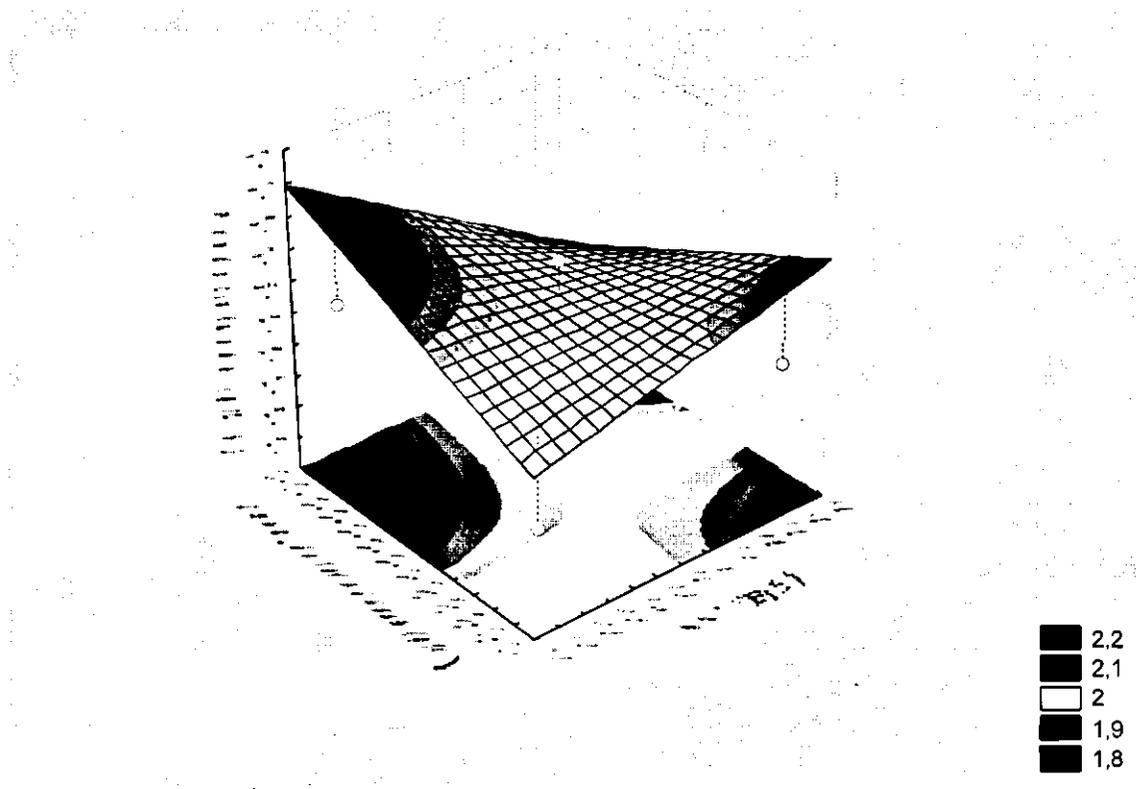


Figura 4.5 – Superfície de resposta: variação da produtividade em função das concentrações de sólidos solúveis totais e de leveduras

A análise do modelo da Equação 4.15 e a análise de variância da Tabela 4.13, confirmam a influência de todas as variáveis testadas e da interação entre elas na resposta, pois o valor do coeficiente de variação explicada (R^2) de 99,6 e a razão do F calculado por F tabelado maior que 1, mostram que o modelo é estatisticamente significativo a 90% de confiança (BARROS NETO, 2001). A Figura 4.6, representada pelo gráfico de Pareto, mostra que todos os coeficientes do modelo, verificando-se a tendência de curvatura, são estatisticamente significativos.

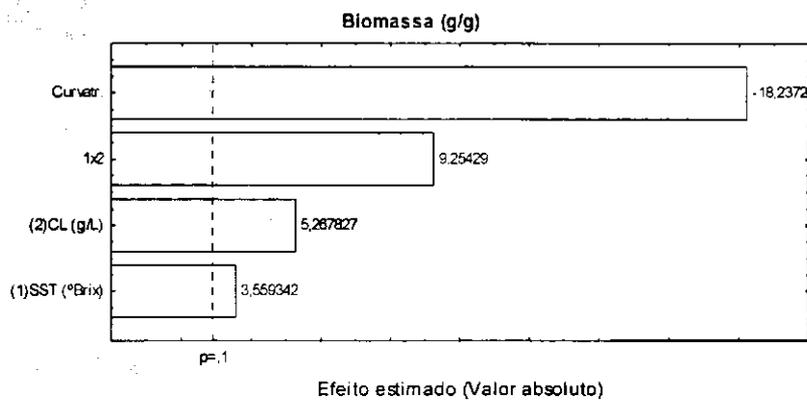


Figura 4.6 - Gráfico de Pareto para o rendimento em biomassa com o fermento ALG3

Pode-se construir, então, uma superfície de resposta para a análise de tendências da faixa de operação das variáveis de entrada que amplie a resposta em questão.

A Figura 4.7 mostra a superfície de resposta e os efeitos das concentrações de sólidos solúveis totais em °Brix e da concentração de leveduras (g/L) sobre o rendimento em biomassa (Y_x/s).

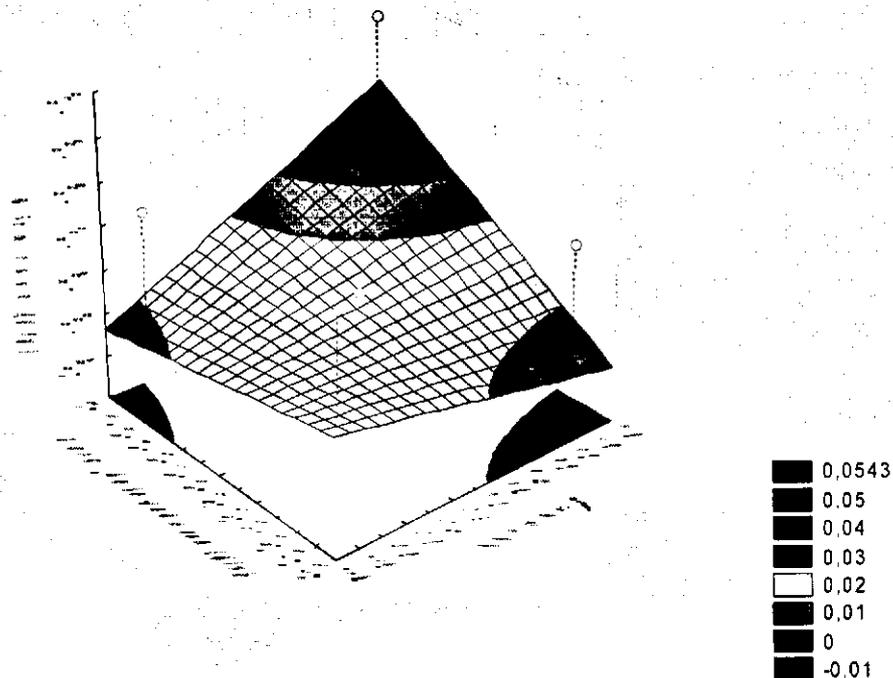


Figura 4.7 – Superfície de resposta: variação do rendimento da biomassa em função das concentrações de sólidos solúveis totais e de leveduras

Verifica-se que o aumento da concentração de leveduras e do substrato no meio aumenta o rendimento em biomassa.

Comparando-se a produtividade e o rendimento obtidos para os dois microrganismos empregados, verifica-se maior $P = 5,047 \text{ g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ para o ensaio 4 com levedura comercial e $P = 2,11 \text{ g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ no ensaio 5 aplicando-se a levedura ALG3. Os valores de produtividade usando-se a levedura comercial foram significativamente superiores aos obtidos para a levedura ALG3 e são próximos aos $P = 6,0 \text{ g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ encontrados por SILVA et al. (2008) e LOPES (2005) em seu estudo sobre otimização do fermentado do figo-da-índia, e foram superiores aos $1,75 \text{ g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ observados por ALMEIDA et al. (2006) no fermentado do mandacaru e $1,53 \text{ g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$ encontrado por ROCHA (2008) trabalhando com aguardente a partir do figo-da-índia. Conclui-se, portanto, que os rendimentos máximos obtidos para ambos os processos correspondem ao ensaio número 6 (Tabela 4.8), com um rendimento teórico máximo de 0,442 e conversão em etanol de 86,6% quando se utiliza a levedura comercial; para o rendimento teórico encontrou-se 0,329 convertido em etanol 64,5% quando se utiliza a levedura ALG3. OLIVEIRA (2006) estudou a produção de fermentados a partir de cupuaçu e graviola e obteve valores de 0,36 e 0,48 para o rendimento teórico (Y_p/s).

Observa-se, através do experimento da Tabela 4.8 que para levedura comercial, no nível (-1), relativo às concentrações 15 (°brix) e 10 (g/L) do ensaio 1, as variáveis de respostas Produtividade, rendimento teórico e percentual de conversão, apresentaram os menores valores: $3,33 \text{ (g.L}^{-1}.\text{h}^{-1})$, 0,28 e 55,17%, enquanto os maiores valores encontrados foram $5,05 \text{ (g.L}^{-1}.\text{h}^{-1})$ para produtividade, de 0,44 para o rendimento teórico e 86,59% para conversão, quando se aumentaram as concentrações do substrato e de levedura no ponto central.

Nota-se na Tabela 4.8, o menor rendimento em biomassa quando a concentração de leveduras passa do nível (+1) para (-1); o maior valor foi 0,052 no ponto central, relativo ao sétimo ensaio. Comparando-se o primeiro ensaio com o quarto, conclui-se que o aumento das concentrações de sólidos solúveis e de leveduras nas variáveis de entrada influenciou positivamente na produtividade, no percentual de rendimento teórico e no percentual de conversão quando se usa a levedura comercial.

De acordo com a análise das respostas apresentadas na matriz de planejamento para o fermento comercial, conclui-se haver aumento no desempenho do processo fermentativo quando os níveis codificados das variáveis independentes passam de (-1) para (+1); entretanto, o melhor rendimento na transformação de substrato em produtos foi encontrado no ponto central. Para a linhagem ALG3 pode-se observar, através do experimento da Tabela 4.9, que o maior valor encontrado para a produtividade foi de 2,105 ($\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) no ponto central relativo ao quinto ensaio, para um percentual de 18% em SST; percebe-se, portanto, que para este caso a fermentação ocorreu mais lentamente e a produtividade foi menor; no terceiro ensaio o rendimento foi o mais elevado e a concentração do substrato não influenciou positivamente o resultado porém, apesar do bom rendimento apresentado, observa-se uma menor produtividade média 1,73 ($\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) quando da utilização da levedura ALG3 fora do ponto central porém a menor produtividade encontrada foi para o nível +1 quando foram maximizadas as concentrações de substrato e leveduras, cujo valor obtido foi de 1,516 ($\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$). Conclui-se, enfim, que se maximizando as variáveis de entrada não influencia positivamente a produtividade, o rendimento teórico nem o percentual de conversão, mas apenas a biomassa. Constata-se, de acordo com os resultados do planejamento experimental, que para maximizar o processo fermentativo de algaroba a concentração de substrato (SST) deve ser fixada em 18°Brix.

A influência da concentração de leveduras no processo é maior quando passa do nível (-1) para o nível (+1), demonstrando que, ao se aumentar a concentração celular no meio a fermentar, maximizam-se a produtividade 5,019 ($\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$), o rendimento teórico 0,442 e o percentual de conversão 86,585 com a levedura comercial, fenômeno este também observado para a levedura da algaroba

Em trabalho anterior, ROCHA (2008) utilizou a levedura selecionada a partir do caldo de algaroba na fermentação alcoólica do figo-da-índia e constatou uma eficiência de 90,4%; para a autora, a levedura de algaroba apresentou maior produtividade, isto é, 1,48 ($\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$), bem acima de 1,19 ($\text{g.L}^{-1}.\text{h}^{-1}$) obtido com a levedura comercial; ela obteve rendimento teórico médio (Y_p/s) de 0,462, superior aos 0,329 observados neste estudo; comparando-se os parâmetros cinéticos da fermentação alcoólica nos dois estudos, verifica-se que a levedura selecionada apresenta melhor eficiência de processo; em relação às respostas produtividade, rendimento teórico, biomassa e percentual de conversão na Tabela 4.9, constatou-se que o

fermento comercial apresentou melhores resultados em relação à levedura selecionada no caldo de algaroba ALG3; este efeito foi confirmado na análise estatística para um ajuste quadrático 90% de confiança no qual o modelo foi significativo.

É provável que problemas durante o transporte e conservação da cultura inicial tenham favorecido a perda de viabilidade e influenciado valores menores de produtividade $2,105 \text{ (g.L}^{-1} \cdot \text{h}^{-1})$, rendimento teórico médio 0,291 e percentual de conversão de 64,448%, para ALG3.

4.4. Destilação

Os fermentados resultantes dos sete reatores provenientes da fermentação alcoólica do caldo da algaroba, foram submetidos a uma monodestilação completa; durante este processo não se realizou a separação das frações cabeça, coração e cauda; a destilação foi encerrada quando o teor alcoólico na saída do alambique atingiu entre 10 a 20°GL obtendo assim, o maior volume de flegma possível.

4.4.1 Bidestilação

Na Tabela 4.14 o flegma resultante da primeira destilação foi diluído para um teor alcoólico de 10 °GL material este padronizado e o volume total resultante da dupla destilação da mistura hidroalcoólica foi submetido a um balanço mássico, para separação das frações cabeça, coração e cauda.

Tabela 4.14 – Resultados da bidestilação do flegma de algaroba com fermento comercial

Destilado	Volume(L)	Teor alcoólico (°GL)	Temperatura (°C)
Flegma	8,480	29	24
Mistura hidroalcoólica	17,980	10	24
Bidestilado	4,88	42	25

A Tabela 4.15 apresenta os resultados do balanço de massa realizado durante a bidestilação para as frações cabeça, coração e cauda, do destilado obtido.

Tabela 4.15 – Resultados obtidos para o coração, cabeça e cauda com fermento comercial

Fração bidestilada	Volume (L)	Teor alcoólico (°GL)	Temperatura (°C)
Cabeça	0,428	61	25
Coração	4,024	42	25
Cauda	0,428	20	25

Lê-se, na Tabela 4.15, que uma fração de 80% do volume total extraído representa a fração denominada coração ou aguardente propriamente dita; este total equivale a 4,024 litros, com teor alcoólico de 42°GL a 25°C, enquanto na Tabela 4.16 o flegma obtido da fermentação com a levedura ALG3, resultante da primeira destilação foi diluído para um teor alcoólico de 15 °GL, foi padronizado e o volume total resultante da dupla destilação da mistura hidroalcoólica foi submetido a um balanço mássico para separação das frações cabeça, coração e cauda.

Tabela 4.16 – Resultados obtidos durante a bidestilação do flegma de algaroba

Destilado	Volume (mL)	Teor alcoólico (°GL)	Temperatura (°C)
Flegma	9000	30	24,0
Mistura hidroalcoólica	16500	15	24,0
Bidestilado	5900	45	24,0

A Tabela 4.17 mostra os resultados do balanço de massa realizado durante a bidestilação para determinar as frações cabeça, coração e cauda do destilado obtido de algaroba produzida com a levedura ALG3.

Tabela 4.17 – Resultados obtidos para coração, cabeça e cauda com a levedura ALG3

Fração bidestilada	Volume (mL)	Teor alcoólico (°GL)	Temperatura (°C)
Cabeça	590	67	23,8
Coração	4720	42	25,0
Cauda	590	10	23,8

Na Tabela 4.17 se encontram os volumes totais obtidos, a temperatura e os respectivos teores alcoólicos das frações retiradas durante a dupla destilação da aguardente de algaroba produzida com a levedura selecionada no caldo de algaroba.

4.4.2. Estudo cinético da bidestilação

A Figura 4.8 apresenta o perfil do teor alcoólico e da temperatura com o tempo do processo de bidestilação do flegma obtido com fermento comercial. As planilhas com os dados se encontram nas Tabelas B20 e B21 do Apêndice B.

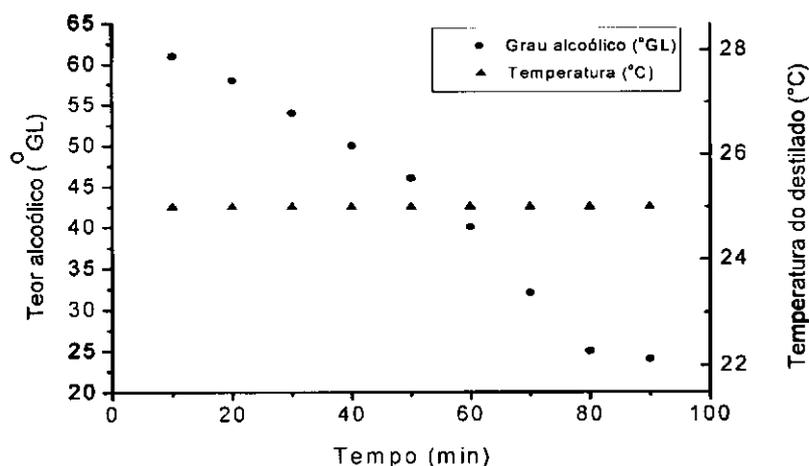


Figura 4.8 – Perfil do teor alcoólico e temperatura com o tempo do processo de bidestilação do flegma de algaroba para a levedura comercial

Na Figura 4.8 se observa que a diminuição do grau alcoólico é função do tempo de destilação e que, inicialmente, o destilado é obtido com elevado teor alcoólico 61°GL e pouca água; a partir dos 80 minutos de destilação o teor alcoólico se estabilizou em 25°GL e foi interrompido o processo. Observa-se, na Figura, que com o decorrer do tempo de destilação se deu um decréscimo do teor alcoólico no destilado em função do componente mais volátil, o etanol, ser vaporizado mais facilmente no início, mas durante o processo a temperatura do destilado permaneceu constante; já a Figura 4.9 apresenta o comportamento do teor alcoólico e da temperatura em cada aliquota retirada durante o processo de bidestilação do flegma obtido com fermento ALG3.

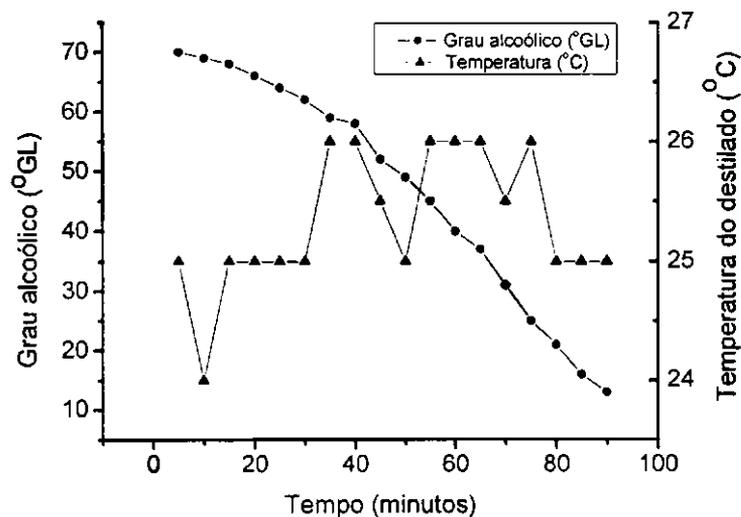


Figura 4.9 – Perfil do teor e temperatura com o tempo do processo de bidestilação do flegma de algaroba para a levedura ALG3

É possível observar, na análise do gráfico da Figura 4.9, o decaimento da graduação alcoólica no destilado a partir de 70°GL até atingir a estabilização com 10°GL; a partir daí, a destilação foi encerrada e nos dois processos a temperatura do destilado se manteve próximo a 25°C, com pequenas oscilações, o que representa o bom ajuste da vazão da água de resfriamento, do fluxo de gás no queimador provocando a estabilização da temperatura do

destilado na saída do condensador diminuindo, conseqüentemente, as perdas por evaporação, turvação e retirando destilados mais concentrados.

4.4.3 Rendimento Industrial

Tem-se, na Tabela 4.18, os percentuais de rendimento da extração, fermentação e destilação que compõem o rendimento industrial do processo para obtenção da aguardente de algaroba usando-se a levedura comercial.

Tabela 4.18 – Rendimento industrial do processo de produção de aguardente de algaroba bidestilada

Aguardente bidestilada		
Rendimentos	Comercial	ALG3
%Re	79,05	79,05
%Rf	86,585	64,448
%Rd	82,50	80,00
%Ri	56,40	40,80

Re = Rendimento da extração - Rf = Rendimento da fermentação - Rd = Rendimento da destilação - Ri = Rendimento industrial

A Tabela 4.18 expressa os resultados do processo para as duas leveduras testadas , verificando-se um rendimento de 56% para linhagem de levedura comercial e de 40,80% para a levedura ALG3. Mais uma vez, a levedura ALG3 apresentou resultados em relação à levedura comercial, menores, em função do que foi discutido anteriormente, ou seja, a baixa viabilidade apresentada pelo material utilizado no processo.

SILVA (2002) trabalhou com vagens da algarobeira visando à produção de aguardente e obteve rendimento industrial médio de 46,2%, SILVA (2009), obteve um aumento de 9,8% em relação ao rendimento de SILVA (2002).

4.4.4 Componentes voláteis

A Tabela 4.19 apresenta os resultados das análises físico-químicas comparativas realizadas entre as aguardentes de algaroba provenientes da dupla destilação, obtidas a partir das leveduras comerciais e selecionadas no caldo da algaroba (ALG3) e que foram submetidas às análises físico-químicas.

Tabela 4.19 - Avaliação dos resultados das análises dos componentes voláteis na aguardente de algaroba em relação às normas estabelecidas pela legislação para aguardentes

Componentes	Coração (mg/100 mL)		(mg/100 mL)
	Comercial	ALG3	
Acetaldeído	1,631	4,647	Máximo 30
Acetona	0,665	2,527	
Acetato de etila	2,975	4,074	Máximo 200
Metanol	43,046	54,229	**Máximo 700
N propanol*	38,311	37,705	
Isobutanol*	119,387	237,583	
N butanol*	0,522	1,386	***Máximo 3
Isoamílico*	144,202	245,467	
Álcoois superiores (*)	302,422	522,096	***Máximo 360
Ésteres	2,975	4,074	
Acidez volátil	110,000	178,000	Ac. Vol. Máx 150
% etanol (v/v)	46,960	45,96	34 – 54 °GL
Coef. congêneres *****	350,739	587,618	Mín.200 – Max 650
Cobre (mg/L)	0,043	-	5 mg/L
Chumbo (mg/L)	0,001	-	-
Cádmio (mg/L)	0,003	-	-

** DECRETO nº 2.314, DE 4 DE SETEMBRO DE 1997. Art 88. § 4º No destilado alcoólico simples de origem agrícola, o teor de furfural não deverá ser superior a cinco

miligramas; o álcool metílico não deverá ser superior a duzentos miligramas, com exceção do proveniente de mosto com polpa de frutas fermentadas ou bagaço de uva cujo limite máximo será setecentos miligramas, sendo todos considerados por cem mililitros do destilado, expressos em álcool anidro.

*****Instrução Normativa nº 13, de 29 de junho de 2005**, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

******** Art 85. Os coeficientes de congêneres dos destilados, bebidas destiladas e retificadas não previstos neste Regulamento, quando necessário serão estabelecidos em ato administrativo complementar.

Parágrafo único. **DECRETO nº 2.314, DE 4 DE SETEMBRO DE 1997**. Art. 85. **Parágrafo único**. Entende-se como coeficiente de congêneres, ou componentes voláteis não-álcool, ou substâncias voláteis não-álcool, ou componentes secundários não-álcool, ou impurezas.

Percebe-se, na Tabela 4.19, que o fermento comercial apresentou resultados mais baixos para a maioria dos componentes investigados e que a levedura ALG3, apesar de promover um processo fermentativo mais lento e com baixa produtividade em relação à levedura comercial, manteve os seus componentes voláteis dentro dos padrões legais.

Segundo TORRES NETO (2005) os aldeídos podem ser formados durante os processos fermentativos a partir de aminoácidos presentes no meio, pela oxidação do álcool metílico. Observando-se, porém, os resultados da tabela, verifica-se que os níveis de aldeídos expressos em acetaldeídos, foram de 1,631 e 4,647 mg/100 mL, bem inferiores aos encontrados por ROCHA (2008) de 19,55 mg/mL e os 9,189 mg/mL encontrados por SILVA (2002).

Pode-se observar que os certos componentes, tais como ésteres, expressos em acetato de etila, alcoóis superiores e metanol, atendem aos níveis especificados pela legislação, tanto para a aguardente produzida com o fermento comercial como para a produzida com a ALG3, segundo BRASIL (2005). O baixo teor de metanol no produto final reflete o baixo teor de

pectina das vagens, tendo em vista ser a pectina um precursor da formação do álcool metílico nos produtos fermento destilados derivados de frutas.

Para os teores de acidez volátil da aguardente de algaroba apresentados na Tabela 4.19, apenas o valor médio de 110 mg/100mL da levedura comercial atende ao limite máximo de 150 mg/100mL estabelecido pela legislação, e Enquanto os 178 mg/mL apresentados pela levedura selecionada não atendem a este limite.

Nas amostras de aguardente os álcoois superiores para as leveduras do tipo comercial e selecionadas no caldo de algaroba percebe-se, pelos resultados da Tabela 4.19, que os valores de 302,422 mg/100mL e 522,096 mg/100 mL para os álcoois superiores apresentam comportamento diferente, verificando-se, para a aguardente obtida da fermentação que com a levedura comercial, o somatório do componente álcoois superiores está abaixo do limite especificado, enquanto a aguardente obtida da fermentação com a levedura ALG3 está acima do máximo permitido pela legislação.

As análises de metais realizadas na aguardente de algaroba fermentada com o fermento comercial, apresentaram valores de 0,043 mg/L para o teor de cobre, bem abaixo do limite máximo de 5 mg/L estabelecido pela legislação, o que pode ser atribuído ao tratamento de limpeza do alambique, antes da destilação com uma solução ácida a base de limão. No processo de bidestilação ocorreu redução de 0,055 para 0,043 mg/L na concentração de cobre, visto ser o cobre um metal pesado, indesejável na aguardente em função dos sérios problemas de saúde que causa ao consumidor.

AZEVEDO et al. (2003) analisaram 45 amostras de aguardente, em vários municípios de Minas Gerais e constataram que 6,7% das amostras analisadas estavam contaminadas por cobre e que os alambiques investigados apresentavam má higienização; a amostra também apresentou traços de chumbo e cádmio, ou seja, 0,001 e 0,003 mg/L, respectivamente.

A acidez volátil de 110 mg/100 mL encontrada na aguardente bidestilada a partir do fermento comercial esta associada, provavelmente, a menor tempo de fermentação, enquanto para a aguardente, em que se utilizou o fermento ALG3, o valor de 178 mg/100mL está acima

dos 150 mg/100mL exigidos pela legislação, resultados esses compatíveis com ROCHA (2008) 30 mg/100mL.

4.5. Análise sensorial

Os resultados da análise sensorial das aguardentes produzidas com as leveduras comerciais e ALG3 estão na Tabela 4.20, na qual também se encontram os valores atribuídos pelos provadores não treinados correspondendo a uma escala hedônica com nove denominações, que vão do gostei muitíssimo até ao desgostei muitíssimo.

Tabela 4.20 – Valores atribuídos às aguardentes produzidas com as leveduras comercial e selecionada no caldo da algaroba (ALG3)

Escala hedônica	Aguardente (Comercial)		Aguardente (ALG3)	
	sabor	aroma	sabor	aroma
9. Gostei muitíssimo	4	5	3	5
8. Gostei muito	11	11	9	8
7. Gostei moderadamente	7	12	12	7
6. Gostei ligeiramente	12	3	3	11
5. Não gostei nem desgostei	3	9	6	6
4. Desgostei ligeiramente	2	1	3	1
3. Desgostei moderadamente	1	0	4	0
2. Desgostei muito	1	0	1	0
1. Desgostei muitíssimo	0	0	0	0

A Figura 4.10 apresenta os perfis sensoriais para os atributos sabor e aroma percebidos pelos provadores não treinados para a aguardente de algaroba produzida com levedura comercial.

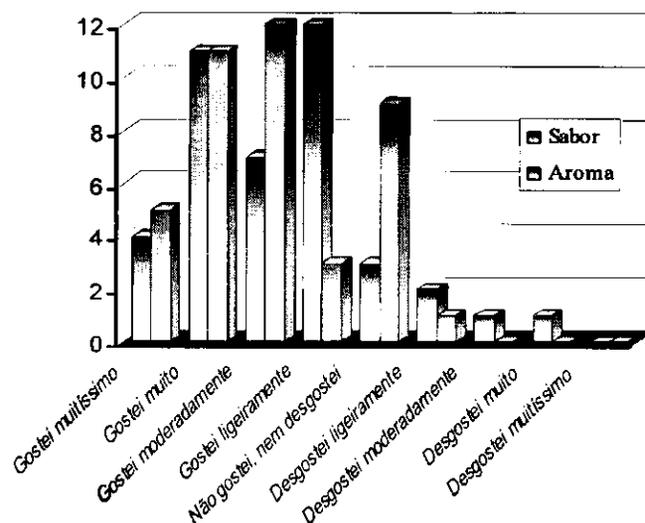


Figura 4.10 – Número de provedores e respectivos níveis de aceitabilidade percebidos pelos provedores não treinados para os atributos sabor e aroma, para a aguardente de algaroba produzida com levedura comercial

Observa-se, na Figura 4.10, que apenas 5% dos provedores desgostaram da aguardente de algaroba enquanto 30% gostaram moderadamente do aroma e ligeiramente do sabor da aguardente produzida com levedura comercial e na Figura 4.11 se apresenta o perfil sensorial para os atributos sabor e aroma percebidos pelos provedores não treinados para a aguardente de algaroba produzida com levedura seleccionada no caldo da algaroba (ALG3).

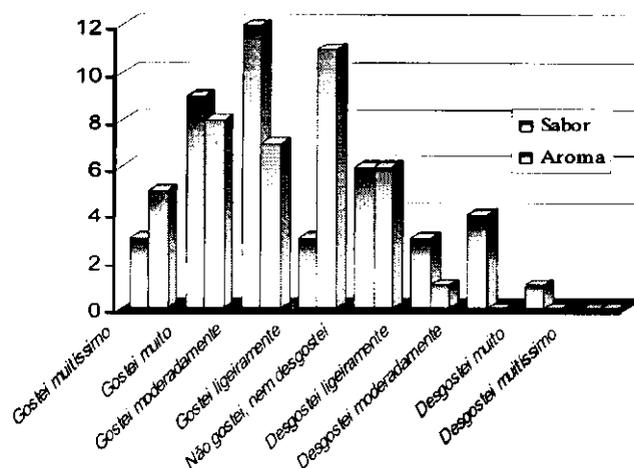


Figura 4.11 – Número de provadores e respectivos níveis de aceitabilidade percebidos pelos provadores não treinados para os atributos sabor e aroma para a aguardente de algaroba produzida com a levedura selecionada no caldo de algaroba

No gráfico da Figura 4.11 percebe-se que apenas 3,8% dos provadores desgostaram da aguardente de algaroba, enquanto 30% gostaram moderadamente do sabor e 27,5% gostaram ligeiramente do aroma da aguardente produzida com a levedura selecionada no caldo da algaroba, o que induz a se acreditar que as duas aguardentes obtiveram um nível de aceitabilidade médio de 28,75%, para os atributos sabor e aroma; já nas Tabelas 4.21 e 4.22 se encontram a análise de variância e a comparação para as médias para a análise sensorial do sabor da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e com a levedura selecionada no caldo da algaroba.

Tabela 4.21 - Análise de variância para o sabor da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e da aguardente com a levedura ALG3

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Tratamentos	1	4,51	4,51	1,47 ns
Resíduos	78	238,88	3,06	
Total	79	243,39		

Tabela 4.22 - Comparação entre a média do sabor da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e a da aguardente com a levedura ALG3

Tratamentos	Aroma
Aguardente com levedura comercial	6,65 a
Aguardente com a levedura ALG3	6,18 a
DMS	0,78

Na comparação entre as médias verifica-se que, estatisticamente, não existe diferença significativa entre o sabor da aguardente produzida a partir da levedura comercial e a aguardente produzida com a levedura selecionada no caldo da algaroba.

Nas Tabelas 4.23 e 4.24 se encontram a análise de variância e a comparação para as médias para a análise sensorial do aroma da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e com a levedura selecionada no caldo da algaroba.

Tabela 4.23 - Análise de variância para o aroma da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e da aguardente com a levedura ALG3

Fonte de Variação	Grau de Liberdade	Soma dos Quadrados	Quadrado Médio	F
Tratamentos	1	0,80	0,80	0,43
Resíduos	78	145,95	1,87	
Total	79	146,75		

Tabela 4.24 - Comparação entre média do aroma da aguardente de algaroba produzida com a levedura comercial e da aguardente com a levedura ALG3

Tratamentos	Aroma
Aguardente com levedura comercial	6,97 a
Aguardente com a levedura ALG3	6,77 a
DMS	0,61

Analisando-se os resultados das Tabelas 4.23 e 4.24 percebe-se que, para o aroma, também não houve diferença significativa a um nível de 5% de probabilidade.

4.6. O resíduo

A fração sólida (resíduo) obtida durante o processo de extração dos açúcares, apresentou um teor de água médio de 40% e foi mantido sob refrigeração em sacos de polietileno de baixa densidade hermeticamente fechados, até o momento da secagem.

4.6.1 Secagem do resíduo de algaroba

Obtiveram-se, no condicionamento do ar de secagem, as temperaturas de bulbo seco, T_s , de 50, 60, 70 e 80°C; a velocidade do ar ficou em torno de 1 m/s em todos os ensaios; tem-se, com os dados obtidos das pesagens em função do tempo e se utilizando uma balança semianalítica, e o software Statistic 7.0, as curvas da cinética de secagem para as diferentes temperaturas; enfim se chegou, através da determinação da massa seca das amostras, aos percentuais de umidade inicial e final, para 50, 60, 70 e 80 °C.

Em todos os ensaios a perda de umidade foi maior no início da secagem cuja estabilização, a temperatura de 50°C, foi observada no período de tempo maior e, para a temperatura mais alta, 70 e 80°C, em tempos menores, indicando que a temperatura é a variável de maior influência no processo, conforme descrito por ALMEIDA et al. (2006), PRADO et al. (2000) em processos de secagem de acerola, tâmaras e algaroba, respectivamente.

O teor de água foi reduzido de 42,5 para 4,85% em base úmida, para a temperatura do ar de 50°C e uma umidade relativa média de 19,90%. Para a temperatura de 60°C a umidade relativa média foi de 11,10%, para a temperatura de 70°C, ela foi de 8,10% e, para a temperatura de 80°C, a umidade relativa média do ar de secagem variou de $4,70 \pm 0,5\%$, com períodos de tempo de 360, 360, 240 e 120 minutos, respectivamente.

O comportamento da cinética de secagem da fração sólida em função do tempo, pode ser observado nas Figuras 4.12, 4.13 e 4.14, nas quais estão representadas as curvas de secagem ajustadas pelos modelos de Cavalcanti Mata, Page e Thompson. Observa-se, analisando-se essas figuras que, com o aumento da temperatura, houve diminuição no tempo de secagem, para todas as temperaturas estudadas. CARLESSO et al. (2005) verificaram ao estudar a cinética de secagem da semente de maracujá nas temperaturas de 30, 37 e 40°C, BATISTA & SILVA (2007), e os aspectos tecnológicos da farinha integral de algaroba, este mesmo comportamento; entretanto se verifica, através das curvas de secagem, que, para um mesmo tempo quanto maior for a temperatura do ar maior também é a taxa de secagem e a perda de umidade é mais rápida no início do processo, estabilizando-o em período superior a 60 minutos.

4.6.1.1 Curvas de secagem

Na modelagem matemática foram aplicados os modelos de Cavalcanti Mata, Page e Thompson, em que o melhor ajuste aos dados experimentais, em todas as curvas de secagem obtidas, foi obtido para o modelo de Cavalcanti Mata, que apresentou coeficiente de determinação R^2 , de 0,9998 para a curva de 50°C, 0,9980 para a curva de 60°C e 0,9997 para as curvas de 70°C e 80°C, como mostram os gráficos das Figuras 4.12, 4.13 e 4.14, a seguir; as planilhas com os resultados encontrados durante as secagens do resíduo prensado de algaroba se encontram nas Tabelas B22 a B25, do Anexo B.

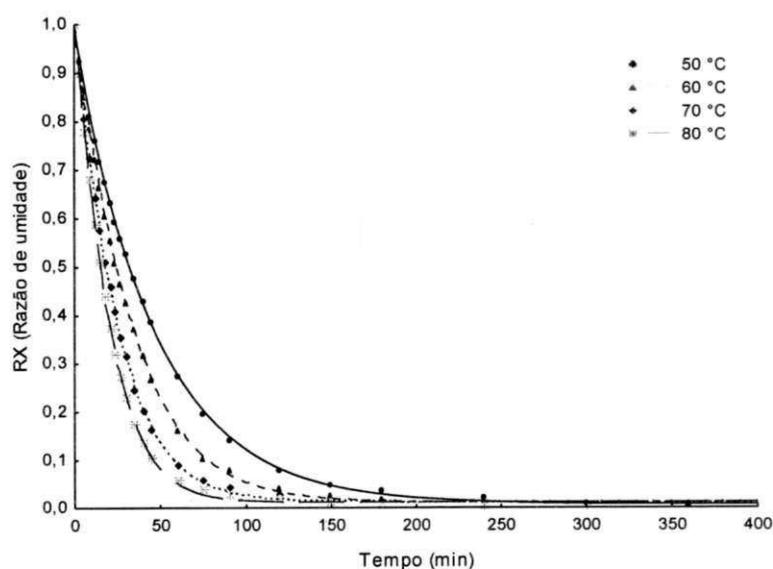


Figura 4.12. Cinética de secagem do RPA ajustado pelo modelo de Cavalcanti Mata

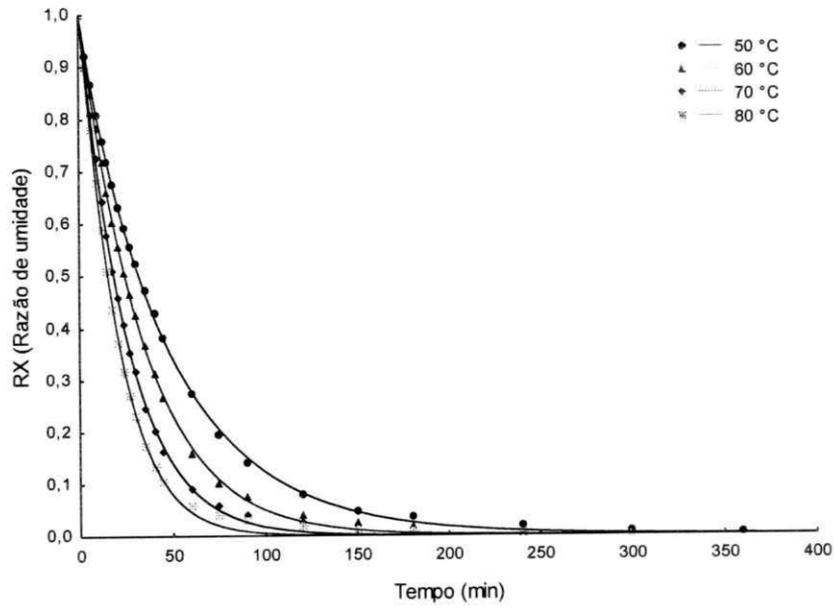


Figura 4.13 - Cinética de secagem do RPA ajustado pelo modelo de Page

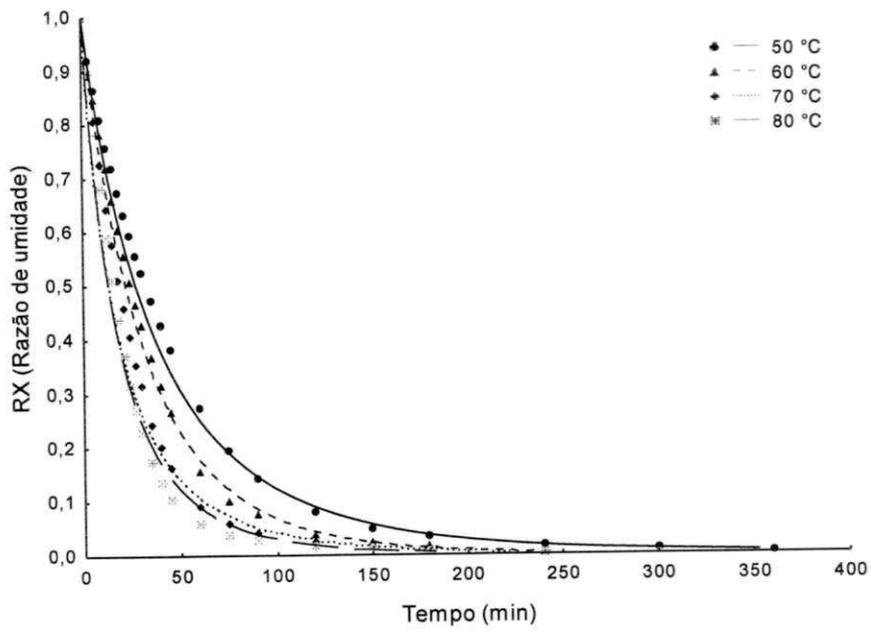


Figura 4.14 - Cinética de secagem do RPA ajustado pelo modelo de Thompson

4.6.1.2 Parâmetros e coeficientes de ajuste dos modelos

Os parâmetros e os coeficientes de determinação dos modelos estudados para os fragmentos do resíduo de algaroba prensados e secados a temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C, se encontram na Tabela 4.25. Efetuaram-se os ajustes das curvas, usando-se modelos com dois parâmetros (T e k) e seis coeficientes (a_1 , a_2 , a_3 , a_4 , a_5 e b) Cavalcanti Mata, com três parâmetros (T, n e k) Page e com apenas um parâmetro (T) e dois coeficientes (a_1 e a_2) Thompson.

De forma geral, os modelos de Cavalcanti Mata e Page descrevem com grande precisão o ajuste da curva de secagem e apresentam o melhor coeficiente de determinação entre os modelos testados no processo.

Tabela 4.25 – Parâmetros de ajustes e coeficientes de determinação (R^2) dos modelos matemáticos estudados

Modelo matemático	Parâmetro							R^2
	T	K						
	T	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	b	R^2
Cavalcanti-Mata	50	0,011	0,990	0,975	0,990	0,007	0,0225	0.9998
	60	0,493	1,065	0,493	1,065	0,012	0,023	0.9980
	70	0,490	1,083	0,490	1,083	0,014	0,0299	0.9997
	80	0,495	1,114	0,495	1,114	0,013	0,034	0.9997
	T	n		k			R^2	
Page	50		0,966		0,024			0.9997
	60		1,039		0,025			0.9996
	70		1,048		0,033			0.9993
	80		1,094		0,035			0.9992
	T	a_1		a_2			R^2	
Thompson	50		-35,284		5,925			0.9978
	60		-29,922		2,722			0.9951
	70		-15,596		4,979			0.9938
	80		-16,543		3,413			0.9781

A fim de se encontrar as equações de ajuste para as curvas de secagem para o resíduo prensado de algaroba, os modelos matemáticos de Cavalcanti Mata, Page e Thompson foram testados no ajuste aos dados experimentais da cinética de secagem. As equações podem ser usadas como modelo de ajuste das curvas de secagem que apresentarem valores de R^2 superiores a 99,8%.

Na Tabela 4.25 se encontram os valores dos parâmetros e se verifica que os modelos citados apresentaram valores de R^2 superiores a 99,8%; desta forma, todas as equações podem ser usadas como modelo de ajuste das curvas de secagem da algaroba com cápsula. Observa-se, na Tabela 4.25, que os modelos de Cavalcanti Mata e Page representam melhor este processo de secagem em virtude de apresentarem o coeficiente de determinação igual ou superior a 99,8, nas diversas temperaturas de experimentos.

Nas Figuras 4.15, 4.16 e 4.17 se encontram a distribuição dos resíduos dos modelos usados para descrever o processo de secagem do resíduo de algaroba, nas temperaturas de 50, 60, 70 e 80°C, a partir das diferenças entre os valores experimentais e os valores calculados.

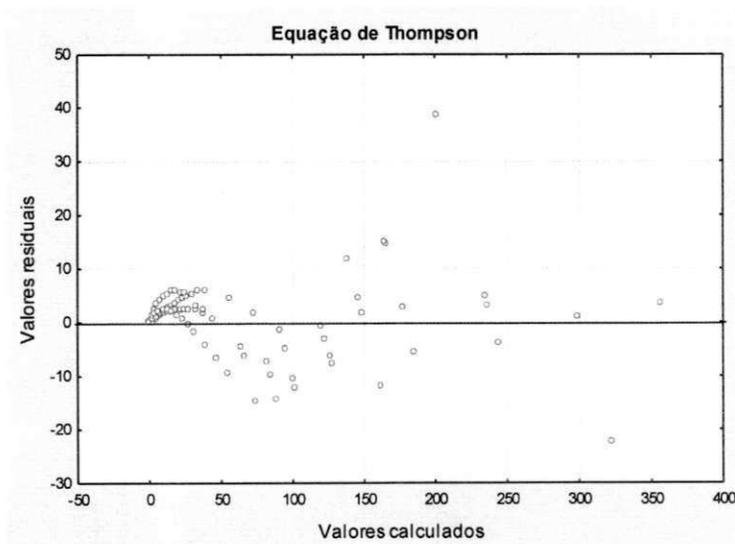


Figura 4.15 - Distribuição dos resíduos com o modelo de Thompson

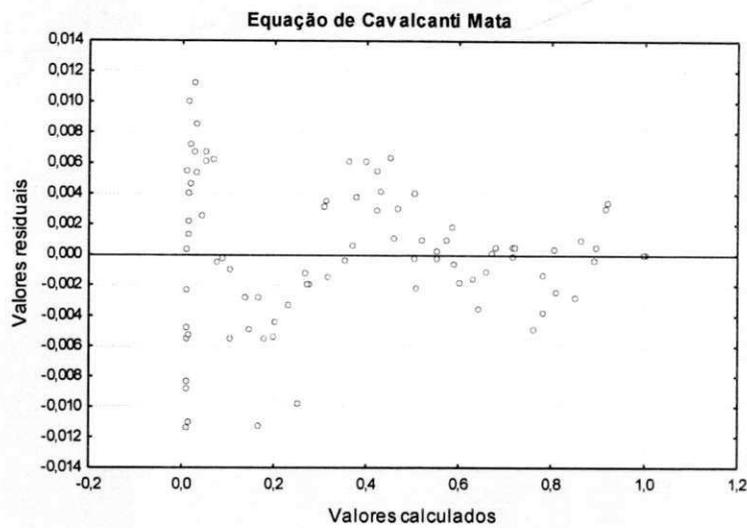


Figura 4.16 - Distribuição dos resíduos usando o modelo de Cavalcanti Mata

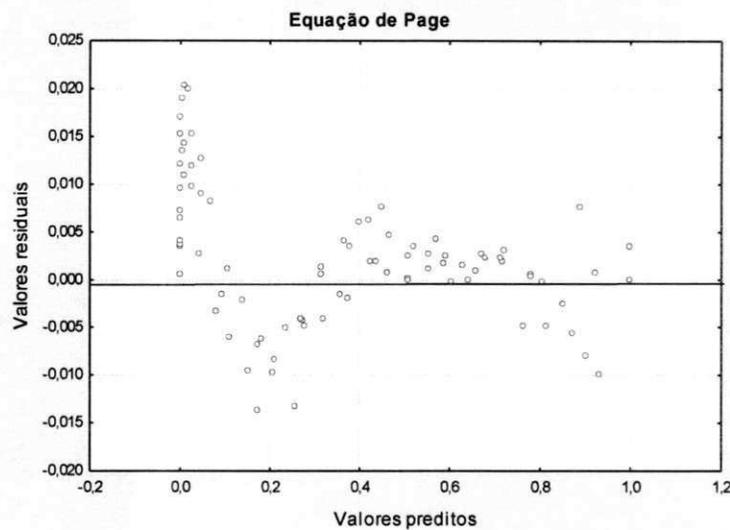


Figura 4.17 - Distribuição dos resíduos através do modelo de Page

Constata-se, nas Figuras 4.15 e 4.16, que os modelos de Cavalcanti Mata e Page apresentaram uma distribuição de aleatoriedade mais tendenciosa em relação ao modelo de Thompson; verifica-se, porém, que entre esses três modelos o que melhor representa a secagem é o de Page, devido ao seu maior coeficiente de determinação (99,9) em relação aos

Tabela 4.34 – Valores atribuídos ao pão de forma processado com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 5, 10 e 15%

Escala hedônica	Pão de forma (5%)		Pão de forma (10%)		Pão de forma (15%)	
	sabor	aroma	sabor	aroma	sabor	aroma
	9. Gostei muitíssimo	4	2	7	7	2
8. Gostei muito	10	19	7	14	4	4
7. Gostei moderadamente	17	17	19	15	8	17
6. Gostei ligeiramente	17	7	8	9	10	8
5. Não gostei, nem desgostei	5	6	10	4	13	12
4. Desgostei ligeiramente	2	2	3	4	10	6
3. Desgostei moderadamente	4	5	2	4	4	6
2. Desgostei muito	0	1	2	1	6	4
2. Desgostei muitíssimo	0	0	1	1	2	1

As Figuras 4.24, 4.25 e 4.26 apresentam os perfis sensoriais para os atributos sabor e aroma, percebidos pelos provadores não treinados para o pão de forma enriquecido com 5, 10 e 15% da farinha do resíduo de algaroba.

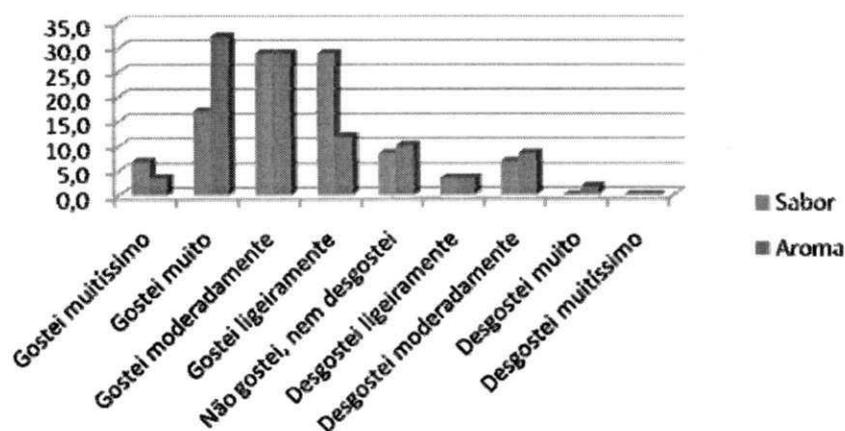


Figura 4.24 – Perfil dos valores atribuídos ao pão de forma processado com concentrações de farinha de resíduo de algaroba de 5%

modelos de Cavalcanti Mata e Thompson, nas diversas temperaturas testadas, concluindo-se que representa satisfatoriamente os dados experimentais e, conseqüentemente, o fenômeno.

4.6.2. Moagem

A quebra de partículas sólidas em partículas menores é uma operação industrial importante. O processo de moagem apresentou rendimentos percentuais médios de 99,42% em cada operação de moagem no moinho de facas; a média de perdas foi de 0,96%, ou seja, inferior a 1%; as planilhas com os resultados encontrados durante a moagem do resíduo prensado de algaroba se encontram nas Tabelas B26 a B28, do Anexo B.

A Figura 4.18 representa os percentuais de rendimentos obtidos durante a operação de fragmentação por moagem em moinhos de facas, (cortes) para reduzir o tamanho das partículas antes de serem submetidas a operação de peneiramento do resíduo secado a 50, 60, e 70°C e o tempo de moagem gasto para cada material moído.

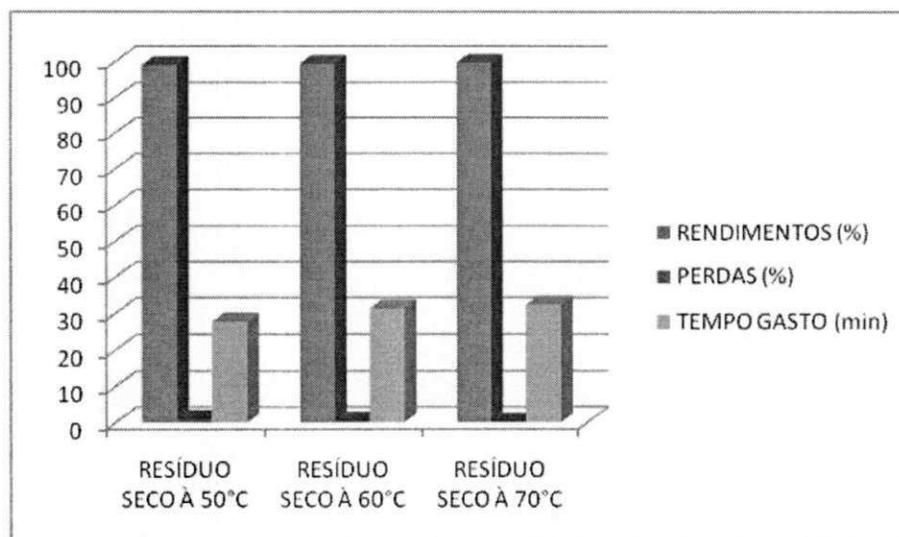


Figura 4.18 - Representação gráfica dos percentuais de rendimento na moagem

De acordo com a Figura 4.18, o processo de fragmentação em moinho de facas apresentou percentuais médios de rendimentos superiores a 99% com perdas insignificantes

abaixo de 1%. O melhor rendimento observado foi de 99,74% para resíduo secado a temperatura de 70°C e o menor foi de 99,04% para o material secado a 50°C. Por outro lado, a moagem do resíduo secado a 60°C, apesar de apresentar rendimento intermediário de 99,47%, tem sido a mais utilizada haja vista que pode minimizar a ocorrência de perdas de nutrientes pela elevação da temperatura e escurecimento por caramelização de açúcares remanescentes, além de modificar o comportamento reológico da farinha obtida.

LIMA et al. (1985) obtiveram farinhas para pão francês e biscoitos a partir das vagens da algarobeira, secando a temperatura de 60°C e submetendo as vagens secas a uma trituração prévia em forrageira seguida da moagem em moinho marca Willy.

BATISTA et al. (2007) produziram farinha para panificação a partir da fragmentação de vagens integrais da algarobeira secadas a 50 e 60°C, em secador convectivo de bandejas e obtiveram rendimentos superiores a 90%. Segundo esses autores, os melhores rendimentos observados foram para o material secado a 50°C.

4.6.3. Peneiramento

Na operação de peneiramento os rendimentos percentuais da análise granulométrica das farinhas secadas a temperaturas de 50, 60 e 70 °C, estão expostos na Tabela 4.26. descartando-se a fração retida por apresentar granulometria acima de 60 mesh.

Tabela 4.26 – Resultados das análises granulométricas das farinhas obtidas para as temperaturas de 50, 60 e 70 °C

Temperatura (°C)	Percentual de aproveitamento em cada peneira da série de Tyler			
	Fração > 60	Malha 60	Malha 80	Malha 100
50	81,71±0,84	6,68±0,10	3,15±0,07	8,47±0,68
60	86,17±1,01	5,49±0,35	2,36±0,33	5,98±0,35
70	81,66±1,73	6,57±0,77	3,12±0,31	8,64±0,65

As malhas que apresentaram maior rendimento e propriedades adequadas ao processamento dos pães, por se aproximarem das farinhas convencionais, foram as de 60 e 100 mesh da série de Tyler, a temperaturas médias de 50 e 70°C, porém os rendimentos médios foram de 6,68 e 8,47 na temperatura de 50°C e de 6,57 e 8,64 para a temperatura de 70°C. Os referidos resultados também foram observados por BATISTA et. al (2007), na secagem e peneiramento de vagens de algaroba para produção de farinha. De acordo com o autor, que usou o moinho de bolas para o fracionamento das vagens secas, os testes com resíduos secados a 60°C, obtiveram melhores rendimentos no peneiramento. GRADOS et al. (2000) recomendaram uma granulometria abaixo de 0,150 mm quando aplicaram a farinha de algaroba.

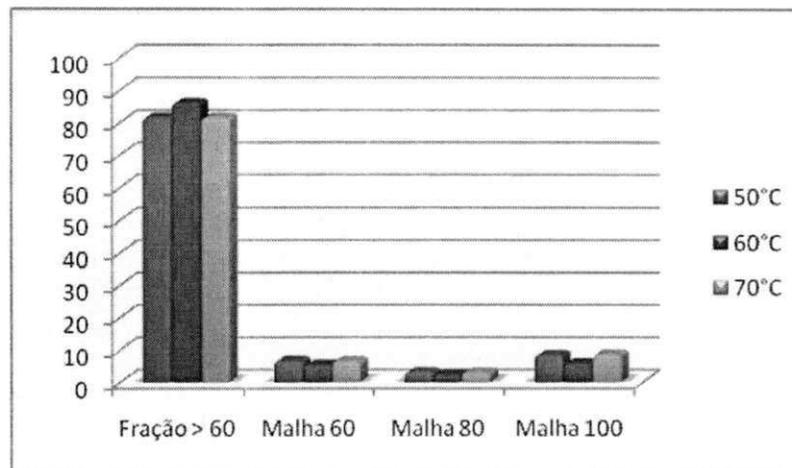


Figura 4.19 - Representação gráfica dos percentuais de aproveitamento nas peneiras Tyler

Nota-se, na Figura 4.19 a diferença entre os percentuais de aproveitamento de cada malha e a quantidade elevada de material retido para granulometria maior que 60 mesh, refletindo o efeito do tipo de moagem a que foi submetido o material. Por outro lado, e se considerando apenas as três especificações granulométricas propostas para obtenção das farinhas objeto deste estudo e se analisando, ainda os resultados do peneiramento, verifica-se um percentual maior para a malha 100 e um rendimento menor para malha 80 mesh.

A Tabela 4.27 se compõe dos resultados da distribuição granulométrica resultantes do peneiramento do resíduo de algaroba secado a 50°C e fragmentado em moinho de facas,

separados pelo sistema de peneiras padronizadas da série de Tyler, com malhas de 60, 80 e 100 mesh, utilizando-se um vibrador marca produtest.

Tabela 4.27 - Distribuição granulométrica da farinha do resíduo de algaroba secada a 50°C

Mesh	dp (mm)	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Retida (g)	Xi	Xi/dpi	%Retido
60	0,250	20,50	35,86	59,80	36,54	0,37	0,002	36,539
80	0,180	9,50	16,82	28,80	17,22	0,17	0,001	17,218
100	0,149	24,00	47,78	77,70	46,24	0,46	0,003	46,243
finos					0,90	1,00	0,006	100,000
		54	100,46	166,30	100,00			dp= 0,181

As Figuras 4.20, 4.21 e 4.22 apresentam os rendimentos percentuais (massa retida em cada peneira) obtidos no peneiramento para as malhas de 0,250, 0,180 e 0,149 mm, quando o material processado foi secado a 50, 60 e 70°C.

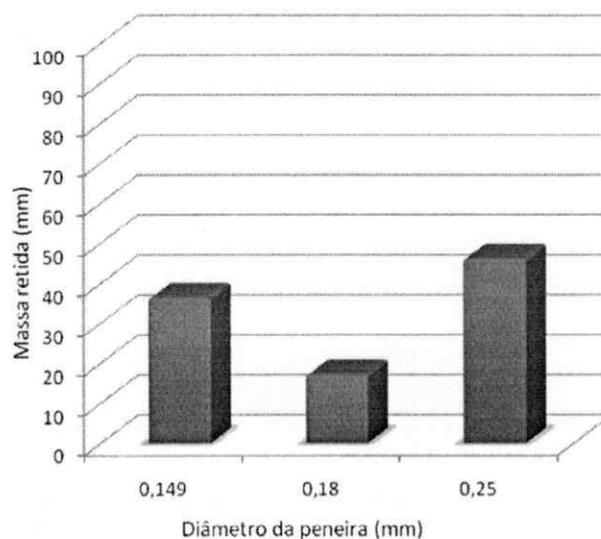


Figura 4.20 - Representação do percentual retido por malha utilizada em (mm)

Na Figura 4.20 o melhor rendimento obtido para o material secado a 50°C foi de 46,24%, referente à malha de 0,250 mm, enquanto a menor quantidade de farinha foi extraída na peneira 0,180 mm, 17,22%.

A Tabela 4.28 se compõe dos resultados da distribuição granulométrica resultantes do peneiramento do resíduo de algaroba secado a 60°C.

Tabela 4.28 - Distribuição granulométrica da farinha do resíduo de algaroba secada a 60°C

Mesh	dp (mm)	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Retida (g)	Xi	Xi/dpi	%Retido
60	0,250	15,40	28,30	40,00	39,71	0,40	0,002	39,71
80	0,180	7,20	11,70	16,30	17,04	0,17	0,001	17,04
100	0,149	16,80	30,20	44,40	43,25	0,43	0,003	43,25
finos					0,90	1,00	0,005	100,0
		39,40	70,20	100,7	100,00			Dp = 0,183

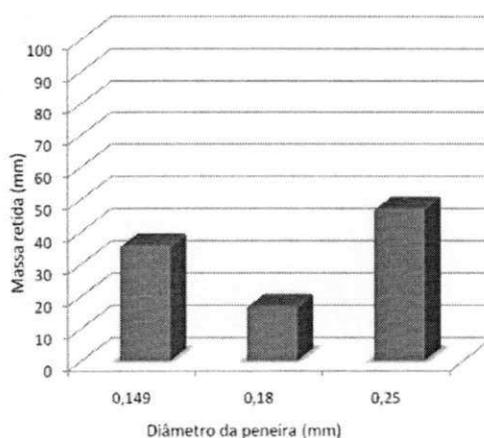


Figura 4.21 - Representação do percentual retido por malha utilizada em (mm)

O percentual de rendimento mais elevado para o material secado a 60°C, pode ser observado na Figura 4.21, quando foi usada a malha 0,250 mm relativa a 100 mesh na escala de Tyler, na qual se obtiveram 43,25% de farinha processada. O menor rendimento foi obtido na malha 0,180 mm, relativo a 80 mesh, que apresentou percentual de 17,04%.

A Tabela 4.29 se compõe dos resultados da distribuição granulométrica resultantes do peneiramento do resíduo de algaroba seco a 70°C.

Tabela 4.29 – Distribuição granulométrica da farinha do resíduo de algaroba secada a 70°C

Mesh	dp (mm)	Repetição 1	Repetição 2	Repetição 3	Retida (g)	Xi	Xi/dpi	%Retido
60	0,250	33,40	46,50	57,60	35,79	0,36	0,001	35,791
80	0,180	15,63	22,00	28,00	17,02	0,17	0,001	17,022
100	0,149	42,18	61,30	79,30	47,19	0,47	0,003	47,187
finos					0,90	1,00	0,006	100,00
		91,21	129,80	164,90	100,00			Dp = 0,180

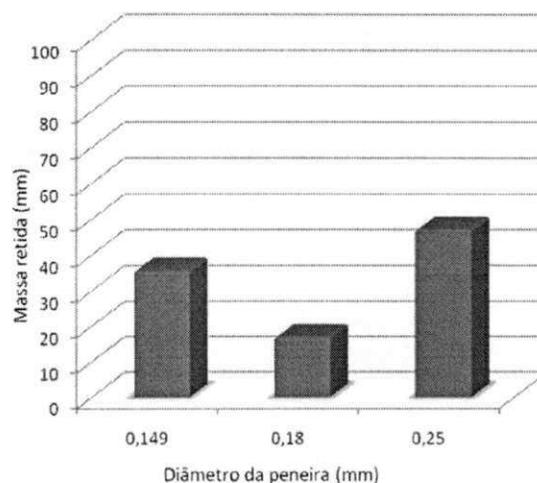


Figura 4.22 - Representação do percentual retido por malha utilizada em (mm)

A Figura 4.22 apresenta perfil semelhante ao das Figuras 4.19 e 4.20, e os melhores percentuais de rendimento obtidos no material secado a 70°C, foram obtidos nas peneiras de malha 0,250 mm, ou 100 mesh, e os piores para malhas de 0,180 mm relativos a uma granulometria de 80 mesh pela série de Tyler.

Verificou-se, através desses resultados, que os melhores rendimentos em todos os materiais, independentemente da temperatura a que foram submetidos durante a secagem, foram para a malha de 0,250 mm, relativos a 100 mesh pela série de Tyler. Entre os

tratamentos de secagem o resíduo submetido a uma secagem a 70°C indicou uma diferença de apenas 2,1% e 8,3% em relação às farinhas secadas a 50°C e 60°C, respectivamente.

Com base nos resultados observados neste estudo, conclui-se que o percentual retido na malha 60 é muito elevado sugerindo-se, portanto, para maximizar o rendimento, o uso de sistema combinado de fragmentação e esmagamento (moinho de martelos + moinho de bolas) para a realização da moagem e peneiramento do resíduo de algaroba secado a 60°C.

4.6.4. Composição físico-química da farinha do resíduo da algaroba

Determinou-se a composição físico-química média da farinha do resíduo de algaroba utilizada na elaboração dos pães, a partir de amostras em triplicata, de vez que se encontrou o valor mais provável dos resultados pela média aritmética, de acordo com os valores expostos na Tabela 4.29. A metodologia utilizada para determinação da composição físico-química seguiu o Manual de Normas Analíticas estabelecidas pelo Instituto Adolf Lutz (1985). A planilha com os resultados encontrados se encontra na Tabela B29, no Anexo B.

Verifica-se graficamente, na Figura 4.23, o perfil físico-químico desta farinha; o valor do teor de umidade, 7,91%, está abaixo do valor máximo permitido pela legislação (BRASIL, 1996), de 15%; a umidade é importante por ser um dos principais fatores de aceleração das reações químicas e enzimáticas na fabricação do pão de forma.

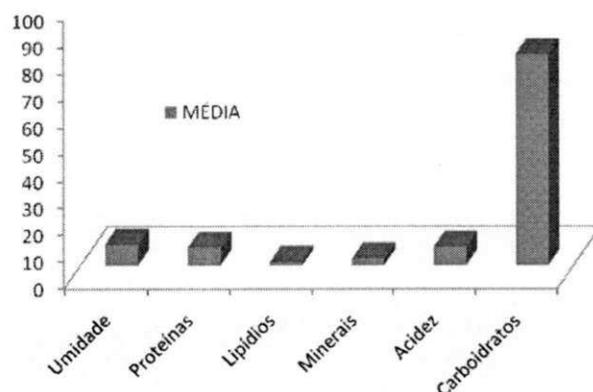


Figura 4.23 – Composição físico-química da farinha do resíduo de algaroba

A farinha do resíduo de algaroba se caracteriza por conter baixo teor de lipídios, ou seja, apenas 1,44%; o teor de minerais e de proteína desta farinha foi de 2,51 e 6,69%, respectivamente; já o teor de proteínas é citado por vários autores, como um dos indicadores de qualidade mais importantes, visto estar relacionado com capacidade de formação da massa e com o aumento de volume do pão. Segundo SCHILLER (1984), para o pão de forma a quantidade sugerida é de 11,5 a 14,5%, ou seja, a farinha do resíduo de algaroba contribuiu com quase 50% deste valor.

De acordo com LIMA et al. (2004), a farinha de jaca contém cerca de 48,47% de carboidratos; esses valores são inferiores ao encontrado para a farinha de resíduo de algaroba, de 78,97%; todos esses potenciais nutritivos em proteínas, carboidratos, minerais e gorduras, demonstram a possibilidade de incorporação e enriquecimento da mistura para panificação, a partir desta matéria-prima.

Tabela 4.30 – Percentuais dos componentes da farinha do resíduo da algaroba após as operações de secagem, moagem e peneiramento, para elaboração dos pães

Farinha	Média ± DP
Umidade (%)	7,909 ± 0,294
Proteínas (%)	6,696 ± 0,071
Lipídios (%)	1,436 ± 0,034
Minerais (%)	2,509 ± 0,076
Acidez total (%)	6,845 ± 0,000
Carboidratos (%)	78,971 ± 0,000
V. Calórico total (kcal/100g)	355,589 ± 0,000

Na Tabela 4.30, após a extração dos açúcares para elaboração da aguardente a farinha derivada do resíduo de algaroba apresentou considerável valor nutricional, passível de ser aproveitada como coadjuvante nos processos de panificação. A amostra final, ou seja, a farinha do resíduo da algaroba, obteve teor de água entre $7,909 \pm 0,294\%$, dentro do limite exigido pela Portaria nº 554, de 30 de agosto de 1995, do Ministério da Agricultura de no máximo, 15%. LOPES, 2000, afirma que a farinha apresentou índice protéico de $6,696 \pm$

0,071%, superior aos 5,808% encontrados por LEITE et al. (2008) e semelhante aos 6,845 de SILVA et al. (2004). As proteínas dos alimentos geralmente são avaliadas quanto à capacidade de suprir aminoácidos requeridos pelo organismo humano, segundo ARRUDA (1994), o potencial nutritivo encontrado na farinha derivada do resíduo de algaroba também foi observado em seu estudo sobre o aproveitamento da algaroba, para fabricação do álcool etílico.

As Tabelas 4.31, 4.32 e 4.33 apresentam os resultados da composição centesimal dos pães de forma produzidos com concentrações de 5, 10 e 15% da farinha do resíduo da algaroba.

Tabela 4.31 – Composição média do pão de forma com 5% do resíduo de algaroba

Pão de forma com resíduo de algaroba	Média ± D. Padrão
Umidade	34,220 ± 0,032
Proteínas	8,680 ± 0,040
Lipídios	2,161 ± 0,263
Fibra bruta	3,123 ± 0,057
Minerais	1,414 ± 0,137
Carboidratos	53,525 ± 0,000
V. Calórico total	268,269 ± 0,000

Tabela 4.32 – Composição média do pão de forma com 10% do resíduo de algaroba

Pão de forma com resíduo de algaroba	Média ± DP
Umidade	38,630 ± 0,173
Proteínas	8,787 ± 0,125
Lipídios	1,768 ± 0,115
Fibra bruta	3,592 ± 0,127
Minerais	1,244 ± 0,120
Carboidratos	49,571 ± 0,000
V. Calórico total	249,254 ± 0,000

Tabela 4.33 – Composição média do pão de forma com 15% do resíduo de algaroba

Pão de forma	Média ± D. Padrão
Umidade	38,433 ± 0,093
Proteínas	7,922 ± 1,174
Lipídios	2,491 ± 0,660
Fibra bruta	2,778 ± 0,305
Minerais	1,414 ± 0,137
Carboidratos	49,740 ± 0,000
V. Calórico total	253,067 ± 0,000

Tem-se, analisando-se os dados das Tabelas 4.31, 4.32 e 4.33, que o pão constituído de 10% de farinha do resíduo da algaroba apresentou o maior teor de proteínas totais 8,787%, valor este superior ao da média apresentada em pães comercializados no mercado, 5,50%, enquanto do ponto de vista energético o maior valor calórico, 268,27%, foi observado para o pão com menor quantidade de farinha de algaroba e maior teor de água; este efeito também pode ser observado para o teor de carboidratos nas três amostras estudadas. As planilhas com os resultados encontrados se encontram nas Tabelas B30 à B32, do Anexo B.

4.6.5. Análise sensorial

Os resultados da análise sensorial dos pães de forma estão na Tabela 4.34, na qual também se encontram os valores atribuídos pelos provadores não treinados correspondendo a uma escala hedônica com nove denominações, que vão desde o gostei muitíssimo até desgostei muitíssimo.

No gráfico da Figura 4.24 verifica-se que 32% dos entrevistados gostaram muito do aroma do pão de forma com 5% de farinha do resíduo de algaroba; quanto ao sabor, 28,8% gostaram ligeiramente do produto.

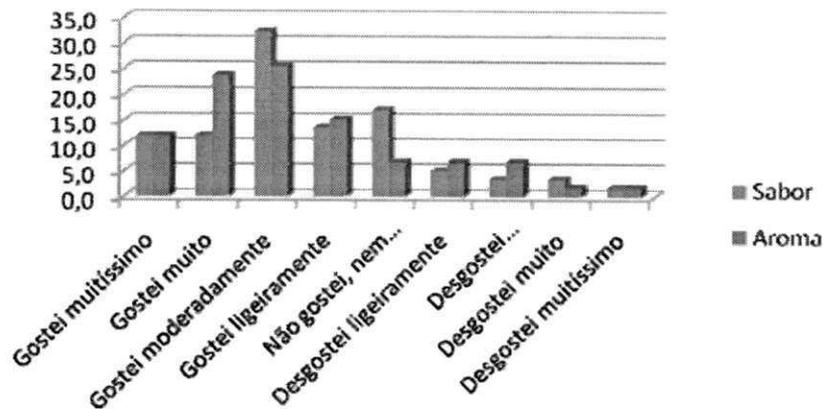


Figura 4.25 – Perfil dos valores atribuídos ao pão de forma processado com concentrações de farinha de resíduo de algaroba, de 10%

Para a Figura 4.25 houve, praticamente uma inversão de opinião com relação aos atributos analisados, 32,2% dos entrevistados gostaram muito do sabor e 25,4% gostaram muito do aroma do pão de forma com 10% de farinha do resíduo de algaroba.

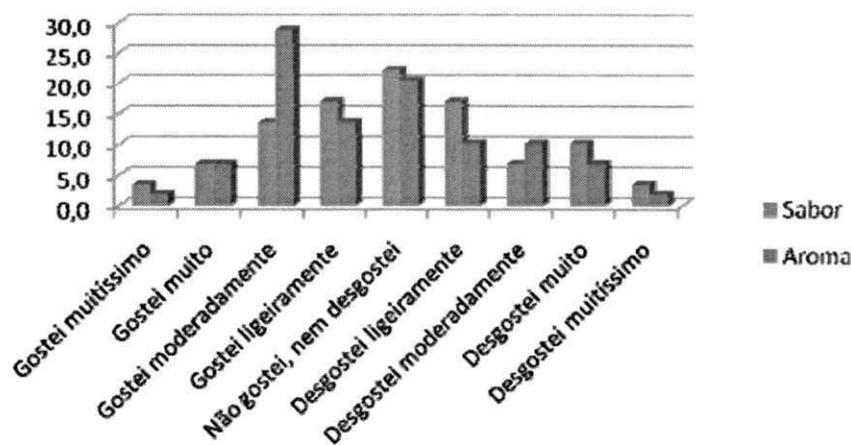


Figura 4.26 – Perfil dos valores atribuídos ao pão de forma processado com concentrações de farinha de resíduo de algaroba, de 15%

Para o pão produzido com 15% da farinha de algaroba, verificou-se que 28,8% opinaram por gostei moderadamente do aroma enquanto para o sabor, 22% dos entrevistados opinaram por não gostei nem desgostei.

Observando os três gráficos simultaneamente, conclui-se para o sabor que, a preferência foi para o sabor do pão produzido com 10% e, para o aroma, a maior aceitação foi para o pão, com percentual de 15% de farinha de resíduo de algaroba.

Nas Tabelas 4.35 e 4.36 estão, respectivamente, a análise de variância e a comparação entre médias para a análise sensorial do sabor do pão de forma processado a partir do resíduo descartado da prensagem para extração dos açúcares fermentescíveis, visando à produção da aguardente de algaroba.

Tabela 4.35 – Análise de variância do sabor do pão de forma processado a partir da farinha do resíduo de algaroba com concentrações de 5, 10 e 15%

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Tratamentos	2	75,90805	37,95402	11,1713
Resíduo	171	580,96552	3,39746	
Total	173	656,87356		

Tabela 4.36 – Análise de comparação entre as médias do sabor para pão de forma processado a partir da farinha do resíduo de algaroba com concentrações de 5, 10 e 15%

Tratamentos	Sabor
5% Farinha de algaroba	6,62 a
10% Farinha de algaroba	6,10 a
15% Farinha de algaroba	5,03 b
DMS	0,81

Na Tabela 4.35, a análise estatística de comparação de sabor em relação a concentração da farinha de resíduo da algaroba utilizada no pão, esclarece que não existe diferença significativa entre os tratamentos com 5 e 10% da farinha; para o pão de forma produzido com 15% da farinha de algaroba em relação ao pão produzido com 5 e 10% da farinha na sua composição, ocorreu diferença significativa de 1%.

Nas Tabelas 4.37 e 4.38 estão, respectivamente, a análise de variância e a comparação entre médias para a análise sensorial do aroma sabor do pão de forma processado a partir do resíduo descartado da prensagem para extração dos açúcares fermentescíveis para produção da aguardente de algaroba.

Tabela 4.37 – Análise de variância do aroma do pão de forma processado a partir da farinha do resíduo de algaroba com concentrações de 5, 10 e 15%

Fonte de variação	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F
Tratamentos	2	51,90805	25,95402	8,5442**
Resíduo	171	519,43103	3,03761	
Total	173	571,33908		

Tabela 4.38 – Análise de comparação entre as médias do aroma para pão de forma processado a partir da farinha do resíduo de algaroba com concentrações de 5, 10 e 15%

Tratamentos	Aroma
5% Farinha de algaroba	6,56897 a
10% Farinha de algaroba	6,67241 a
15% Farinha de algaroba	5,46552 b
DMS	0,77

Na Tabela 4.37 o aroma do pão de forma produzido com 5 e 10% de farinha de resíduo de algaroba também não difere significativamente a 1% de probabilidade enquanto se observou, para o percentual de 15%, diferença significativa em relação às concentrações anteriores. As análises sensoriais indicaram que os pães com melhores níveis de aceitação entre os julgadores foram aqueles elaborados com níveis de substituição de 10% de farinha de resíduo de algaroba. Os níveis de substituição de 5 e 15%, embora tenham sido escolhidos pelo aroma, não se apresentaram adequados para a elaboração do pão de forma, haja visto que seu sabor é afetado negativamente, provavelmente em função da adstringência conferida pelos teores de taninos contidos na farinha de algaroba.

4.6.6. Avaliação microbiológica

Na Tabela 4.38 os resultados da análise microbiológica do pão de forma processado com percentuais de 5, 10 e 15% da farinha do resíduo de algaroba apresentaram valores inferiores aos limites estabelecidos pela Resolução – RDC nº 12, de 2 de janeiro de 2001, confirmando que o processo utilizado para a produção do pão de forma atende às especificações estabelecidas por BRASIL (2001), do ponto de vista da segurança microbiológica do produto em estudo. Com relação aos micro-organismos estudados, para *Coliformes fecais e Salmonellas* os valores médios das contagens microbiológicas para bactérias do grupo Coliformes fecais, foram expressos como Número Mais Provável por grama (NMP g⁻¹), no tempo, resultando em NMP g⁻¹ igual a zero nas amostras estudadas.

Tabela 4.39 – Resultados das análises microbiológicas no pão de forma enriquecido com farinha do resíduo de algaroba

Parâmetro microbiológico	Unidade	Resultados
Coliformes a 45°C	NMP/g	Ausente
Salmonella sp 25	1 g	Ausente

De acordo com os resultados da Tabela 4.39, não se detectou a presença de bactérias mesófilas nas amostras de pão de forma, sinal de que elas se encontram dentro dos padrões estabelecidos pela legislação do Ministério da Saúde (BRASIL, 1997), podendo-se observar

na Figura 4.27, aspectos visuais do produto final não avaliados durante os testes de panificação, que o classificaram como pão de forma com algaroba.

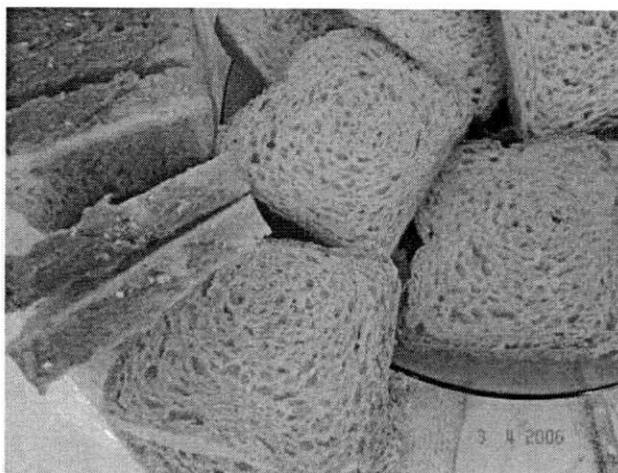


Figura 4.27 - Pão de forma enriquecido com farinha de algaroba

A farinha do resíduo de algaroba possui baixo teor de lipídios, um considerável teor de proteínas, teor de cinzas dentro do limite permitido pela legislação brasileira e apresenta elevada higroscopicidade; assim, ela pode ser empregada em alimentos que precisam reter umidade. Conclui-se, então, que, de acordo com o teste de panificação realizado em escala laboratorial, os resultados viabilizam tecnicamente o uso da farinha composta a partir dos resíduos para produção do pão tipo forma.

5. CONCLUSÕES

- Os frutos da algarobeira utilizados na produção da aguardente de algaroba apresentaram percentuais médios de perda por saca, de 13,44%;
- A análise estatística dos resultados da caracterização físico-química dos frutos de algarobeira oriundos das cinco regiões semiáridas do estado da Paraíba, não apresentou diferenças significativas em nível de 5% de probabilidade, para os percentuais de açúcares, proteínas, acidez e carboidratos, analisados neste trabalho;
- A metodologia de extração modificada para a obtenção dos açúcares contidos nos frutos da algarobeira, foi mais eficiente em relação ao método de extração anterior no qual as vagens eram trituradas a frio;
- Observou-se, através dos modelos de regressão linear e da análise de variância, que os efeitos das variáveis independentes não se ajustam ao modelo e não foram significativos para as variáveis dependentes a 95% de confiança, para as leveduras comercial e ALG3;
- Para as leveduras testadas, os efeitos das variáveis independentes sobre as variáveis dependentes, não foram significativos à 95% de confiança. Ao se aplicar o teste de curvatura a 90% de confiança houve uma melhora no ajuste do modelo e nos coeficientes de variação explicada (R^2);
- Para a levedura comercial, a produtividade foi influenciada apenas pela concentração do substrato, atingido um coeficiente de variação explicada de 92% e uma razão entre F calculado e tabelado de 0,33. Enquanto que, para levedura ALG3, a produtividade e o rendimento em biomassa foram os que mais se ajustaram ao modelo e atingiram um coeficiente de variação explicada (R^2) de 99,52%, com uma razão entre F calculado e tabelado de 5,43, mostrando-se significativo à 90% de confiança;

- Os melhores resultados para produtividade, rendimento teórico, percentual de conversão do substrato em etanol, para levedura comercial, foram obtidos próximo ao ponto central (5,047, 0,442 e 86,585). Enquanto que para a levedura ALG3, variaram com o aumento da concentração de leveduras (2,105, 0,329, 64,448);
- O rendimento industrial médio, obtido pelo o produto resultante dos rendimentos da extração, fermentação e destilação, foi de 56,40% para levedura comercial e de 40,80% para ALG3;
- Para as duas aguardentes testadas, os teores de ésteres, álcoois superiores e metanol atendem aos níveis especificados pela legislação. Enquanto que para a aguardente obtida da fermentação com a levedura ALG3, o somatório dos álcoois superiores de 522,096 mg/100mL se encontram acima do máximo estabelecido pela legislação;
- A análise de metais realizada na aguardente de algaroba fermentada com o fermento comercial apresentou valores de 0,043 mg/L para o teor de cobre, bem abaixo do limite máximo de 5 mg/L estabelecido pela legislação;
- A aguardente obtida com a levedura comercial apresentou acidez volátil foi 110 mg/100 mL. Enquanto a aguardente que utilizou a levedura ALG3, o valor de 178 mg/100 mL , ou seja acima do limite exigidos pela legislação;
- Para a aguardente obtida com a levedura comercial, 30% dos provadores gostaram moderadamente do aroma e ligeiramente do sabor. Enquanto que para a aguardente obtida com a levedura ALG3, 30% dos provadores gostaram moderadamente do sabor e 27,5% gostaram ligeiramente do aroma. Portanto, não foi estatisticamente não existe diferença significativa entre o sabor e o aroma das duas aguardentes analisadas.

- Os modelos de Cavalcanti Mata e Page representam melhor este processo de secagem em virtude de apresentarem o coeficiente de determinação igual ou superior a 99,8, nas diversas temperaturas dos experimentos; esses modelos apresentaram uma distribuição de aleatoriedade mais tendenciosa em relação ao modelo de Thompson; verifica-se, porém, que entre esses três modelos o que melhor representa a secagem é o de Page, devido ao seu maior coeficiente de determinação (99,9) em relação aos modelos de Cavalcanti Mata e Thompson, nas diversas temperaturas testadas, concluindo-se que representa satisfatoriamente os dados experimentais e, conseqüentemente, o fenômeno.
- A moagem do material secado a 60°C, apresentou rendimento superior ao material secado a 50°C porém em temperaturas maiores e apesar de haver pequena elevação no rendimento, haverá perda de nutrientes pela elevação da temperatura, escurecimento pela caramelização de açúcares remanescentes, podendo modificar o comportamento reológico da farinha obtida;
- Os melhores rendimentos em todos os materiais, independentemente da temperatura a que foram submetidos durante a secagem, foram para a malha de 0,250 mm, relativos a 100 mesh pela série de Tyler.
- A farinha do resíduo de algaroba se caracteriza por conter uma higroscopicidade elevada, baixo teor de lipídios, teor de minerais dentro do limite permitido pela legislação brasileira, um considerável teor de proteínas, desta forma, ela pode ser empregada em alimentos que precisam reter umidade, como o pão de forma;
- O pão constituído de 10% de farinha do resíduo da algaroba apresentou o maior teor de proteínas totais, 8,787%; este valor é superior ao da média apresentada em pães comercializados no mercado, 5,50%, enquanto do ponto de vista energético o maior valor calórico, 268,27%, foi observado para o pão com menor quantidade de farinha de algaroba e maior teor de água;

- Do ponto de vista sensorial, os pães com melhores níveis de aceitação entre os julgadores foram os elaborados com níveis de substituição de 10% de farinha de resíduo de algaroba.
- As análises microbiológicas não indicaram presença de bactérias mesófilas e viabilizam tecnicamente o uso da farinha para produção do pão tipo forma e, portanto, se encontram dentro dos padrões estabelecidos pela legislação do Ministério da Saúde (BRASIL, 1997).

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

- Aproveitamento da biomassa e do farelo em processos biotecnológicos de enriquecimento protéico para ração animal;
- Estudar a possível utilização do vinhoto proveniente do processo de destilação para desenvolvimento de fertilizantes e ração animal;
- Estudar e projetar equipamentos modernos que atendam as expectativas de desempenho e otimizem o rendimento dos processos desenvolvidos neste estudo;
- Elaboração de um estudo econômico de viabilidade dos processos biotecnológicos desenvolvidos e em desenvolvimento;
- Desenvolver um sistema integrado bioprocessos para o aproveitamento total e integral das vagens da algarobeira na produção de alimentos, combustíveis e bebidas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGIDE, G.N. **Considerações sobre a algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) D.C.)**. Instituto de Tecnologia de Alimentos. São Paulo. 1987. 27p. (ITA-SP, Boletim Técnico). Disponível em: www.bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online>. Acesso em: 12 de fev 2008.

AGUNE, D.C.; RODRIGUES, E.; POIANI, L.M. **Redução dos contaminantes: metanol, isoamilico, acetaldeído e isobutanol em cachaça através da técnica de microaeração**. Universidade Federal de São Carlos, Departamento de Engenharia Química. São Carlos. São Paulo. Disponível em: www.ufscar.br/cobeqic07/pdf/poster/83.pdf. Acesso em: 12 de jan 2009.

AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, Oxford, GB, v.59, n.1, p. 99, 2003.

ALMEIDA, M.M.D.; TAVARES, D.P.S.D.A.; ROCHA, A.S.; OLIVEIRA, L.D.S.C.; SILVA, F. L. H.; MOTA, J. C. Cinética da produção do fermentado do fruto do mandacaru. **Rev. Brasileira de produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.1, p.35-42, 2006 ISSN: 1517-8595.

ALONSO, L.F.T. **Algoritmos de seleção e dimensionamento de secadores**. 2001 241f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Campinas, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ALVES, M.F. **Potencialidades biotecnológicas da algaroba (*Prosopis juliflora* Sw, DC) para produção de fermento biológico**. 2008. 139f. Tese (Doutorado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

ALMEIDA, M.M.D.; TAVARES, D.P.S.D.A.; ROCHA, A.S.; OLIVEIRA, L.D.S.C.; SILVA, F. L. H.; MOTA, J. C. Cinética da produção do fermentado do fruto do mandacaru. **Rev. Brasileira de produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.8, n.1, p.35-42, 2006 ISSN: 1517-8595.

PARK, K.J.; YADO, M.K.M.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v.21, n.3, f.288-292, 2001a.

AMERINE, M.A.; PANGBORN, R.M.; ROESSLER, E.B. **Principles of sensory evolution of food**. New York: Academic Press, NY, 1965.602f.

AQUARONE, E.; LIMA, U. de A.; BORZANI, W. **Alimentos e bebidas produzidos por fermentação: biotecnologia**. São Paulo: Edgard Blücher, 1983. v. 5, 43 p.

ARAÚJO, M.S. **Fabricação de pães e biscoitos**. 2008. 21f. Apostila de panificação. (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

ARRUDA, D.T. de. **Viabilidade técnico-econômica da produção de etanol e subproduto (Ração) a partir da algaroba no semi-árido da Paraíba**. 1994. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

ASCHERI, D.P.R. **Farinha do bagaço de jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba* Berg) e sua incorporação em biscoitos**. 2007. Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis. (Projeto em andamento).

AYUB, M.A.Z. Et al. **Conversão de resíduos industriais da soja em etanol e outros solventes orgânicos**. UFRGS, Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Laboratório de Biotecnologia, 2002. 12f. (Relatório parcial). Disponível em: <www.enq.ufsc.br/labs/probio/projeto%20Plano%20Sul/ufrgs_relatorio2002.htm>. Acesso em: 11/02/2006.

AZEVEDO, C.F. **Algarobeira na alimentação animal e humana**. EMPARN. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBA, 1, 1986. Natal. **Anais...** Natal- RN, 158f.

AZEVEDO, G. **Algaroba**. Natal, RN: SAFPA. 1955. 13f.

AZEVEDO, G. de “Algaroba”. Publicação. Rio de Janeiro: Ed. Serviço de Informação Agrícola. 843. Ministério da Agricultura. 1960. 34f.

AZEVEDO, G. de. **Algaroba**. 2 ed. Rio de Janeiro, Serviço de Informação Agrícola, 1961. 32f. (SIA, 843).

AZEVEDO, S.M.; CARDOSO, M.G.; PEREIRA, N.E.; RIBEIRO, C.F.S.; SILVA, V.F.; AGUIAR, F.C. et al. Levantamento da contaminação por cobre nas aguardentes de cana-de-açúcar produzidas em Minas Gerais. **Ciênc. agrotec.**, Lavras. v.27, n.3, p.618-624, maio/jun., 2003. Disponível em:<<http://www.enq.ufsc.br.labs/probioprojeto>>. Acesso em: 11/12/2006.

AZZOUZ, S.; GUIZANI, A.; JOMAA, W.; BELGHITH, A. Moisture diffusivity and drying kinetic equation of convective drying of grapes. **Journal of Food Engineering**, v.55, p.323-330, 2002.

BARBOSA, H.P. **Valor nutritivo da algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC), através de ensaios de digestibilidade em carneiros**. 1977. 48f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Imprensa Universitária. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 1977.

BARROS, N.A.M.T. de. **Efeito da substituição progressiva do melaço por vagens de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC) na alimentação de ruminantes**. 1981a. 97 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba. Areia. 1981.

BARROS, N.A.T. de **Substituição do melaço de cana-de-açúcar na alimentação de carneiros**. 1981b. 81f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia.

BATISTA, M. de B. Aspectos tecnológicos de obtenção da farinha integral da algaroba para uso em produtos de panificação. In: JORNADA NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, BANANEIRAS, 2007.

BECKER, R.; GROSJEAN, O. K. A compositional study of pods of two varieties of mesquite

(*Proposis glandulosa*, *P. velutina*). J. Agric. Food Chem. V.28, f.22-26, 1980.

BORGES, I.F. **Obtenção e caracterização do melado de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC) e sua utilização em uma formulação alimentícia**. 2004. 83f, Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba . João Pessoa.

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

BORZANI, W. **Curso de fundamentos de engenharia bioquímica: Cinética dos processos fermentativos**. São Caetano do Sul, SP. Instituto Mauá de Tecnologia, Centro Mauá de Ensaio e Pesquisas. 1985. 23f.

BOZA, Y.; HORII, J. Influencia da destilação sobre a composição e a qualidade sensorial da aguardente de cana-de-açúcar. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, SP, v. 18, n. 4, f.1-4, out./dez. 1998.

BRASIL, Decreto nº 2314, 4 set. 1997, **Diário Oficial da União**, Brasília, 05 de set., 1997. 1997.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária, **Métodos Físico-químicos para análises de alimentos**. 4ª edição. Brasília: Ministério da Saúde, 2005. 1018f. (Série A. Normas Técnicas).

BRASIL. Resolução RDC ANVISA/MS nº. 12, de 02 de janeiro de 2001.

BROD, F.P.R. **Avaliação de um secador vibro-fluidizado**. 2003. 336f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola – Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas.

BURKART, A. 1952. **Las leguminosas argentinas silvestres y cultivadas**, Acme Agency,

Buenos Aires, 590f.

BUZO, J.; ÁVILA, R.; BRAVO, F.D. Efecto de la substitucion progressiva de sorgo por vaina de mezquite em la alimentacion de los borregos. **Tec. Pecu. Mexes.** f.20-23. 1972.

CAMPELO, R. **Algarobeira: alternativa para o semi-árido brasileiro.** Maceió, AL: UFAL, 1987. 25f. (UFAL. Informe Técnico).

CAMPOS, J. **Tabela para cálculos de rações.** Viçosa. UFV. 1980. 62f.

CARDOSO, M.G. Análises físico-químicas de aguardentes. In: **Produção Artesanal de aguardente UFLA/FAEPE.** f107-121, 1998.

CARDOSO, M.G.; SILVA, R.A.; SANTOS, C.D.; PINTO, A.P.S.; SILVA, C.F. **Cachaça: qualidade e produção.** Editora UFLA. 2005. Disponível em: <www.editora.br/Boletim/pdf/extensao/bol_07pdf>. Acessado em: 12 março 2005.

CARNEIRO, I.; QUEIROZ, V.S. **Curso de extensão em tecnologia de aguardente de cana-de-açúcar.** João Pessoa. UFPB/DTQA, 1994. 29f. (Apostila).

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

CHOGE, S.K.; PASIECZNIK, N.M.; HARVEY, M.; WRIGTH, J.; AWAN, S.Z.; HARRIS, P.J.C. Prosopis pods as human food, with special reference to Kenya. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE NUTRITIONAL VALUE AND WATER USE OF INDIGENOUS CROPS FOR IMPROVED LIVELIHOODS HELD. 2006. University de Pretoria. Pretoria. South Africa. **Proceedings...** v. 33. n.3. 2007. ISSN 1816-7950

CLASSIFICAÇÃO climática de Koppen. Disponível em:< www.emepa.org.br/ependencia.php>Acesso em: 30 de outubro de 2006.

CLETO, F.V.G.; MUTON, M. J. R. Rendimento e composição das aguardentes de cana,

laranja e uva com a utilização de lecitina no processo fermentativo. **Ciência Agrotec.**, Lavras, v.28, n. 3 f..578-584, maio/jun., 2004.

CORREA, M.P. **Dicionário de plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro. Imprensa Oficial. 1926. v.1. 68f.

CRANK, J. **The mathematics of diffusion**. Oxford: Clarendon Press, 1975, f. 44

Del Valle, F.R.; Escobebo,M.; Munoz,M.J.;Ortega,R; Bourges, H. Chemical and nutritional studies on mesquite beans *Prosopisjuliflora*(SW) D.C., **Journal of Food Science**, v.48, p.914-919, 1983.

DEMAIO, P.; SHARPENTIER, M. **Frutos: alimentacion humana, Los distintos usos de las chauchas de algarrobo**. Cordoba, Argentina: Escuela IPEM Cruz Del Eje. Disponível em: <http://www.agora.com.ar/prueba/p151at.htm>. Acesso em: 11 maio 2008

DÍAZ, C. citado por CHOGE (2007) *Los Algarrobos*. Concytec, Lima, Peru.1995.

DUTCOSKY, S.D. **Análise sensorial de alimentos**. Curitiba: Editora Universitária. Champagnat. 1996. 123f.

FELKER, P.; BANDURSKI, R.S. Protein and amino acid composition of tree legume seeds. **Journal of the Science of Food and Agriculture** v.28, f.791-797, 1977.

FERREIRA, O.J. **Estudo da viabilidade técnico-econômica da produção industrial da aguardente do “licor” de laranja**. 2005. Dissertação (Mestrado em Alimentos e Nutrição). Departamento de Alimentos e Nutrição Faculdade de Ciências Farmacêuticas. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho Araraquara. 84f.

FIGUEIREDO, A.A. **“Lebensmitte lelremiscere relevante ineraltroffe der sceroten der algarrobeira (*Prosopis juliflora* DC)”**. 1975. Tese (Doutorado em Lebensmittelwissenchaft und Teknologie) Julius Maximilians. Universitat Wurz Burgs. Alemanha. 105f.

FIGUEIREDO, A.A. **Algaroba tecnologia, produtos e usos: Meio século no Brasil**. 2000. Rio de Janeiro. Brasil. 17f.

FIGUEIREDO, A.A.; ASCHERI, J.L.R.; CARVALHO, C.W. Produção de expandidos à base de farinha mista de algaroba e arroz e de algaroba e milho. In: CONGRESSO BRASIELIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19 - Estratégia para o Desenvolvimento, Recife, **Anais...** Recife : SBCTA, 2004. CD-Rom.

FIOREZE, R. **Introdução à transferência de calor e massa**. ed. João Pessoa: Editora Universitária - UFPB, 2004. 118f.

FLORENTINO, E.R. **Aproveitamento do soro de queijo de coagulação enzimática**. 2006. 138f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

FORTES, M.; OKOS, M.R. Non-equilibrium thermodynamics approach to heat and mass transfer in corn kernels. **Transactions of American Society of Agricultural Engineers**, v.22, n.5, f.761-769, 1981.

FRANCO, B.D.G. de M.; LANDGRAF, M.; DESTRO, M.T. **Microbiologia de Alimentos**. São Paulo: Editora Atheneu, 1996. 174f.

FREIRE, S. **Engenheiro desenvolve aguardente de árvore do semi-árido**, Folha de São Paulo, São Paulo. 13 Jan. 2004. Agrolinha, f.B12.

GALERA, F.M.; TREVISSON, M.; BRUNO, S.A. Prosopis in Argentina: initial results on cultivation in greenhouses and orchards, and pod quality for food or feed of five native Prosopis species of Córdoba Province. In: DUTTON, R.W. (ed.) **Prosopis Species: Aspects of their Value, Research and Development**. Durham, UK: CORD, University of Durham, 1992. f.145-156.

GIL, I. **Algarrobo: El arbol de la vida**. Escuela IPEM. Córdoba, Argentina. Disponível em:

< <http://www.oni.escuelas.edu.ar/olimpi98/Algarrobo/pl14ac.htm>>. Acesso em: 20 mar 2008.

GOHL B **Tropical Feeds**. FAO Animal Production and Health Series 12 FAO, Rome, Italy. 1981.

GOMES, R.P. **Forragens fartas na seca**. 2ª ed., São Paulo: Editora Nobel, 1973. 236f.

GOMES, R.P.A. **Algarobeira**.. Rio de Janeiro: Serviço de Informação Agrícola 1961. 49 f.

GOMES, J.J. **Características tecnológicas da algarobeira (*Prosopis juliflora* (SW) DC): Contribuição para seu uso racional**. 1999. 118f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Departamento de Engenharia Agrícola. Campina Grande. PB.

GRABOIS, J.; AGUIAR, M.J.N. **O cariri Paraibano: um estudo de geografia agrária regional – primeira aproximação**. Campina Grande: Ciência e Cultura. 1985. f.1964-1986.

GRADOS, N.Y.G. CRUZ, **La Algarroba: Perspectivas de Utilización Industrial**. Serie de Química. Universidad de Piura, Piura, Peru, 1996. 2: 22f. (Série de Química).

GROSSI, J.L.S. **Formulation, composition and characteristics of the jelly made mescal (Prosopis juliflora DC) pods, M.S. thesis**. Rio de Janeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 1993. 111f.

GROSSI, J.L.S.; FIGUEIREDO A.A. **Elaboração e composição de uma geléia formulada com polpa de vagens de algarobeira (*Prosopis juliflora* DC)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 16, 2000, Fortaleza. **Anais...** Disponível em: <<http://acd.ufrj.br/algaroba/main.html>>. Acesso em: 23 de junho 2002.

GUTKOSKI, C.L. NETO, R.J. **Procedimento para teste laboratorial de panificação – pão tipo forma**. Santa Maria, **Ciência Rural**, v.32, n.5, f.873-879, 2002. ISSN 0103-8478.

HOLANDA, V.B. **Desenvolvimento de embalagem para aguardente de algaroba (*Prosopis juliflora Sw DC*)** 2008. 89f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande.

ICMSF. International Commission on Microbiological Specifications for Foods. **APPCC na qualidade e segurança microbiológica de alimentos**. São Paulo: Varela, 1997. 377p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3 ed. São Paulo, 1985. v. 1, 533 p.

JARDIM, N.S. (org) **Lixo municipal: manual de gerenciamento integrado**, 1.ed. São Paulo: IPT/CEMPRE 2163. 1995. 370f.

KEEY, R.B. **Drying: principles and practice**. Oxford: Pergamon Press, 1972. 358f.

LÉAUTÉ, R. Distillation in alembic. **American Journal of Enology and Viticulture**, v. 41, f. 90-103, 1990.

LEITE, L.K.H. **Aspectos analíticos da obtenção e utilização da farinha integral de algaroba em produtos de panificação**. 2008.f. Trabalho de Iniciação Científica (Iniciação científica em Engenharia de Alimentos). – Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

LIMA, D. F. et al. **Efeitos da farinha de algaroba (*Prosopis juliflora*) durante as fases de gestação e lactação em ratas wistar**. Marigá, PR, 2003. v. 25, nº. 2, p. 459-565.

LIMA, P.C.F. **Expansão desordenada da algaroba compromete o meio ambiente nordestino**. Disponível em: <http://www.ufpb.br/>. (Agência de notícias da UFPB (Agência Brasil)). Acesso em: 23 de agosto de 2002

LIMA, U.A. de. Produção de etanol. In: LIMA, U.A. de. AQUARONE, E.; BORZANI, W. **Biocologia. Tecnologia das fermentações**. São Paulo: 1975. v.1. cap. 3, f.48-69.

LIMA, D.F. **Avaliação nutricional e bioquímica de *Prosopis juliflora* e seu aproveitamento na**

alimentação humana. In: Simpósio Brasileiro sobre algaroba, 2, Mossoró, RN, Brasil. **Coleção Mossoroense**. n. 357. f. 61-65. 1987.

LOPES, R.V.V.; ROCHA, A.S.; SILVA, F.L.H.; GOUVEIA, J.P.G. aplicação do planejamento fatorial para otimização do estudo da produção de fermentado do fruto da palma forrageira revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.7, n.1, f.25-32, 2005 ISSN 1517-8595

MARAGONI, A.; ALLI, I. Composition and properties of seeds and pods of the tree legume *Prosopis juliflora* (DC). **J.Sci.Food Agric**. v.44, f.99-110, 1988.

MENON, A.S.; MUJUMDAR, A.S. Drying of solids: principles, classification, and selection of dryers. In: MUJUMDAR, A.S. **Handbook of Industrial Drying**. New York: Marcel Dekker Inc., 1987. cap.9, f.295-326.

MILLER, G. Use of dinitrosalicilic acid reagent for determination of reducing sugars. **Analytical Chemistry**. v.31, f. 426-428. 1959.

MORAES, G.M.D.; MESQUITA, P.C.; VASCONCELOS, P.M. Utilização tecnológica da farinha das sementes de jaca, como fonte alternativa de carboidratos na elaboração de pães. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. 19, 2004, Recife. **Anais...** Recife: CBCTA, 2004. CD-ROM.

NAGODAWITHANA, T. Yeast derived flavor and flavor enhancers and their probable mode of action. **Food Technology**. v. 20, n.1, f.241-247, 1994.

NASCIMENTO, M.A.G.; FRANÇA, J.A.; GUEDES, M.A. **Cinética de secagem de sementes de algaroba com cápsula**. Campina Grande, PB. 2008. 17p. (Trabalho não publicado).

NOBRE, F.V.; FERREIRA NETO, I. Estudo do aproveitamento de solos salinizados com a cultura da algarobeira. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE ALGAROBA, 2, 1987, Mossoró. **Coleção Mossoroense**. Serie C. N°.367. Mossoró: UFRN. 1987. f.13-

184.

NOBRE, F.V..... **Algarroba, importante forrageira para o Nordeste**. Natal. RN. 2ª ed. 1982. 41f. (EMPARN. Boletim Técnico, 5).

NOGUEIRA, A.M.P.; VENTURINI FILHO, W.G. **Aguardente de cana**. Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu. 2005. 66f.

NOVAIS, F.V. **Tecnologia de aguardente de cana**. Piracicaba – SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. USP. 1974. 104f. (Apostila do I Curso de extensão)).

NUNES, B.R.P.; HONORATO, F.L.; ALMEIDA, M.M.; SILVA, C.G.; SOUZA, K.S.; CAPITULINO, R. Estudo da destilação de fermentados de frutos tropicais: cinética do processo fermentativo e caracterização físico-química da aguardente. In: BRAZILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOOD AND BEVERAGES, 7, 2008, Lorena-SP. **Resumo...** Lorena: EEL. 2008, v. 1, f.378.

OLIVEIRA, E.R. Histórico da fermentação alcoólica. In: SEMANA DE FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA, 1960, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba: USP, 1960. f.196.

OLIVEIRA, L.P. de. **Seleção e aproveitamento biotecnológico de frutos encontrados na Amazônia para elaboração de bebida alcoólica fermentada utilizando levedura imobilizada**. 2006. ...f Tese (Doutorado em Biotecnologia) Universidade Federal do Amazonas-UFAM, Manaus.

OLIVEIRA, M.E.B. Aminoácidos livres no suco de caju: variação ao longo da safra. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal-SP, v 24, n 1, f 1333-1337, 2002.

ÖZDEMİR, M.; DEVRES, Y.O. The thins layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. **Journal of Food Engineering**, Oxford, GB, v.42, n.4, f.225-233, 1999.

PANTOJA, L. **Aproveitamento biotecnológico de frutos encontrados na Amazônia por**

fermentação alcoólica utilizando leveduras imobilizadas. 2006. Tese (Doutorado em Biotecnologia) - Universidade Federal do Amazonas. Manaus.

PARK, K.J.; YADO, M.K.M.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra Bartlett (*Pyrus sp.*) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, SP**, v.21, n.3, f.288-292, 2001a.

PEREIRA, C.A.; CARLI, L.; BEUX, S.; SANTOS, S.S.; BUSATO, S.B.; KOBRLNIK, M.; BARANA, A.C. Utilização de farinha obtida a partir de rejeito de batata na elaboração de biscoitos. Ponta Grossa, **Exatas Terra, Ci. Agr. Eng.**, Ponta Grossa, v.11, n.1, f.19-26, abr., 2005.

PEREZ, P.M.P.; GERMANI, R. Caracterização tecnológica de biscoitos tipo salgado, com alto teor de fibra alimentar, utilizando farinha de berinjela (*solanum melongena*, L.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., 2004, Recife. **Anais...** Recife: SBCTA, 2004. CD-ROM.

PROKOPIUK, D. CRUZ, G.; GRADOS, N.; GARRO, O.; CHIRALT, Y. A. Estúdio Comparativo entre Frutos de *Prosopis Alba* y *Prosopis Pallida*. **Multequina**, Piura, n.9, 2000. ISSN: 0327-9375. Disponível em: <www.cricyt.edu.ar/multequina/indice/pdf/09/9_5.pdf>. Acesso em: 16 mar. 2008.

QUEIROZ, V.S. **Dimensionamento e experimentação de uma unidade piloto para obtenção de uma bebida alcoólica destilada (aguardente) a partir de abacaxi.** 1994. 135f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa.

RABÊLO, T.C.B.; OLIVEIRA, E.G. **Isolamento de leveduras potencialmente produtoras de etanol à partir de suco de caju e extrato de algaroba.** Maceió, UFAL. Instituto de Química e Biotecnologia. Disponível em: <<https://sec.s bq.org.br/cdrom/30ra/resumos/T1613-1.pdf>> acesso em: 20. jul. 2008.

RIBEIRO, R.P.; FRAGA, A.G.M. Composição e dosagem das aguardentes de cana, laranja e uva. In: ENCONTRO DA SBQ, 11, - Niterói, Rio de Janeiro, 2007. **Anais...**, Niterói: Instituto

de Química, UFF, 2007. Disponível m:<<http://www.uff.br/sbqriouff/Arquivos> > Acesso em: 10 mai 2008.

RIZZON, L.A.; MENEGUZZO J. Elaboração de destilado do vinho na propriedade vitícola. Bento Gonçalves RS: **EMBRAPA Uva e vinho**, 2001. f.31.

ROCHA, A.S. **produção e avaliação físico-química da aguardente do fruto da alma forrageira (*Opuntia ficus – indica* Mill)**. 2008. 80f. Dissertação (Mestrado em em Engenharia Agrícola) – Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB. 2008

ROIG, F. Informe Nacional para la selección de germoplasma en especies de *Prosopis* de la República Argentina. In: REUNIÓN REGIONAL PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE DE LA RED DE FORESTACIÓN DEL CENTRO INTERNACIONAL DE INVESTIGACIONES PARA EL DESARROLLO, 5, 1993. Mendoza, Argentina, **Anais...** Mendoza: Instituto Argentino de Investigaciones de las Zonas Áridas (eds). Conservación y Mejoramiento de Especies del Género *Prosopis*.1983, f.1-36.

SANTANA, J.C.C.; EHRHARDT, D. D., LOPES, F.L.G.; TAMBOURGI, E.B. **Avaliação estatística da hidrólise enzimática e produção de álcool combustível a partir do amido de mandioca**. Campinas-SP. DESQ, Faculdade de Engenharia Química, UNICAMP. Disponível em:< www.sinaferm2007.ufpr.br/trabalhos> Acesso em 11 maio 2008

SCHILLER, G.W. Bakery flour specifications. **Cereal Foods World**, Saint Paul, v.29, n.10, p.647-651, Oct. 1984.

SHARMA, J.C.1982.**Gojri grammar**. Central Institute of Indian Languages Grammar Series 9. Mysore, India: Central Institute of Indian Languages. 9683101704.

SILVA, C.G. Avaliação nutricional do resíduo da vagem da algaroba (*Prosopis juliflora* Sw DC) após a extração do caldo para fabricação de aguardente. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19, Ciencia e Tecnologia

de Alimentos: Estratégia para o Desenvolvimento. Centro de Convenções de Pernambuco. **Anais...** Recife. 2004.

SILVA, C.G. **Desenvolvimento de um sistema micro-industrial para obtenção de aguardente bidestilada de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw) DC)**. 2002. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SILVA, C.G.; ROCHA, A.S.; ALMEIDA, M.M.; SILVA, F.L.H.; BARACHO, T.H.; SILVA, M.E. Aplicação do planejamento fatorial para otimização do estudo da produção de bebida fermentada a partir da algaroba. In: BRAZILIAN MEETING ON CHEMISTRY OF FOOD AND BEVERAGES, 7, 2008, Lorena. **Anais...** Lorena-SP: Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, USP, f.167, 2008.

SILVA, C.G.M. **Processo biotecnológico para conversão de algaroba (*Prosopis juliflora* Sw D.C.) em etanol**. Tese (Doutorado em Nutrição). 2007, 104f. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.

SILVA, C.M.; MELO FILHO, A.B.; PIRES, E.F.; STAMFORD, T.L.M. Caracterização físico-química e microbiológica da farinha de algaroba (*Prosopis juliflora* (Sw.) DC). **Ciência Tecnologia Alimentos**, Campinas, v.27, n.4, f.733-736, 2007.

SILVA, E.F. **Obtenção de aguardente de banana em micro-escala: Caracterização do processo e do produto**. 2004. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SILVA, F. de A.S.; AZEVEDO, C.A.V. de. A new version of The Assisat – Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, 2006. Orlando – FL – USA. **Anais...** Orlando: American Society of Agricultural Engineers, 2006. p. 393 – 396.

SILVA, J.H.V.; OLIVEIRA, J.N.C.; SILVA, E.L.; FILHO, J.J.; RIBEIRO, M.L G. Valores energéticos e efeitos da inclusão da farinha da integral da vagem de

- algaroba (*Prosopis juliflora Sw D.C.*) em rações de poedeiras comerciais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.31, n.6, p.2255-2264, Maio/Junho, 2002.
- SILVEIRA, P.L. **Estudo elaboração de passas da polpa, aproveitamento dos caroços e resíduos da jaca (*Artocarpus integrifolia*)**. 2000. 77f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- SIMABUCO, S.M. Determinação de metais pesados a nível de traços em amostras de chorume pela técnica de fluorescência de raios-x por dispersão de energia. In: CONGRESSO GERAL DE ENERGIA NUCLEAR. 6. 1996, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: IPEN, 1996. CD-Rom.
- SIMPSON, B.B. **Mesquite, its biology in two desert scrub ecosystems**. Dowden: Hutchinson e Ross, Inc. Stroudsburg, PA. 1977.
- SOARES, S.E.R. **Obtenção de açúcar mascavo a partir da vagem da algaroba (*Prosopis juliflora (Sw) D.C.*)**. 2006. 92 f. Estágio Supervisionado (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Departamento de Tecnologia Química e de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.
- STUPIELLO, J.P.; MARINO, E.A.; COLISKI, R. **Fermentação**. Publicação COPERSUCAR. 1973.
- SUZART, C.A.; DIAS, J.C.T. **Desenvolvimento tecnológico de aguardente de soro de queijo**. Itabuna. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 2007. 24f.
- TEIXEIRA, E.; MEINERT, E.M.; BARBETTI, P.A. **Análise sensorial de alimentos**. Florianópolis. SC: Ed. da UFSC. 1987. 180f. (Série didática).
- 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. 2. n.3, maio-junho, f.489-492, 2006.

VALDÍVIA, S.V. **El algaroba, uma espécie florestal prometedora para los trópicos áridos.** Ministério da Agricultura. Peru. 1972. 19f. (Boletim de Divulgação, 32).

VENTURINI FILHO, W.G. **Culturas de tuberosas amiláceas latino americanas. Tecnologia, usos e potencialidades de tuberosas amiláceas Latino Americanas.** Volume 3. Fundação Cargill. 2003.

VIANA, E.; SCHULZ, H.E.; ALBUQUERQUE, R.; NORONHA, A.B. Resíduos alimentares do lixo domiciliar: estudo do uso na alimentação de frangos de corte. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental.** Campina Grande. v.10. n.1, mar. 2006 . Disponível em: <<http://www.scielo.br/scielo.php>>. Acesso em: 10 mai 2008.

ANEXO A

RENDIMENTO DA EXTRAÇÃO

Os percentuais de rendimento em ($\frac{m}{m}$) do extrato aquoso (caldo) (R_C) e do resíduo sólido obtido depois da prensagem da vagem da algaroba (R_R), representam a quantidade de substrato líquido (Equação A1) e resíduo sólido (Equação A2) obtidos na operação de prensagem das vagens integrais hidratadas.

$$R_C (\%) = \frac{M_c}{M_t} \times 100 \quad (A1)$$

Onde: R_C = Rendimento em massa de caldo das vagens hidratadas (%)

M_c = Massa do caldo das vagens hidratadas (g)

M_t = Massa total das vagens hidratadas (g)

$$R_R (\%) = \frac{M_r}{M_t} \times 100 \quad (A2)$$

Onde: R_R = Rendimento em massa do resíduo sólido prensado (%)

M_r = Massa do resíduo sólido prensado (g)

M_t = Massa total das vagens hidratadas (g)

EXEMPLO DE PADRONIZAÇÃO

Para de um caldo concentrado a 20° brix quer se obter um caldo a 15° brix, utilizando-se água como diluente a (0° brix), Usando a regra das misturas, tem-se para cada 15kg de caldo a 20° brix, serão necessários 5 litros de água.

DETERMINAÇÕES ANALÍTICAS DURANTE A FERMENTAÇÃO

Determinação da concentração celular (g/L)

A concentração celular (biomassa) foi determinada adotando-se o método de massa seca descrito por FLORENTINO (2006), que consiste em separar as células do meio, secá-las e pesá-las.

Com o auxílio de uma pipeta, 2 mL da amostra foram transferidos para tubos de Eppendoff previamente secados em estufa à 105°C e pesados. Depois de receberem as amostras, os tubos foram centrifugados por 20 minutos a uma rotação de 3.000 rpm e a solução sobrenadante, aspirada e utilizada para determinação dos açúcares redutores totais. Aos tubos contendo a levedura, foram adicionadas água destilada, e a operação de lavagem foi repetida duas vezes. Após a segunda lavagem as amostras eram colocadas em estufa a 105°C por 24 horas e pesadas até massa constante. A massa seca foi determinada pela diferença entre a massa inicial do tubo (M1) e a massa final (M2), e essa diferença dividida pelo volume (V) de amostra utilizado (2 mL); o resultado final foi multiplicado por 1000, obtendo assim o resultado em g/L, conforme a Equação A3.

$$\text{Massa celular (x)} = \frac{M1 - M2}{V} \times 1000 \text{ (g/L)} \quad (\text{A3})$$

Determinação de açúcares redutores totais (ART)

Para a determinação da concentração do substrato (açúcares redutores totais), foi utilizada a metodologia de DNS (Acido 3,5 Dinitro Salicílico), MILLER (1959), que se baseia na redução do ácido 3,5 a ácido 3-amino-5-nitrosalicílico, concomitantemente com a oxidação do grupo aldeído do açúcar a grupo carboxílico.

Após aquecimento a solução torna-se avermelhada, sendo lida no espectrofotômetro a 540 nm, conforme procedimento da EMBRAPA CNPAT.

$$ART = Abs \times F \times V_{diluição} \times 5 \quad (A4)$$

Onde:

ART = Teor de açúcares redutores totais

Abs = Absorbância

F = Fator de conversão de ABS em ART na solução (2,135)

$V_{diluição}$ = Volume da diluição da amostra

5 = Soma das resultantes das soluções de 1mL HCL 2N, 3mL de NaOH 1N e 1mL da amostra.

Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais foram determinados seguindo a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2004).

Acidez

As concentrações de acidez total e acidez fixa = ácidos fixos e ácidos totais em grama de ácido acético/100 mL da amostra foram determinadas pelo método de titulação volumétrica. Enquanto que a acidez volátil foi obtida pela diferença entre a acidez total e a acidez fixa de acordo com a metodologia proposta pelo Instituto Adolf Lutz (BRASIL, 2005).

Determinação da concentração de etanol no fermentado (teor alcoólico)

A evolução da concentração de etanol durante a fermentação foi determinada por ebuliometria, após a calibração do equipamento com água destilada.

Em seguida, adicionou-se uma alíquota de cinqüenta mililitros da amostra na caldeira do aparelho e com a temperatura de ebulição da água e da amostra, determinou-se a concentração de etanol da amostra, utilizando a régua de conversão que acompanha o equipamento.

Potencial de hidrogênio iônico (pH)

O pH foi determinado pelo método potenciométrico, com um pHmetro digital da marca TECNAL modelo: TEC-2, inicialmente calibrado com as soluções tampões de pH 4,0 e pH 7,0 (BRASL, 2005).

Percentual de Conversão

O percentual de conversão no fermentado para produção da aguardente antes da destilação, foi calculado pela Equação A5.

$$\text{Conversão (\%)} = \frac{P}{S_0 \times 0,511} \times 100 \quad (\text{A5})$$

Onde:

P - concentração de etanol experimental;

S₀ - concentração inicial de substrato (ART);

Cálculo da Produtividade

O final da fermentação foi considerado quando a concentração de substrato no fermentado atingiu valores de 2±1°Brix. A produtividade foi obtida pela Equação (A6). Este procedimento foi assumido para minimizar o efeito da imprecisão na determinação do tempo de fermentação, já que amostras eram tomadas em períodos de 2 em 2 horas.

$$\text{Produtividade (g/L.h)} = \frac{\text{Produto(g/L)}}{\text{Tempo(horas)}} \quad (\text{A6})$$

Onde:

P - concentração de etanol experimental em (g/L);

t - tempo de fermentação (horas).

Rendimento em biomassa ($Y_{x/s}$)

Quantidade de biomassa formada em relação à quantidade de substrato limitante consumido calculado através da Equação A7.

$$Y_{x/s} = \frac{X - X_0}{S_0 - S} \quad (\text{A7})$$

Onde:

X - concentração final de biomassa (g/L);

X_0 - concentração inicial de biomassa (g/L);

S - concentração final de substrato (g/L);

S_0 - concentração inicial de substrato (g/L);

Rendimento do produto ($Y_{p/s}$)

Este parâmetro foi determinado através de balanço de massa, onde foram determinados a quantidade de produto formado no fermentado (etanol) em relação à quantidade de substrato limitante consumido ART (Açúcares Redutores Totais) na fermentação, Equação A8.

$$Y_{p/s} = \frac{P - P_0}{S_0 - S} \quad (\text{A8})$$

Onde:

S - concentração final de substrato (g/L);

S₀ - concentração inicial de substrato (g/L);

P - concentração final de produto (g/L);

P₀ - concentração inicial de produto (g/L);

Determinação da velocidade específica máxima de crescimento (h⁻¹)

A determinação da velocidade específica máxima de crescimento foi realizada utilizando o software Origin 7.0, utilizando o recurso de regressão linear, onde:

$$\log [X] = \mu \cdot t + b \quad (A9)$$

log [X] – logaritmo da concentração de leveduras na fase exponencial de crescimento;

μ - velocidade específica máxima de crescimento (h⁻¹);

t = tempo (h);

b = coeficiente linear da equação do logaritmo da concentração de leveduras em função do tempo de fermentação, na fase exponencial de crescimento.

Ficha dos Provedores

Provedor:

Data: / / 2008

Estamos realizando uma pesquisa sobre a aceitação de um novo produto aguardente de algaroba. Por favor, se você tiver interesse em participar desse teste preencha a ficha abaixo.

1. Você está recebendo uma amostra de aguardente bidestilada para degustar. Inicialmente avalie o SABOR DA AMOSTRA. Escreva o código da amostra e indique usando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou do SABOR desta amostra.

- 9. Gostei muitíssimo
- 8. Gostei muito
- 7. Gostei moderadamente
- 6. Gostei ligeiramente
- 5. Não gostei, nem desgostei
- 4. Desgostei ligeiramente
- 3. Desgostei moderadamente
- 2. Desgostei muito
- 1. Desgostei muitíssimo

Código da
Amostra

Valor

_____	_____
_____	_____
_____	_____

2. Você está recebendo uma série de amostras que serão servidas individualmente. Prove cuidadosamente cada uma e avalie, antes que a próxima seja servida. Inicialmente avalie o AROMA DA AMOSTRA, Escreva o quanto gostou ou desgostou de acordo com a seguinte escala.

- 9. Gostei muitíssimo
- 8. Gostei muito
- 7. Gostei moderadamente
- 6. Gostei ligeiramente
- 5. Não gostei, nem desgostei
- 4. Desgostei ligeiramente
- 3. Desgostei moderadamente
- 2. Desgostei muito
- 1. Desgostei muitíssimo

Código da
Amostra

Valor

_____	_____
_____	_____
_____	_____

Figura 1 – Ficha de provedores para aguardente de algaroba

Ficha dos Provadores

Provador:

Data: / / 2008

Estamos realizando uma pesquisa sobre a aceitação de um novo produto pão de forma de algaroba. Por favor, se você tiver interesse em participar desse teste preencha a ficha abaixo.

1. Você está recebendo uma amostra de pão de forma para degustar. Inicialmente avalie o SABOR DA AMOSTRA. Escreva o código da amostra e indique usando a escala abaixo, o quanto você gostou ou desgostou do SABOR desta amostra.

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Não gostei, nem desgostei
4. Desgostei ligeiramente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

Código da Amostra	Valor
_____	_____
_____	_____
_____	_____

2. Você está recebendo uma série de amostras que serão servidas individualmente. Prove cuidadosamente cada uma e avalie, antes que a próxima seja servida. Inicialmente avalie o AROMA DA AMOSTRA, Escreva o quanto gostou ou desgostou de acordo com a seguinte escala.

9. Gostei muitíssimo
8. Gostei muito
7. Gostei moderadamente
6. Gostei ligeiramente
5. Não gostei, nem desgostei
4. Desgostei ligeiramente
3. Desgostei moderadamente
2. Desgostei muito
1. Desgostei muitíssimo

Código da Amostra	Valor
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Figura 2 – Ficha de provadores para o pão de forma com algaroba

APÊNDICE A

**COMPOSIÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DAS VAGENS DE ALGAROBEIRA
PROVENIENTES DOS DIVERSOS MUNICÍPIOS DO SEMI-ÁRIDO
PARAIBANO**

Tabela A1 - Composição físico-química das vagens de algarobeira coletadas no município de Serra Branca-PB

COMPONENTES	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	MÉDIA	D.PADRÃO
Umidade	9,30	10,58	9,37	9,75	0,72
Proteínas	10,42	8,93	13,07	10,81	2,10
Lipídios	1,90	0,93	3,50	2,11	1,30
Acidez total	2,00	1,90	2,00	1,97	0,06
Minerais	3,30	2,55	1,58	2,48	0,86
Fibra bruta	15,34	18,74	15,90	16,66	1,82
AR	3,05	3,10	3,10	3,08	0,03
ANR	36,81	38,74	48,00	41,18	5,98
AT	39,86	41,84	51,10	44,27	6,00
Carboidratos	75,10	83,01	72,48	76,86	5,48
VCT	359,18	376,13	373,70	369,67	9,17

Tabela A2 - Composição físico-química da vagens de algarobeira coletadas no município de Campina Grande-PB

COMPONENTES	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	MÉDIA	D.PADRÃO
Umidade	18,23	18,74	18,26	18,41	0,29
Proteínas	7,72	5,42	7,54	6,89	1,28
Lipídios	2,05	2,20	2,34	2,20	0,15
Acidez total	2,32	2,13	2,4	2,28	0,14
Minerais	2,74	2,42	2,85	2,67	0,22
Fibra bruta	15,90	15,90	15,5	15,77	0,23
AR	2,74	2,04	2,9	2,56	0,46
ANR	38,56	39,66	38,8	39,01	0,58
AT	41,30	41,70	41,7	41,57	0,23
Carboidratos	69,26	71,22	69,01	69,83	1,21
VCT	325,02	314,93	337,70	325,88	11,41

Tabela A3 - Composição físico-química das vagens de algarobeira coletadas no município de Picuí-PB

COMPONENTES	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	MÉDIA	D.PADRÃO
Umidade	10,50	18,03	10,61	13,05	3,52
Proteínas	9,40	8,68	9,39	9,16	0,34
Lipídios	2,40	2,47	2,20	2,36	0,11
Acidez total	2,40	1,89	2,30	2,20	0,22
Minerais	3,50	3,50	3,73	3,58	0,11
Fibra bruta	14,05	13,45	12,78	13,43	0,52
AR	2,58	3,21	2,70	2,83	0,27
ANR	45,99	39,13	46,43	43,85	3,34
AT	48,57	42,34	49,14	46,68	3,08
Carboidratos	74,20	67,32	74,07	71,86	3,21
VCT	356,00	326,23	353,64	345,29	13,51

Tabela A4 - Composição físico-química das vagens de algarobeira coletadas no município de Patos-PB

COMPONENTES	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	MÉDIA	D.PADRÃO
Umidade	10,70	10,31	9,90	10,30	0,40
Proteínas	12,50	8,72	9,56	10,26	1,98
Lipídios	2,43	3,20	3,20	2,94	0,44
Acidez total	2,40	1,80	2,30	2,17	0,32
Minerais	3,25	3,10	3,12	3,16	0,08
Fibra bruta	14,52	15,50	15,22	15,08	0,50
AR	2,86	3,21	2,90	2,99	0,19
ANR	41,20	38,33	36,80	38,78	2,23
AT	44,06	41,54	39,70	40,62	1,30
Carboidratos	71,12	74,67	74,22	73,34	1,93
VCT	356,35	362,36	363,92	360,88	4,00

Tabela A5 - Composição físico-química das vagens de algarobeira coletadas no município de Sousa-PB

COMPONENTES	AMOSTRA 1	AMOSTRA 2	AMOSTRA 3	MÉDIA	D.PADRÃO
Umidade	13,10	13,30	13,10	13,17	0,12
Proteínas	9,20	9,45	9,20	9,28	0,14
Lipídios	0,90	1,19	0,90	1,00	0,17
Acidez total	2,30	2,50	2,30	2,37	0,12
Mínerais	2,50	2,50	2,50	2,50	0,00
Fibra bruta	15,50	14,82	15,50	15,27	0,39
AR	2,30	2,73	2,30	2,44	0,25
ANR	36,30	36,83	36,30	36,48	0,31
AT	38,60	39,56	38,60	38,92	0,55
Carboidratos	74,30	73,56	74,30	74,05	0,43
VCT	342,10	342,75	342,10	342,32	0,38

DADOS DA CINÉTICA DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA PARA A LEVEDURA SELECIONADA NO CALDO DE ALGAROBA (ALG3)

Tabela A6 – 1º Ensaio - 15 °Brix - 10 g/L

Tempo (h)	pH	Temp. (°C)	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	Acidez (g/100 ml)	Etanol (g/L)
0	5,20	29,00	15,00	160,10	10	0,00	0,231	0,00
2	5,20	29,00	15,00	160,00	5,62	0,00	0,192	0,00
4	5,10	29,00	15,00	154,00	6,4	0,00	0,230	0,00
6	5,00	29,00	15,00	139,04	3,98	0,00	0,372	0,00
8	4,90	29,50	15,00	129,23	6,55	1,00	0,430	7,90
10	5,00	29,50	14,00	119,00	5,37	1,10	0,351	8,68
12	4,91	30,00	13,00	102,96	7,07	1,50	0,323	11,84
14	4,90	30,50	13,00	92,07	7,92	1,50	0,276	11,84
16	4,70	30,00	11,00	73,21	4,45	1,80	0,272	14,21
18	4,71	30,00	10,00	64,43	3,42	2,10	0,273	16,58
20	4,60	29,50	8,00	55,78	3,35	3,00	0,321	23,69
22	4,51	28,50	6,00	46,16	3,73	3,20	0,343	25,26
24	4,20	28,00	5,00	29,73	4,60	4,50	0,362	35,53
26	4,12	27,00	4,00	11,16	5,62	4,60	0,382	36,32
28	4,16	27,00	2,50	10,70	4,38	5,90	0,402	46,58

Tabela A7 – 2º Ensaio - 21ºBrix - 10 g/L

Tempo (h)	pH	Temp. (°C)	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	Acidez (g/100 ml)	Etanol (g/L)
0	5,20	29,00	21,00	187,88	10,00	0,00	0,243	0,00
2	5,00	29,00	21,00	175,07	8,00	0,00	0,243	0,00
4	5,00	29,00	20,00	171,20	6,40	0,00	0,252	0,00
6	4,90	29,00	20,00	162,30	9,10	0,00	0,250	0,00
8	5,10	29,50	20,00	157,99	12,10	0,00	0,255	0,00
10	5,20	29,50	19,00	149,50	14,70	0,00	0,184	0,00
12	5,20	30,00	16,00	123,19	13,50	2,10	0,201	16,58
14	5,20	30,50	14,00	106,75	13,90	3,00	0,213	23,69
16	5,40	30,00	6,00	95,01	9,32	4,50	0,207	35,53
18	5,40	30,00	4,00	37,58	5,65	5,90	0,280	46,58
32	5,60	29,50	2,00	8,55	2,50	7,35	0,406	58,03

Tabela A8 – 3º Ensaio - 15 °Brix - 20 g/L

Tempo (h)	pH	Temp. (°C)	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	Acidez (g/100ml)	Etanol (g/L)
0	5,20	29,00	15,00	185,73	5,56	0,00	0,233	0,00
2	5,30	29,00	13,50	181,46	7,20	0,00	0,211	0,00
4	5,30	29,00	13,62	179,34	7,55	0,00	0,285	0,00
5	5,50	29,00	13,00	175,43	7,50	0,41	0,066	3,24
6	5,25	29,50	13,00	168,65	7,91	0,50	0,306	3,95
8	5,22	29,50	12,00	146,21	9,30	1,00	0,308	7,90
10	4,72	30,00	10,00	140,33	12,12	1,20	0,336	9,47
12	4,50	30,50	9,00	130,22	13,10	2,90	0,367	22,90
14	4,44	30,00	7,00	83,22	14,88	3,10	0,353	24,47
16	4,43	30,00	6,00	81,44	14,88	3,80	0,370	30,00
18	4,81	29,50	5,00	55,35	10,20	4,50	0,336	35,53
20	4,73	28,50	4,00	44,56	10,30	5,90	0,320	46,58
22	4,63	28,00	3,00	31,14	9,90	6,00	0,326	47,37
24	4,70	27,00	3,00	14,61	8,60	7,35	0,341	58,03

Tabela A9 – 4° Ensaio – 21°Brix - 20 g/L

Tempo (h)	pH	Temp. (°C)	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	Acidez (g/100ml)	Etanol (g/L)
0	5,3	29,00	21,00	179,93	20,00	0,00		0,00
2	5,3	29,00	18,00	170,95	14,00	0,00		0,00
4	4,6	29,00	16,50	169,32	13,50	1,00		7,90
6	4,7	29,00	13,00	167,08	13,15	2,10		16,58
8	4,4	29,50	10,00	166,26	16,10	4,50		35,53
10	4,1	29,50	7,00	161,16	17,80	4,90		38,69
12	4,9	30,00	4,50	166,04	17,90	5,90		46,58
14	4,9	30,50	4,00	117,71	16,90	7,30		57,63
16	4,6	29,00	3,50	102,00	15,80	8,00		63,16
28	4,3	28,00	3,00	25,50	5,70	8,50		67,11

Tabela A10 – 5° Ensaio – 18 °Brix - 15 g/L

Tempo (h)	pH	Temp. (°C)	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	Acidez (g/100ml)	Etanol (g/L)
0	4,94	29,00	18,00	137,43	1,244	0,00	0,216	0,00
2	4,46	29,00	14,59	64,14	1,089	0,00	0,069	0,00
4	4,38	29,00	14,00	59,55	1,111	0,00	0,040	0,00
6	4,27	29,00	13,59	40,72	1,444	0,00	0,059	0,00
8	4,27	29,50	13,17	17,82	1,356	0,00	0,089	0,00
10	4,32	29,50	12,24	15,27	2,333	1,00	0,069	7,90
12	4,25	30,00	10,53	13,74	2,911	1,20	0,069	9,47
14	4,19	30,50	10,96	13,24	3,089	2,10	0,020	16,58
16	4,04	30,00	6,41	9,67	3,000	2,10	0,089	16,58
18	4,05	30,00	6,41	4,07	2,889	4,80	0,088	37,90
20	4,00	29,50	6,41	1,02	2,867	4,80	0,049	37,90

Tabela A11 – 6° Ensaio – 18 °Brix - 15 g/L

Tempo (h)	pH	Temp. (°C)	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	Acidez (g/100ml)	Etanol (g/L)
0	4,98	29,00	18,00	122,16	1,022	0,00	0,294	0,00
2	4,47	29,00	14,59	54,97	1,178	0,00	0,176	0,00
4	4,54	29,00	14,00	48,86	1,067	0,00	0,177	0,00
6	4,40	29,00	13,59	31,56	1,222	0,00	0,225	0,00
8	4,36	29,50	13,41	14,25	1,756	0,00	0,176	0,00
10	4,30	29,50	12,48	12,73	1,644	1,00	0,157	7,90
12	4,28	30,00	10,53	11,71	1,867	1,50	0,177	11,84
14	4,18	30,50	10,15	11,20	2,400	2,30	0,167	18,16
16	4,06	30,00	6,41	9,16	3,000	2,40	0,216	18,95
18	4,05	30,00	6,41	5,09	2,889	4,50	0,216	35,53
20	4,00	29,50	5,42	1,53	2,867	4,50	0,216	35,53

Tabela A12 – 7° Ensaio – 18 °Brix - 15 g/L

Tempo (h)	pH	Temp. (°C)	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	Acidez (g/100ml)	Etanol (g/L)
0	4,98	29,00	18,00	149,65	1,289	0,00	0,363	0,00
2	4,40	29,00	15,55	47,34	1,333	0,00	0,216	0,00
4	4,48	29,00	15,51	41,23	1,533	0,00	0,176	0,00
6	4,41	29,00	13,59	26,46	1,489	0,00	0,196	0,00
8	4,36	29,50	13,41	11,20	1,622	0,00	0,186	0,00
10	4,29	29,50	13,39	10,69	2,244	1,00	0,167	7,90
12	4,26	30,00	12,42	10,18	2,756	1,50	0,186	11,84
14	4,15	30,50	10,92	9,16	2,689	2,30	0,235	18,16
16	4,08	29,00	9,96	6,62	2,511	2,40	0,235	18,95
18	4,09	28,00	5,54	4,07	2,533	4,50	0,216	35,53

DADOS DA CINÉTICA DA FERMENTAÇÃO ALCOÓLICA PARA A LEVEDURA COMERCIAL

Tabela A13 – 1º Ensaio - 15 °Brix - 10 g/L

Tempo (h)	pH	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	A. volátil (g/100 ml)
0	5,05	15,0	167,38	5,28	0,0	0,165
2	4,91	14,0	166,75	5,33	0,0	0,210
4	4,80	12,5	163,11	5,60	1,1	0,240
6	4,72	10,5	102,96	5,85	2,1	0,420
8	4,68	8,0	92,07	6,00	3,3	0,360
10	4,64	7,0	29,73	8,06	4,2	0,270
12	4,64	5,5	11,16	10,88	4,6	0,300
14	4,42	3,0	2,14	11,80	5,9	0,270
16	4,33	2,0	2,14	9,84	5,9	0,165
18	4,33	2,0	2,10	8,68	5,9	0,210

Tabela A14 – 2º Ensaio - 21 °Brix - 10 g/L

Tempo (h)	pH	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	A. volátil (g/100 ml)
0	4,55	21,0	179,8	0,0	0,0	0,28
2	4,45	19,0	120,5	0,0	0,0	0,33
4	4,38	14,0	109,9	1,0	1,0	0,43
6	4,36	10,0	65,6	3,0	3,0	0,43
8	4,39	9,0	30,3	5,1	5,1	0,52
10	4,40	8,2	19,1	6,9	6,9	0,37
12	4,45	3,0	13,1	7,3	7,3	0,27
14	4,54	2,5	9,6	8,8	8,8	0,33
16	3,90	2,5	5,2	8,9	8,9	0,31

Tabela A15 – 3° Ensaio - 15 °Brix - 20 g/L

Tempo (h)	pH	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	A. volátil (g/100ml)
0	146,592	15,00	146,592	4,5556	0,0	0,24495
2	91,620	13,17	91,620	4,0444	0,0	0,27434
4	88,566	10,66	88,566	5,2667	3,25	0,31353
6	55,990	8,59	55,990	6,5778	4,50	0,31353
8	22,905	7,59	22,905	9,9556	5,90	0,30293
10	9,671	5,59	9,671	9,9778	5,90	0,29465
12	8,144	3,81	8,144	11,4000	5,90	0,23515
14	4,581	3,44	4,581	10,9778	5,90	0,15676
16	4,581	3,44	4,581	9,1333	7,35	0,20575
18	4,072	3,22	4,072	8,7556	7,35	0,18707

Tabela A16 – 4° Ensaio – 21°Brix - 20 g/L

Tempo (h)	pH	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	A. volátil (g/100ml)
0	4,50	21,00	189,72	7,32	0,0	0,22
2	4,55	17,73	175,44	7,55	0,0	0,28
4	4,75	14,68	165,04	8,89	3,25	0,36
6	4,68	10,61	52,65	9,00	5,90	0,35
8	4,30	7,61	24,05	11,19	7,35	0,30
10	4,50	5,54	11,89	13,31	7,75	0,22
12	4,40	3,46	6,17	14,22	7,35	0,18
14	5,10	3,40	5,00	15,82	8,95	0,27
16	5,40	3,26	4,82	10,56	8,95	0,23
18	5,90	3,26	4,63	9,21	8,95	0,22

Tabela A17 – 5° Ensaio – 18 °Brix - 15 g/L

Tempo (h)	pH	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	A.volátil (g/100ml)
0	5,30	18,00	172,60	6,07	0,0	0,16
2	4,60	16,50	162,77	5,62	2,10	0,33
4	4,74	16,15	104,02	6,92	4,50	0,17
6	4,40	13,00	101,81	8,59	5,90	0,27
8	4,10	10,00	69,18	10,52	7,30	0,25
10	4,90	7,00	55,70	12,02	7,35	0,35
12	4,4	4,50	38,93	8,27	7,90	0,16
14	4,42	3,4	18,26	8,65	8,50	0,24
16	4,42	3,00	11,30	6,65	8,50	0,24

Tabela A18 – 6° Ensaio – 18 °Brix - 15 g/L

Tempo (h)	pH	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	A. volátil (g/100ml)
0	4,98	18,00	174,08	3,20	0,0	0,23
2	4,78	16,15	125,21	5,02	0,5	0,43
4	4,65	14,15	102,31	8,22	2,10	0,23
6	4,70	10,65	64,13	8,60	3,25	0,37
8	4,65	8,11	30,54	10,96	4,51	0,29
10	4,62	5,57	30,03	12,75	7,35	0,27
12	4,56	4,46	25,96	10,22	8,50	0,34
14	4,60	4,34	15,27	7,13	8,90	0,39

Tabela A19 – 7° Ensaio – 18 °Brix - 15 g/L

Tempo (h)	pH	SST (°Brix)	ART (g/L)	Células (g/L)	Etanol (°GL)	Acidez (g/100ml)
0	4,98	18,00	174,08	3,93	0,0	0,33
2	4,86	16,15	123,69	5,33	0,5	0,42
4	4,61	14,15	96,20	5,84	2,1	0,23
6	4,70	10,65	57,08	12,07	3,25	0,32
8	4,61	7,65	27,99	13,09	4,51	0,29
10	4,57	5,57	23,92	12,58	6,60	0,31
12	4,55	4,46	21,89	13,09	7,35	0,37
14	4,58	4,34	14,76	12,24	7,80	0,39

ESTUDO CINÉTICO DA BIDESTILAÇÃO**Tabela A20** – Resultados do estudo cinético da dupla destilação do fermentado de algaroba obtido com a levedura comercial

Fração coração	Teor alcoólico °GL	V. destilado (mL)	Temp. destilado (°C)
1ª EXTRAÇÃO	61	500	25
2ª EXTRAÇÃO	58	500	25
3ª EXTRAÇÃO	54	500	25
4ª EXTRAÇÃO	50	500	25
5ª EXTRAÇÃO	46	500	25
6ª EXTRAÇÃO	40	500	25
7ª EXTRAÇÃO	32	500	25
8ª EXTRAÇÃO	24	500	25
9ª EXTRAÇÃO	25	500	25

Tabela A21 – Resultados do estudo cinético da dupla destilação do fermentado de algaroba obtido com o levedura ALG3

Fração coração	Teor alcoólico °GL	V. destilado (mL)	Temp. destilado (°C)
1ª EXTRAÇÃO	70	250	25,0
2ª EXTRAÇÃO	69	250	24,0
3ª EXTRAÇÃO	68	250	25,0
4ª EXTRAÇÃO	66	250	25,0
5ª EXTRAÇÃO	64	250	25,0
6ª EXTRAÇÃO	62	250	25,0
7ª EXTRAÇÃO	59	250	26,0
8ª EXTRAÇÃO	58	250	26,0
9ª EXTRAÇÃO	52	250	25,5
10ª EXTRAÇÃO	49	250	25,0
11ª EXTRAÇÃO	45	250	26,0
12ª EXTRAÇÃO	40	250	26,0
13ª EXTRAÇÃO	37	250	26,0
14ª EXTRAÇÃO	31	250	25,5
15ª EXTRAÇÃO	25	250	26,0
16ª EXTRAÇÃO	21	250	25,0
17ª EXTRAÇÃO	16	250	25,0
18ª EXTRAÇÃO	13	250	25,0

PLANILHAS OBTIDAS DURANTE AS SECAGENS DO RESÍDUO Prensado DE ALGAROBA À 50, 60, 70 E 80°C.

Tabela A22 – Resultados da secagem do resíduo prensado à 50°C

Tempo	Peso T1	Peso T2	Peso G	BU	BS	RX
0	260,00	260,30	195,81	42,63	74,30	1,00
3	249,82	250,58	185,86	39,56	65,44	0,92
6	243,53	244,22	179,54	37,43	59,81	0,87
9	237,38	238,86	173,78	35,36	54,69	0,81
12	232,28	233,84	168,72	33,42	50,19	0,76
15	229,08	229,41	164,91	31,88	46,79	0,72
18	224,82	225,82	160,98	30,21	43,30	0,67
21	221,06	222,29	157,34	28,60	40,05	0,63
24	217,98	219,20	154,25	27,17	37,31	0,59
27	215,07	216,45	151,42	25,81	34,79	0,56
30	212,59	213,93	148,92	24,56	32,56	0,52
35	209,17	210,00	145,25	22,65	29,29	0,47
40	206,25	206,69	142,13	20,96	26,52	0,43
45	203,23	203,82	139,19	19,29	23,90	0,38
60	196,29	197,20	132,41	15,15	17,86	0,27
75	191,89	192,68	127,95	12,20	13,89	0,20
90	188,85	189,95	125,06	10,17	11,32	0,14
120	185,58	186,84	121,87	7,82	8,48	0,08
150	183,93	185,42	120,34	6,64	7,12	0,05
180	183,40	184,67	119,70	6,14	6,55	0,03
240	182,60	183,93	118,93	5,54	5,86	0,02
300	182,30	183,32	118,47	5,17	5,46	0,01
360	182,10	183,14	118,28	5,02	5,29	0,00

Tabela A23 – Resultados da secagem do resíduo prensado à 60°C

Tempo	Peso T1	Peso T2	Peso G	BU	BS	RX
0	260,34	260,14	195,90	42,91	75,16	1,00
3	252,20	249,11	186,32	39,97	66,59	0,93
6	243,19	240,29	177,40	36,96	58,62	0,85
9	236,40	233,02	170,37	34,35	52,33	0,78
12	230,27	226,85	164,22	31,90	46,83	0,72
15	224,50	221,52	158,67	29,51	41,87	0,66
18	219,77	216,62	153,86	27,31	37,57	0,60
21	215,51	212,89	149,86	25,37	33,99	0,55
24	211,84	209,19	146,18	23,49	30,70	0,51
27	208,67	206,14	143,07	21,83	27,92	0,46
30	205,67	203,72	140,36	20,32	25,50	0,43
35	201,28	200,50	136,55	18,10	22,09	0,37
40	197,75	197,07	133,07	15,95	18,98	0,32
45	194,79	194,09	130,10	14,04	16,33	0,27
60	188,54	188,02	123,94	9,76	10,82	0,16
75	185,10	185,59	121,01	7,57	8,19	0,10
90	183,14	184,90	119,68	6,55	7,01	0,08
120	181,42	182,88	117,81	5,07	5,34	0,04
150	180,69	182,25	117,13	4,52	4,73	0,02
180	180,32	181,94	116,79	4,24	4,43	0,02
240	179,53	181,47	116,16	3,72	3,86	0,00
300	179,34	181,18	115,92	3,52	3,65	0,00
360	179,00	181,18	115,75	3,38	3,50	0,00

Tabela A24 – Resultados da secagem do resíduo prensado à 70°C

Tempo	Peso T1	Peso T2	Peso G	BU	BS	RX
0	260,18	260,96	196,23	42,97	75,35	1,00
3	245,82	248,08	182,61	38,72	63,18	0,89
6	236,13	238,28	172,87	35,26	54,47	0,81
9	227,90	229,60	164,41	31,93	46,91	0,72
12	219,64	222,84	156,90	28,67	40,20	0,64
15	214,20	217,01	151,27	26,02	35,17	0,58
18	209,47	211,07	145,93	23,31	30,40	0,51
21	206,18	207,01	142,26	21,33	27,12	0,46
24	202,79	203,03	138,57	19,24	23,82	0,41
27	199,62	199,09	135,02	17,11	20,65	0,35
30	196,84	197,07	132,62	15,61	18,50	0,32
35	193,04	192,08	128,22	12,72	14,57	0,24
40	190,17	190,03	125,76	11,01	12,38	0,20
45	187,89	188,16	123,69	9,52	10,52	0,16
60	183,88	184,34	119,77	6,56	7,02	0,09
75	182,15	182,79	118,13	5,27	5,56	0,06
90	181,37	181,91	117,30	4,60	4,82	0,04
120	180,56	181,25	116,57	3,99	4,16	0,03
150	180,09	180,86	116,14	3,64	3,78	0,02
180	179,74	180,52	115,79	3,35	3,47	0,01
240	179,41	180,28	115,51	3,11	3,21	0,00
300	179,23	180,02	115,29	2,93	3,02	0,00
360	179,05	179,86	115,12	2,78	2,86	0,00

Tabela A25 – Resultados da secagem do resíduo prensado à 80°C

Tempo	Peso T1	Peso T2	Peso G	BU	BS	RX
0	259,03	259,74	195,05	42,81	74,85	1,00
3	245,51	247,15	181,99	38,71	63,15	0,90
6	232,20	234,51	169,02	34,00	51,52	0,78
9	222,80	224,67	159,40	30,02	42,89	0,68
12	215,02	216,64	151,49	26,36	35,80	0,59
15	208,84	210,27	145,22	23,18	30,18	0,51
18	203,88	204,82	140,01	20,33	25,51	0,44
21	199,69	200,09	135,55	17,71	21,52	0,37
24	195,84	196,78	131,97	15,47	18,31	0,32
27	193,27	193,64	129,12	13,60	15,75	0,27
30	190,95	191,15	126,71	11,96	13,59	0,23
35	187,89	187,92	123,57	9,72	10,77	0,17
40	185,90	185,76	121,49	8,18	8,91	0,14
45	184,34	184,23	119,95	7,00	7,53	0,11
60	181,79	181,95	117,53	5,09	5,36	0,06
75	180,71	181,18	116,61	4,34	4,53	0,04
90	180,15	180,68	116,08	3,90	4,06	0,03
120	179,65	180,21	115,59	3,50	3,62	0,02
150	179,26	180,03	115,31	3,26	3,37	0,01
180	178,92	179,87	115,06	3,05	3,14	0,01
240	178,79	179,66	114,89	2,90	2,99	0,00
300	178,63	179,53	114,74	2,78	2,86	0,00
360	178,46	179,43	114,61	2,67	2,74	0,00

PLANILHAS OBTIDAS DURANTE A MOAGEM DO RESÍDUO Prensado DE ALGAROBA À 50, 60, E 70°C.

Tabela A26 – Resultados da moagem do resíduo prensado à 50°C

	M. total (g)	Moagem 1 (g)	Moagem 2 (g)	Moagem 3 (g)
Massa inicial	1423,6	474,53	474,53	474,53
Massa final	1409,9	472,10	468,70	469,10
Rendimentos (%)	99,04	99,49	98,77	98,86
Perdas (%)	0,96	0,51	1,23	1,14
Tempo gasto (min)	27,80	9,10	9,01	9,69

Tabela B27 – Resultados da moagem do resíduo prensado à 60°C

	M. total (g)	Moagem 1 (g)	Moagem 2 (g)	Moagem 3 (g)
Massa inicial	1560,40	520,30	520,30	520,30
Massa final	1552,16	517,93	518,13	516,1
Rendimentos (%)	99,47	99,54	99,58	99,19
Perdas (%)	0,53	0,46	0,42	0,81
Tempo gasto (min)	31,28	10,02	10,45	10,81

Tabela A28 – Resultados da moagem do resíduo prensado à 70°C

	M. total (g)	Moagem 1 (g)	Moagem 2 (g)	Moagem 3 (g)
Massa inicial	1663,62	554,54	554,54	554,54
Massa final	1659,34	553,05	553,00	553,29
Rendimentos (%)	99,74	99,73	99,72	99,77
Perdas (%)	0,26	0,27	0,28	0,23
Tempo gasto (min)	32,33	10,67	11,01	10,65

Tabela A29 – COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DA FARINHA DO RESÍDUO DA ALGAROBA

%	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	D.Padrão
Umidade	-	-	-	10,388	-
Proteínas	6,721	6,75	6,616	6,696	0,071
Lipídios	1,475	1,421	1,411	1,436	0,034
Minerais	2,425	2,572	2,531	2,509	0,076
Acidez	6,875	6,875	6,816	6,845	0,034
Carboidratos	-	-	-	78,971	-
VCT	-	-	-	355,589	-

PLANILHAS DA COMPOSIÇÃO CENTESIMAL DO PÃO DE FORMA COM 5, 10, E 15% DE FARINHA DO RESÍDUO DE ALGAROBA

Tabela A30 – Composição centesimal do pão de forma da farinha do resíduo da algaroba a 5%.

%	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	D.Padrão
Umidade	34,1819	34,2312	34,2384	34,2172	0,03
Proteínas	8,654	8,726	8,661	8,680	0,04
Lipídios	1,976	2,347	2,347	2,161	0,26
Fibra	3,06	3,17	3,14	3,12	0,06
Minerais	1,5523	1,2788	1,4117	1,4143	0,14
Carboidratos	53,6358	53,417	53,3419	53,5275	0,15
VCT	266,943	269,695	269,135	268,591	1,45

Tabela A31 – Composição centesimal do pão de forma da farinha do resíduo da algaroba a 10%.

%	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	D.Padrão
Umidade	38,5154	38,5398	38,8323	38,6292	0,08
Proteínas	8,7033	8,7257	8,9304	8,7865	0,13
Lipídios	1,687	1,849	1,720	1,768	0,12
Fibra	3,45	3,69	3,64	3,59	0,13
Minerais	1,1313	1,3709	1,2297	1,2440	0,12
Carboidratos	49,963	49,5146	49,2876	49,5884	0,34
VCT	249,848	249,602	248,352	249,267	0,80

Tabela A32 – Composição centesimal do pão de forma da farinha do resíduo da algaroba a 15%.

%	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média	D.Padrão
Umidade	38,3287	38,3142	38,4579	38,3669	0,03
Proteínas	8,708	7,704	8,923	7,921931	1,17
Lipídios	2,957	2,024	2,109	2,491	0,66
Fibra	2,48	2,80	3,09	2,79	0,31
Minerais	1,5523	1,2788	1,4117	1,4143	0,14
Carboidratos	48,454	50,679	49,0984	49,41047	1,14
VCT	255,261	251,748	251,067	252,692	2,25