

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**

**“COMPARAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PROCESSO
CONVENCIONAL DE TORRAÇÃO DO CACAU FRENTE AO
PROCESSO POR MICROONDAS”**

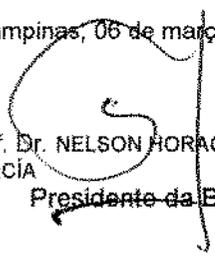
Aluna Pesquisadora: Ana Lúcia Fadini

Professor Orientador: Dr. Nelson Horacio Pezoa García

PARECER

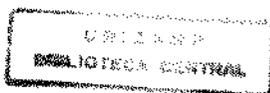
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por ANA LÚCIA FADINI aprovada pela Comissão Julgadora em 06 de março de 1998.

Campinas, 06 de março de 1998.

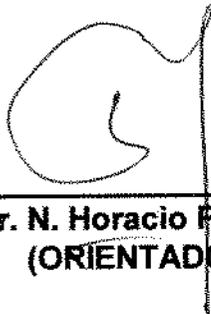

Prof. Dr. NELSON HORACIO PEZOA
GARCÍA
Presidente da Banca

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Tecnologia de Alimentos

Campinas, março de 1998



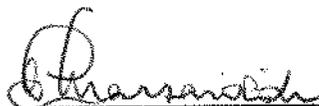
BANCA EXAMINADORA



**Prof. Dr. N. Horacio Pezoa García
(ORIENTADOR)**



**Prof. Dra. Maria Aparecida Azevedo P. da Silva
(MEMBRO)**



**Prof. Dr. Antônio Marsaioli Jr.
(MEMBRO)**

**Prof. Dra. Hilary Castle de Menezes
(MEMBRO)**

Campinas, de março de 1998

***À Aninha e ao Pedrão pela vida
de dedicação
Ao Brother pelo apoio
Ao Alexandre pela paciência e
compreensão***

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. N. Horacio Pezoa García, pela orientação, dedicação e apoio dispensados durante todo o mestrado.

À Prof^ª. Dra. Maria Aparecida Azevedo P. da Silva e Prof^ª. Dra. Hilary Castle de Menezes pelas sugestões dadas na fase de correção deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Antônio Marsaioli Jr. pela colaboração na execução desta dissertação e ainda pelas sugestões dadas na fase de correção deste trabalho.

À CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

À INDECA pela doação do cacau utilizado neste trabalho e pela dedicação de D. Marília na análise sensorial das amostras.

À CARGILL pela colaboração na análise sensorial das amostras de cacau.

À Santista Alimentos por permitir o uso de sua planta piloto.

Ao Laboratório de Microondas do DEA pela colaboração prestada, em especial ao Estevã pela paciência dispendida.

Ao Laboratório de Tecnologia Geral da FEA pela colaboração e compreensão.

Ao Laboratório de Frutas, Hortaliças e Produtos Açucarados, com agradecimento especial à Mara, Aninha, Natalina e Valdeci.

Às amigas Vanessa, Patrícia e Regina pela amizade.

À Cristina e a Victoria pela enorme colaboração e amizade.

À Sandra e ao Luis pelo apoio e amizade.

Ao José Ricardo pelo grande apoio na realização das análises cromatográficas deste trabalho.

A todos os colegas de pós-graduação.

Ao ITAL pelo apoio, especialmente aos colegas: Marcia, através de quem tudo começou, à Marise, Fernanda, Luccas, Érika e Thomas.

À Sandrinha pela força dada.

Ao Katumi e a Emília pela colaboração prestada.

À Antonieta pela paciência e colaboração.

A todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Ana Lúcia Fadini

SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE TABELAS	III
NOMENCLATURA DAS AMOSTRAS	V
RESUMO	VI
SUMMARY	VIII
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVO	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 Cacau: generalidades	4
3.2 Torração das amêndoas de cacau	6
3.2.1 Generalidades	6
3.2.2 Torração contínua e por batelada - configuração dos torradores	10
3.3 Reação de Maillard e formação de pirazinas	14
3.4 Quantificação dos aromas	19
3.5 Energia de microondas	22
3.5.1 Aquecimento por microondas	23
3.5.2 Propriedades dielétricas dos materiais e interação com as microondas	26
3.5.3 Aplicações da energia de microondas na indústria de alimentos	30
3.5.4 Efeito das microondaas sobre os componentes dos alimentos	32
3.5.5 Vantagens do uso da energia de microondas	33
3.6 Análise sensorial	34
3.6.1 Seleção dos provadores	36
3.6.2 Elaboração da lista de atributos para descrever as amostras	37
4. MATERIAIS E MÉTODOS	39
4.1 Materiais	39
4.1.1 Amêndoas de cacau	39
4.1.2 Equipamentos e aparelhos	39
4.1.3 Reagentes	40
4.2 MÉTODOS	41
4.2.1 Preparo da matéria-prima	42
4.2.2 Caracterização físico-química das amêndoas de cacau	42
4.2.3 Torração	43
4.2.3.1 Torração em forno elétrico rotativo em bateladas	43
4.2.3.2 Torração em forno rotativo contínuo de microondas	44
4.2.3.2.1 Calibração do alimentador	45
4.2.3.2.2 Determinação da rotação do cilindro	45
4.2.3.2.3 Determinação da vazão mássica	46
4.2.3.2.4 Ajuste do alimentador	46
4.2.3.2.5 Distribuição do tempo de residência	46
4.2.3.2.6 Determinação das potências de microondas	47

4.2.4	Moagem do produto torrado	48
4.2.5	Determinação das melhores condições para a torração convencional e por microondas	48
4.2.5.1	Avaliação sensorial	48
4.2.5.1.1	Condições do teste	49
4.2.5.1.2	Preparo da amostra	49
4.2.5.1.3	Seleção da equipe de provadores	50
4.2.5.1.4	Desenvolvimento de terminologia descritiva	50
4.2.5.1.5	Treinamento	52
4.2.5.1.6	Seleção dos provadores	52
4.2.5.1.7	Avaliação das amostras	53
4.2.5.1.8	Análise dos dados	53
4.2.6	Extração, separação, identificação e dosagem de alquilpirazinas	54
4.2.6.1	Extração dos voláteis	54
4.2.6.2	Separação, identificação e dosagem de alquilpirazinas por cromatografia gasosa	55
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
5.1	Caracterização da matéria-prima	58
5.1.1	Análises químicas e físicas	58
5.2	Torração	59
5.2.1	Torração convencional	59
5.2.2	Torração por microondas	61
5.2.2.1	Calibração do alimentador	61
5.2.2.2	Determinação da rotação do cilindro	62
5.2.2.3	Determinação da vazão mássica	63
5.2.2.4	Ajuste do alimentador	64
5.2.2.5	Distribuição do tempo de residência	64
5.2.2.6	Densidades de potências de microondas	65
5.3	Análise sensorial	66
5.3.1	Desenvolvimento da terminologia descritiva	66
5.3.2	Seleção de provadores para a análise descritiva quantitativa	70
5.3.3	Análise descritiva quantitativa de liquor de cacau torrado convencionalmente e com aplicação de microondas	71
5.4	Análise dos compostos voláteis do cacau	78
5.4.1	Extração dos compostos voláteis	78
5.4.2	Cromatografia gasosa	78
5.4.3	Composição aromática das amostras de amêndoas de cacau inteiras, torradas convencionalmente	79
5.4.4	Composição aromática das amostras de amêndoas de cacau inteiras, torradas por microondas	82
5.4.5	Comparação da composição aromática entre as amostras de amêndoas de cacau torradas inteiras, convencionalmente e por microondas	85
5.4.6	Composição aromática das amostras de "nibs" torradas convencionalmente	88
5.4.7	Composição aromática das amostras de "nibs" torradas por microondas	90
5.4.8	Comparação da composição aromática entre as amostras de "nibs" torradas convencionalmente e por microondas	93

5.4.9 Comparação entre as amostras de amêndoas inteiras e de “nibs”, ambas torradas por microondas	97
5.4.10 Comparação entre as amostras de amêndoas inteiras e de “nibs”, ambas torradas convencionalmente	100
5.5 Aspectos econômicos	103
6. CONCLUSÕES	105
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	107
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
Apêndice A I	116
Apêndice A II	117
Apêndice A III	118
Apêndice B	119
Apêndice C	120
Apêndice D	121
Apêndice E	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de processamentos alternativos das amêndoas de cacau	9
Figura 2. Diagrama de um dos mais antigos torradores, onde os grãos são aquecidos por condução	10
Figura 3. Vista do corte de um torrador onde os grãos são aquecidos por condução e convecção	11
Figura 4. Vista do corte de um torrador de cascata	12
Figura 5. Reação de formação de pirazinas	16
Figura 6. Estrutura básica da pirazina	16
Figura 7. Espectro de frequências eletromagnéticas	22
Figura 8. Interação do alimento com as microondas	24
Figura 9. Rotação dipolar devida à mudanças de polaridade do campo	26
Figura 10. Fluxograma geral de processamento das amêndoas de cacau	41
Figura 11. Desenho esquemático do forno cilíndrico rotativo com aplicação de microondas	45
Figura 12. Ficha para o método de descrição entrecruzada	51
Figura 13. Micro extrator-destilador do tipo Likens & Nikerson acoplado a um destilador por arraste de vapor	55
Figura 14. Valores médios de temperatura dentro da cavidade do forno elétrico rotativo para a torração de amêndoas inteiras	59
Figura 15. Valores médios de temperatura dentro da cavidade do forno elétrico rotativo para a torração de "nibs"	60
Figura 16. Calibração do alimentador para amêndoas inteiras e "nibs"	62
Figura 17. Distribuição dos tempos de residência para os "nibs" e amêndoas inteiras dentro do forno com aplicação de microondas	64
Figura 18. Ficha para análise sensorial descritiva quantitativa de liquor de cacau (aparência e aroma)	68

Figura 19. Ficha para análise sensorial descritiva quantitativa de liquor de cacau (sabor)	69
Figura 20. Projeção bidimensional da análise de componentes principais das amostras de liquor de cacau	73
Figura 21. Gráfico em estrela com as médias dos atributos para as amostras de liquor de cacau	76
Figura 22. Cromatograma dos padrões de metilpirazinas estudadas e padrão interno, 4-etilpiridina	79
Figura 23. Perfil da evolução da concentração dos compostos aromáticos estudados, para as amêndoas de cacau torradas inteiras em forno convencional	82
Figura 24. Perfil da evolução da concentração dos compostos aromáticos estudados, para as amêndoas de cacau torradas inteiras por microondas	84
Figura 25. Perfil da evolução da concentração dos compostos aromáticos estudados, para os "nibs" torrados em forno convencional	90
Figura 26. Perfil da evolução da concentração dos compostos aromáticos estudados, para os "nibs" torrados por microondas	93

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Composição química média da amêndoa de cacau, expressa em relação à matéria seca	5
Tabela 2. Componentes voláteis do aroma de cacau (n=número de componentes)	18
Tabela 3. Indicação da atividade dielétrica para alguns constituintes dos alimentos	28
Tabela 4. Composição química da amêndoa de cacau, em base seca	58
Tabela 5. Composição física da amêndoa de cacau	59
Tabela 6. Umidade final das amêndoas interias e “nibs” torrados convencionalmente	61
Tabela 7. Dados da torração de amêndoas inteiras com aplicação de microondas	66
Tabela 8. Dados da torração dos “nibs” com aplicação de microondas	66
Tabela 9. Composição de cada referência para cada extremo dos termos descritivos selecionados	67
Tabela 10. Média dos atributos para cada amostra avaliada e respectivas diferenças estatísticas	71
Tabela 11. Concentração de metilpirazinas em amostras de amêndoas de cacau torradas inteiras em forno convencional, a 150°C, em µg/kg de liquor	80
Tabela 12. Concentração de metilpirazinas em amostras de amêndoas de cacau torradas inteiras por processo contínuo de aplicação de microondas, em µg/kg de liquor	83
Tabela 13. Comparação da concentração das metilpirazinas estudadas (µg/kg de liquor), entre as amêndoas torradas convencionalmente e por microondas, para os diferentes tempos e potências estudados	86
Tabela 14. Concentração de metilpirazinas em amostras de “nibs” torradas em forno convencional, a 150°C, em µg/kg de liquor	88
Tabela 15. Concentração de metilpirazinas em amostras de “nibs” torradas por processo contínuo de aplicação de microondas, em µg/kg de liquor	91

Tabela 16. Comparação da concentração das metilpirazinas estudadas ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de liquor), entre os “nibs” torrados convencionalmente e por microondas, para os diferentes tempos e potências estudados	94
Tabela 17. Comparação da concentração das metilpirazinas estudadas ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de liquor), entre as amêndoas inteiras e os “nibs” torrados por microondas, para as diferentes potências estudadas	97
Tabela 18. Comparação da concentração das metilpirazinas estudadas ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de liquor), entre as amêndoas inteiras e os “nibs” torrados convencionalmente, a 150°C em diferentes tempos	100
Tabela 19. Termos descritivos para aparência, criados segundo o método de descrição entrecruzada para liquor de cacau	116
Tabela 20. Termos descritivos para sabor, criados segundo o método de descrição entrecruzada para liquor de cacau	117
Tabela 21. Termos descritivos para aroma, criados segundo o método de descrição entrecruzada para liquor de cacau	118
Tabela 22. Termos descritivos selecionados pela equipe sensorial para a aparência, aroma e sabor	119
Tabela 23. Níveis de significância (p) para provadores em função da discriminação das amostras (F_{amostra})	120
Tabela 24. Níveis de significância (p) para provadores em função da repetibilidade ($F_{\text{repetição}}$)	121
Tabela 25. Médias da equipe sensorial e de cada provador para cada atributo julgado para todos os provadores	122

NOMENCLATURA DAS AMOSTRAS

AM 36 (Amêndoas torradas inteiras por 36 minutos em forno elétrico)

AM 40 (Amêndoas torradas inteiras por 40 minutos em forno elétrico)

AM 42 (Amêndoas torradas inteiras por 42 minutos em forno elétrico)

AM 44 (Amêndoas torradas inteiras por 44 minutos em forno elétrico)

AM 2.600 (Amêndoas torradas inteiras com 2.600 Watts de potência de microondas)

AM 2.800 (Amêndoas torradas inteiras com 2.800 Watts de potência de microondas)

AM 3.000 (Amêndoas torradas inteiras com 3.000 Watts de potência de microondas)

AM 3.200 (Amêndoas torradas inteiras com 3.200 Watts de potência de microondas)

N 30 ("Nibs" torrados por 30 minutos em forno elétrico)

N 34 ("Nibs" torrados por 34 minutos em forno elétrico)

N 36 ("Nibs" torrados por 36 minutos em forno elétrico)

N 38 ("Nibs" torrados por 38 minutos em forno elétrico)

N 2.500 ("Nibs" torrados com 2.500 Watts de potência de microondas)

N 2.600 ("Nibs" torrados com 2.600 Watts de potência de microondas)

N 2.800 ("Nibs" torrados com 2.800 Watts de potência de microondas)

N 3.000 ("Nibs" torrados com 3.000 Watts de potência de microondas)

RESUMO

O processo de torração do cacau é crucial para a obtenção das características de sabor do chocolate. É durante este tratamento térmico que se desenvolvem os mais importantes componentes do complexo sistema aromático do cacau.

A torração do cacau em "nibs" (cotilédones fragmentados) foi uma importante evolução na torração do cacau, no entanto, por alguns problemas técnicos nem todas as empresas processadoras de cacau adotaram esta metodologia, continuando ainda a torrar as amêndoas inteiras, o que acarreta em uma grande desuniformidade na distribuição da energia aplicada neste tratamento.

Quando se torra as amêndoas inteiras podem existir diferenças de temperaturas de até 5 °C entre a superfície e o centro da amêndoa, o que pode conduzir a uma torração adequada na superfície e insuficiente no centro da amêndoa, ou então torração adequada no centro e sobre-torrção na sua superfície. Sabe-se que temperaturas muito elevadas dentro da amêndoa provocam perdas de manteiga de cacau, por migração desta para a superfície.

Tendo em vista as dificuldades na garantia da uniformidade das condições de torração do cacau, procurou-se neste estudo avaliar a aplicação da energia de microondas para torrar o cacau.

Torrou-se o produto na forma de amêndoas inteiras e também fragmentado em "nibs", tanto em forno elétrico rotativo, assim como através da aplicação de microondas em um forno rotativo contínuo. No processo convencional a variável foi o tempo de torração (36, 40, 42 e 44 minutos para as amêndoas inteiras e 30, 34, 36 e 38 minutos para os "nibs", com temperatura da camisa do forno fixada em 150°C). No processo por microondas a variável foi a densidade de potência aplicada (236,15; 254,31;

272,48 e 290,64 Wh/kg para as amêndoas inteiras e 218,53; 227,27; 244,75 e 262,23 Wh/kg para os “nibs”, com um tempo de processo de aproximadamente 8 e 9 minutos, respectivamente).

As amostras obtidas foram avaliadas primeiramente por três “experts” em análise sensorial, os quais indicaram as quatro melhores amostras, que foram então avaliadas por uma equipe sensorial treinada na UNICAMP, através da análise descritiva quantitativa. Fez-se ainda a quantificação, por cromatografia gasosa, de sete importantes compostos aromáticos presentes no cacau torrado: 2-metilpirazina; 2,5-dimetilpirazina; 2,6-dimetilpirazina; etilpirazina; 2,3-dimetilpirazina; 2,3,5-trimetilpirazina e 2,3,5,6-tetrametilpirazina, a fim de se conhecer seus comportamentos durante os processos térmicos estudados e relacioná-los aos resultados da análise sensorial realizada.

Os resultados obtidos demonstraram que é possível torrar o cacau mediante a utilização da energia de microondas, a qual permitiu o desenvolvimento normal da Reação de Maillard, levando à formação das metilpirazinas, importantes componentes voláteis presentes na fração aromática do cacau. A torração de amêndoas de cacau inteiras apresentou melhores resultados quando foi feita através da aplicação da energia de microondas, sendo que para os “nibs” observou-se comportamento semelhante entre o processo convencional e aquele por microondas.

SUMMARY

The roasting process of cocoa is crucial to the production of the flavour characteristics of chocolate. It is during this thermal treatment that the most important components of the complex aromatic system of cocoa develop.

The roasting of cocoa in the form of nibs (fragmented cotyledons) was an important evolution in cocoa roasting. However, for a variety of technical reasons, not whole beans, resulting in a great lack of uniformity in the distribution of the energy applied during this treatment.

When roasting whole beans, temperature differences of up to 5°C can occur between the surface and centre of the bean, which can result in an adequate roasting at the surface but inadequate at the centre, or adequate at the centre and over-roasting at the surface. It is known that very high temperatures at the centre of the bean result in losses of cocoa butter, due to migration to the surface.

In view of the difficulties in guaranteeing uniform cocoa roasting conditions, this study aimed at evaluating the application of microwave energy to the roasting of cocoa. Both whole beans and nibs were roasted in a rotary electric oven and in a continuous rotary microwave oven.

In the conventional process the variable was the roasting time (36, 40, 42 and 44 minutes for the whole beans and 30, 34, 36 e 38 minutes for the nibs), the oven jacket temperature being fixed at 150°C in both cases. In the microwaves process, the variable was the power density applied (236.15, 254.31, 272.48 and 290.64 Wh/kg for the whole beans and 218.53, 227.27, 244.75 and 262.24 Wh/kg for the nibs) the processing time being approximately 8 and 9 minutes respectively.

The products obtained were first evaluated by three experts in a sensory evaluation which indicated the best four samples. These four samples were

subsequently evaluated by a taste panel trained at UNICAMP, using the quantitative descriptive analysis technique. In addition the following seven aromatic compounds, important in roasted cocoa, were quantified by gas chromatography in order to determine their behaviour during the thermal processes applied and relate the results to those of the sensory analysis: 2-methylpyrazine, 2,5-dimethylpyrazine, 2,6-dimethylpyrazine, ethylpyrazine, 2,3-dimethylpyrazine, 2,3,5-trimethylpyrazine and 2,3,5,6-tetramethylpyrazine.

The results showed that it is possible to roast cocoa using microwave energy, allowing for normal development of the Maillard Reaction and the formation of methylpyrazines, important volatile compounds present in the aromatic fraction of cocoa. In the roasting of whole beans, better results were obtained using microwave energy, whereas in the case of nibs, similar results were obtained using both conventional and microwave roasting processes.

1. INTRODUÇÃO

O sabor do chocolate não existe naturalmente nos grãos de cacau, sendo que será produzido por uma série de reações, as quais se iniciam com o tratamento pós-colheita do fruto (fermentação e secagem) e continuam no decorrer do processo de fabricação do chocolate. A qualidade do produto é influenciada por cada uma das etapas do processo, no entanto, falhas nos primeiros estágios podem influenciar a qualidade do produto nas etapas finais de fabricação (MARTIN, 1987).

As características do aroma do chocolate são o resultado de dois principais estágios do processamento dos grãos: a fermentação e a torração. A primeira etapa é feita ainda no campo, sendo que a torração é realizada nas indústrias processadoras de grãos ou então nas próprias fábricas de chocolate (VAN der WAL, 1971).

Na fermentação ocorrem reações bioquímicas no interior dos cotilédones, iniciando-se o desenvolvimento dos componentes precursores do sabor de chocolate: aminoácidos e açúcares redutores livres. Estes componentes irão se reagir durante a etapa de torração do cacau (Reação de Maillard), levando à formação das características de sabor desejadas.

Entre os compostos aromáticos formados durante a etapa de torração do cacau, as pirazinas predominam em número. O cacau torrado possui aproximadamente 500 compostos voláteis já identificados. Segundo BAREL *et alii* (1983), as pirazinas representam cerca de 25% dos produtos identificados na fração aromática do chocolate. A concentração destes componentes aromáticos aumenta no decorrer da torração, sendo que a diminuição do teor de algumas

pirazinas é coincidente com o início da sobre-torração do produto, possivelmente devido a volatilização destas, dado o aumento de temperatura (PEZOA, 1989; MERMET *et alii*, 1992).

Quando se torra convencionalmente um produto, o aquecimento é feito por condução da energia da sua superfície para seu interior, o que em alguns casos pode causar problemas de falta de uniformidade no tratamento realizado. Portanto, este estudo vem buscar uma forma alternativa de torração, através da aplicação da energia de microondas. Segundo CAMPOS (1986), as microondas possuem uma habilidade de penetração muito alta e geram calor uniformemente através da massa de materiais eletricamente não condutores, com gradiente de calor menos acentuado e temperatura mais uniforme através de todo o material.

As condições utilizadas no processo de torração das amêndoas de cacau têm influência direta na composição aromática do produto final, portanto, a avaliação cromatográfica dos compostos voláteis é de extrema importância quando se deseja alterar qualquer parâmetro de processo. A cromatografia gasosa é uma técnica analítica bastante utilizada nas pesquisas que envolvem aromas, pois apresenta bons limites de resolução e sensibilidade.

O uso da análise sensorial também é recomendado no controle do processo de fabricação dos alimentos, pois o confrontamento dos dados analíticos com os sensoriais levam a conclusões mais precisas sobre a qualidade do produto em estudo.

Este trabalho compreendeu, portanto, a realização de testes de torração de cacau através da aplicação de microondas e estudou o perfil cromatográfico de algumas pirazinas presentes no cacau torrado, assim como comparou os resultados analíticos com os dados obtidos na análise sensorial descritiva quantitativa.

2. OBJETIVO

O presente trabalho teve por objetivo melhorar a eficiência da torração de cacau, tanto na forma de amêndoas inteiras quanto em "nibs" (cotilédone fragmentado), por meio da introdução da energia de microondas, diminuindo desta forma o tempo de processo e promovendo maior uniformidade da temperatura do produto.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - Cacau: Generalidades

O cacau (*Theobroma cacao L.*) pertence à família Esterculiaceae, sendo que suas principais variedades são cultivadas desde a América do Sul, América Central, América do Norte, África, Ásia e Oceania (ZAMALLOA, 1994).

No pré-processamento do cacau, após a colheita, os frutos são inicialmente partidos, sendo que em seguida as sementes, juntamente com a mucilagem, são fermentadas, secas e então armazenadas até a posterior etapa de torração.

A composição química do cacau depende de diversos fatores, principalmente da espécie e origem das amêndoas, das práticas agrícolas e do grau de maturação dos frutos. A composição química média da amêndoa de cacau está apresentada na Tabela 1.

O cacau brasileiro é caracterizado por apresentar uma acidez elevada. Alguns autores atribuem tal característica à falta de revolvimentos das amêndoas durante a etapa de fermentação (LOPEZ *et alii*, 1982; SCHWAN *et alii*, 1990).

ZAMALLOA (1994), destaca que embora os critérios físicos e químicos como teor de gordura, proteína, carboidratos, cor e pH sejam frequentemente usados como base para avaliação da qualidade das amêndoas secas, o critério final de qualidade é o sabor após a torração. Além de estar intimamente relacionado à variedade, o sabor é bastante influenciado pelas técnicas de pré-processamento, sendo que o desenvolvimento potencial do sabor depende principalmente dos processos de fermentação e secagem.

Este conjunto de variáveis irá propiciar um sabor suave ou forte após a torração e etapas posteriores.

Tabela 1. Composição química média da amêndoa de cacau, expressa em relação à matéria seca

COMPOSTOS	% COM RELAÇÃO A MATÉRIA SECA
MANTEIGA DE CACAU	56,0
CINZAS	2,8
TEOBROMINA	1,4
CAFEÍNA	0,2
POLIFENÓIS	6,5
PROTEÍNA BRUTA	12,0
AÇÚCARES	1,2
AMIDO	6,3
PENTOSANAS	1,6
CELULOSE	9,5
ÁCIDOS CARBOXÍLICOS	1,7
DIVERSOS	0,8

Fonte: MINIFIE, 1970

Observa-se que o cacau tem um considerável teor de teobromina, possuindo ainda pequeno teor de cafeína. Tais alcalóides, durante a etapa de fermentação migram parcialmente para a testa (casca) do grão, havendo uma significativa diminuição do sabor amargo dos cotilédones (ROHAM, 1969).

3.2 - Torração das amêndoas de cacau

3.2.1 - Generalidades

PETTIPHER (1990), destaca que o desenvolvimento das características básicas do chocolate requer que o grão de cacau seja fermentado, seco e então torrado.

MERMET *et alii* (1992), reforçam que a otimização das condições de torração do cacau significa desenvolver ao máximo o potencial aromático das amêndoas.

CARLIM *et alii* (1986), destacando a importância da etapa de torração, relatam que uma manteiga de cacau obtida de grãos torrados tem um forte sabor e aroma remanescentes de cacau; já uma manteiga de cacau obtida de grãos submetidos apenas a um tratamento com vapor, apresenta sabor e aroma consideravelmente mais fracos e menos característicos.

Segundo MINSON (1992), a torração é mais que um simples processo de desidratação, sendo considerado um tratamento térmico bem definido, que deve ocorrer sob condições de tempo, temperatura e umidade muito bem controladas e otimizadas para permitir o desenvolvimento das características de sabor requeridas.

No sentido de estimular o desenvolvimento do sabor durante o tratamento térmico, o cacau deve apresentar algumas propriedades básicas, isto é, níveis suficientes dos chamados precursores do sabor. Tais precursores são aminoácidos e açúcares redutores livres formados durante a fermentação e que reagem principalmente durante a etapa de torração (Reação de Maillard) (KEME, 1994). Na etapa de fermentação os precursores do sabor são

formados durante as profundas reações bioquímicas que ocorrem no interior dos cotilédones, acarretando inclusive na morte do gérmen dos grãos de cacau (ROHAM, 1964; REINECCIUS *et alii* 1972; SCHWAN *et alii*, 1990).

Na etapa de secagem a umidade da amêndoa que estava na faixa de 40 a 50% após a fermentação, atinge 6-8%. Esta faixa de umidade é importante para garantir uma melhor conservação da amêndoa durante o armazenamento, antes desta ser submetida à torração (LOPEZ *et alii*, 1973). Ao final da etapa de torração o teor de umidade da amêndoa passa para 2 a 3 %, sendo que será reduzido ainda mais nas etapas seguintes do processamento de chocolate.

Durante a torração três fases importantes são destacadas: um aumento progressivo de temperatura do torrefador até 140-150°C, manutenção desta temperatura pelo tempo necessário para uma boa torração (de 20 a 40 minutos) e um resfriamento rápido para interromper o tratamento térmico no momento desejado (PEZOA, 1989).

GILBERT (1997), destaca que durante a torração as enzimas são inativadas, a estrutura das amêndoas é modificada, favorecendo a moagem e o refino e alguns voláteis indesejáveis são parcialmente eliminados, como por exemplo os ácidos acético, propiônico, butírico e outros.

ZAMALLOA (1994), estudou a torração de cacau, em escala de laboratório, em um forno elétrico estático, a 145 °C por 12, 14 e 16 minutos, sendo que os resultados da análise sensorial mostraram que o melhor tempo de torração a 145 °C foi 14 minutos.

As condições de torração dependem de vários fatores: origem e tipo da amêndoa, período de colheita, tratamentos anteriores à torração, umidade, tamanho das amêndoas e "nibs" e características de sabor desejadas (BAUERMEISTER, 1981; PEZOA, 1989; MERMET *et alii*, 1992).

Já as reações que ocorrem durante a torração são afetadas por fatores tais como tempo, temperatura, conteúdo de água, valor de pH, assim como pela concentração dos precursores dos compostos aromáticos (KEME, 1994).

Os métodos mais comuns de torração são aqueles feitos nas amêndoas inteiras e nos "nibs". Existe também a possibilidade de se torrar o liquor de cacau (massa de cacau integral) (KEME, 1994) (Figura 1).

Na torração de amêndoas inteiras pode existir diferenças de temperatura de até 5°C entre a superfície e o centro da amêndoa, o que pode acarretar em uma sobre-torrção na superfície e torração inadequada no centro da amêndoa, ou então torração adequada na superfície e insuficiência de desenvolvimento de sabor no centro. Temperaturas muito elevadas dentro da amêndoa poderão provocar perdas de manteiga de cacau, pois esta acaba migrando para a testa, a qual será posteriormente removida (BAUERMEISTER, 1981). Estudos realizados por MOHR (1978), indicam que na torração das amêndoas inteiras a diferença de temperatura entre o centro e a superfície da amêndoa pode chegar a 12 °C.

Na torração em "nibs" se faz previamente a separação da casca (testa), o que facilitará a remoção dos voláteis indesejáveis, assim como a perda de gordura por migração será menor. A transferência de calor é feita através de condução e convecção, sendo que pode-se introduzir vapor em diferentes estágios do processo, para melhorar o desenvolvimento de sabor, aroma e cor, assim como para esterilização microbiológica. Na torração de amêndoas inteiras, na maioria das vezes, os grãos são passados em leito fluidizado, a uma temperatura e tempo de residência específicos (STAUFFER, 1994).

Muitos estudos têm destacado que a melhor forma de se torrar o cacau é a utilização do liquor ou massa de cacau, pois trata-se de um produto mais uniforme, permitindo a eliminação dos voláteis indesejáveis muito mais facilmente (MINSON, 1992).

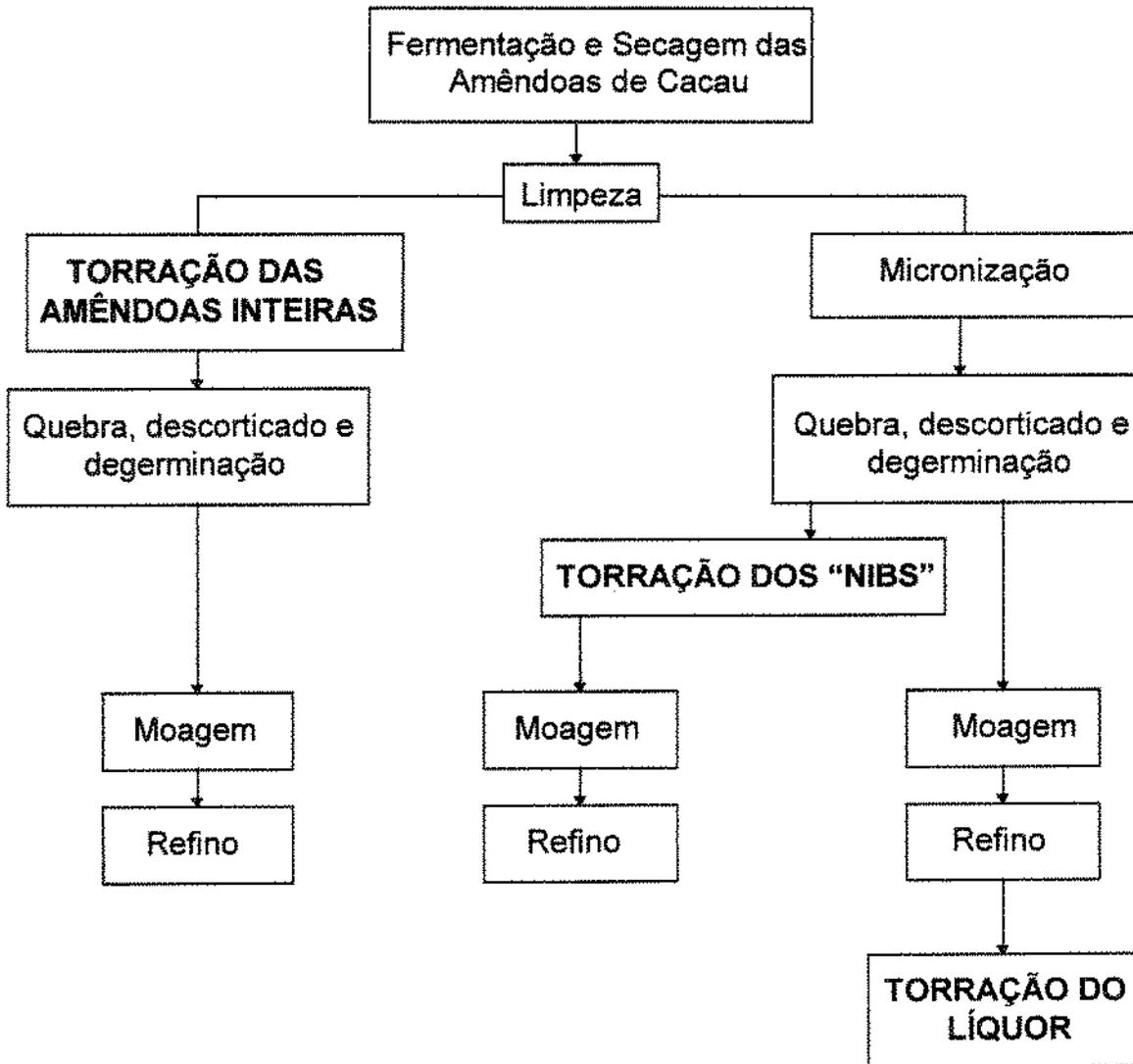


Figura 1. Fluxograma de processamentos alternativos das amêndoas de cacau

3.2.2 - Torração contínua e por batelada - configuração dos torradores

Os primeiros equipamentos para torração de cacau funcionavam por batelada e, devido ao grande número de parâmetros que afetavam o processo, cada operador do equipamento era responsável pelo controle do tempo e temperatura necessários. Cabe destacar que mesmo atualmente o controle do processo de torração depende bastante da experiência do operador.

CHAIRMAN *et alii* (1970), destacam que nos torradores por batelada mais antigos o calor era transmitido por condução, através das paredes aquecidas dos equipamentos (Figura 2).

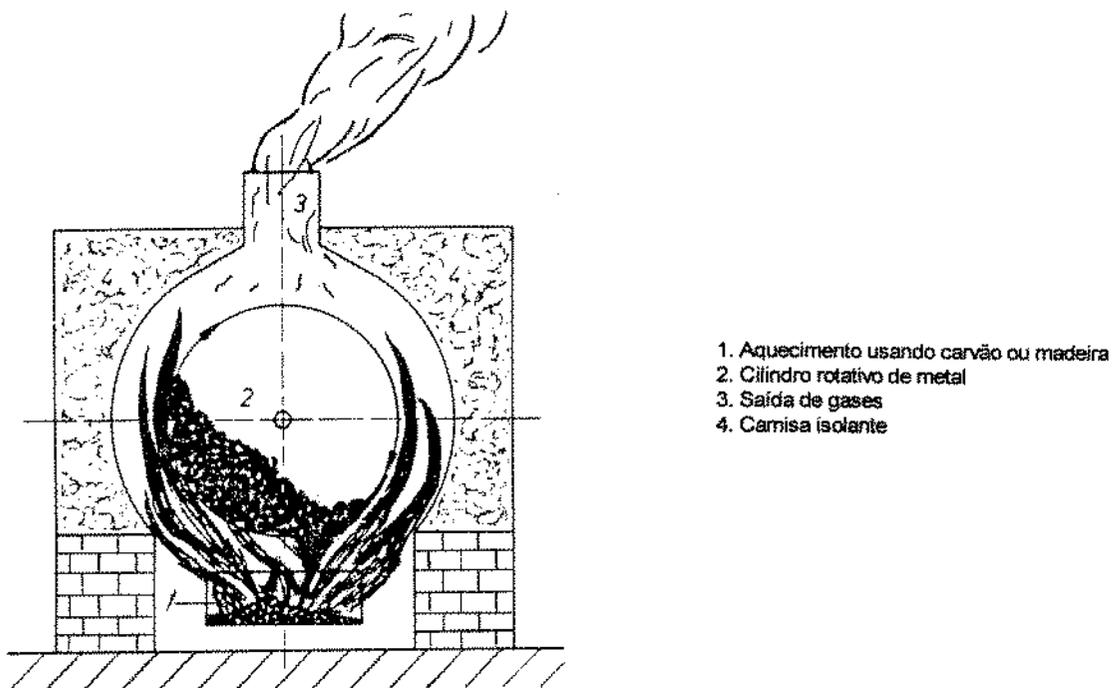


Figura 2. Diagrama de um dos mais antigos torradores, onde os grãos são aquecidos por condução

KLEINERT (1966), citado por MARTIN (1987), destaca que tanto o processo por batelada como o contínuo podem levar a resultados práticos comparáveis, embora não tenham os mesmos parâmetros operacionais, sendo ainda que o fator econômico favorece o processo contínuo.

Os torradores por bateladas podem ser tambores nos quais as amêndoas de cacau vão ser aquecidas pela condução do calor através das paredes do cilindro ou então através da passagem de ar quente entre os grãos, reduzindo as possibilidades de queima (MARTIN, 1987).

Num modelo de torrador por batelada, onde há combinação da transferência de calor por condução e convecção, o equipamento é aquecido externamente, assim como há passagem de ar quente entre os grãos (Figura 3).

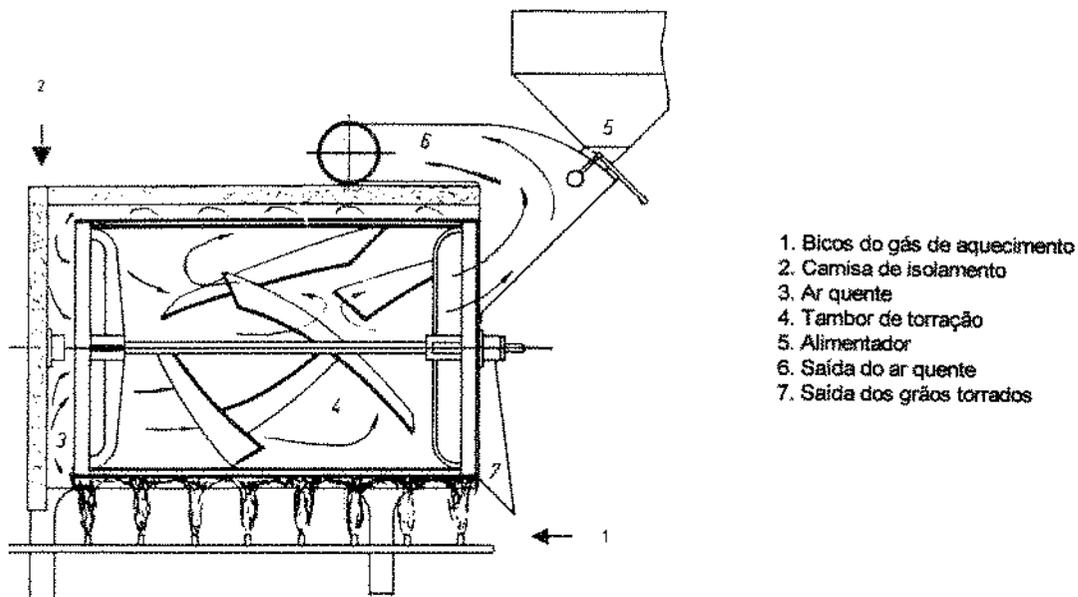


Figura 3. Vista do corte de um torrador onde os grãos são aquecidos por condução e convecção

Os sistemas contínuos mais antigos eram frequentemente aquecidos por fogo direto, sendo que nos mais modernos, na maioria das vezes, o ar é aquecido separadamente e então injetado no torrador. Um dos mais antigos torradores contínuos é um tambor alongado onde os grãos são continuamente transportados, rolando dentro deste tambor e saindo lentamente do equipamento (MARTIN, 1987).

A maioria dos torradores contínuos modernos têm uma configuração vertical com muitos tipos de concepção. Uma das mais comuns é aquela em forma de cascata, na qual os grãos caem por uma série de compartimentos, passando por uma coluna, onde são pré-aquecidos, torrados e totalmente resfriados por convecção, numa direção tangencial a queda dos grãos (Figura 4).

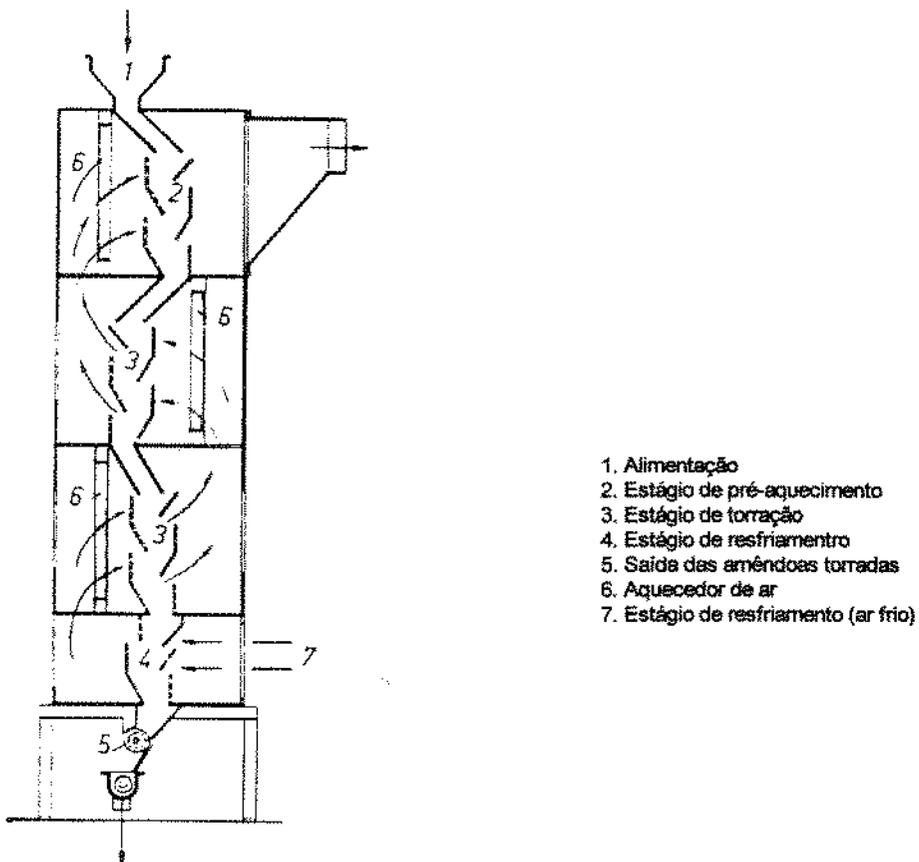


Figura 4. Vista do corte de um torrador de cascata

Nos torradores tipo leito fluidizado o ar é aquecido numa caixa superior chamada "plenum" e é distribuído por tubos especiais ou jatos sobre os grãos que estão se movendo horizontalmente. O princípio da torração é baseado na alta velocidade do ar, curto tempo e alta temperatura. O objetivo do uso deste sistema é principalmente a rápida penetração de calor pela maximização do volume de ar (MARTIN, 1987).

Existe uma outra versão de torrador que combina os princípios do processo contínuo com os do leito fluidizado. Neste caso o cilindro é dividido em vários compartimentos, nos quais podem ser feitos controles individuais de umidade e temperatura. O torrador é dividido em seis zonas, onde os parâmetros podem ser controlados. A torração ocorre pela transmissão de calor por condução e pela ação de jatos de ar dentro da massa de grãos. Há a possibilidade de adição de vapor nas segunda e terceira zonas. Este equipamento é mais versátil que aqueles por batelada ou contínuos (MARTIN, 1987).

Segundo THORZ *et alii* (1984), o método convencional de torração em amêndoas inteiras, seja por processo contínuo ou batelada, apresenta algumas desvantagens críticas. A primeira delas seria a grande demanda de energia necessária para penetrar a testa e atingir o cotilédone. Outra desvantagem é que a torração nunca é uniforme devido a variação nos tamanhos dos grãos, uma vez que costuma-se fazer um "blending" de grãos de diferentes origens e, conseqüentemente, alguns grãos podem ser sobretorrados ou então sofrer uma torração insuficiente. O terceiro problema levantado pelos autores é que em uma torração de amêndoas inteiras com a testa, existe o risco de uma contaminação bacteriana ou por insetos, devido ao fato de que a maior parte dos contaminantes é encontrada na superfície da casca. A remoção de voláteis indesejáveis também pode ser prejudicada neste tipo de torração.

A remoção da testa e quebra das amêndoas em "nibs", previamente à torração pode aumentar significativamente a qualidade e uniformidade do processo, reduzir a carga microbiana e fragmentos de insetos e ainda diminuir o gasto energético. No entanto, cumpre ressaltar que os voláteis indesejáveis como o ácido acético ainda presentes dentro dos "nibs", deverão ser parcialmente removidos nas etapas posteriores de processamento, como por exemplo na etapa de conchagem (THORZ *et alii*, 1984).

Deve-se ressaltar que apesar dos mecanismos de torração variarem conforme as indústrias, os princípios básicos e objetivos desta etapa são sempre os mesmos.

3.3 - Reação de Maillard e formação de pirazinas

Durante a torração do cacau ocorre o desenvolvimento de aromas, principalmente pela Reação de Maillard, a partir dos precursores formados durante a fermentação. Entre os compostos aromáticos formados predominam em número as pirazinas.

Diversos estudos têm sido realizados para determinar as melhores condições de formação das pirazinas, uma vez que diversos fatores podem influenciar sua concentração nos alimentos.

REINECCIUS *et alii* (1972), relatam que a formação de pirazinas durante a etapa de torração é afetada pela origem do cacau, sendo ainda que maiores concentrações de pirazinas serão encontradas nas amêndoas que foram bem fermentadas, quando comparadas àquelas levemente fermentadas ou então subfermentadas. O autor ainda reforça que as mesmas pirazinas estão presentes em todos os casos acima, mas em diferentes proporções. Essas diferenças quantitativas envolvem principalmente os picos da 2-dimetil,

2,3,5-trimetil e 2,3,5,6-tetrametilpirazinas.

GALLOIS (1984), destaca que existem três fontes de pirazinas nos alimentos:

- as naturais;
- aquelas formadas por microorganismos;
- aquelas formadas durante o processo térmico por reação química.

O desenvolvimento de alquilpirazinas é geralmente característico dos produtos submetidos a um tratamento térmico, como produto da Reação de Maillard (ARNOLDI *et alii*, 1988).

Segundo BAREL *et alii* (1985), as pirazinas representam cerca de 25% dos produtos identificados na fração aromática do chocolate.

Existem suposições na literatura de que os aminoácidos livres presentes na amêndoa de cacau se condensariam, depois da fermentação, com os açúcares disponíveis nos cotilédones para formar as cetonas, sendo que outros compostos dicarboxílicos se condensariam com os aminoácidos livres para formar os aldeídos e as aminas; as pirazinas seriam então formadas em seguida por ciclização (BAREL *et alii*, 1983) (Figura 5).

As pirazinas são componentes aromáticos heterocíclicos que aumentam de concentração gradualmente com o decorrer da torração, sendo que a diminuição do teor de algumas pirazinas na amêndoa é coincidente com o início da sobre-torrção. Isto possivelmente ocorre devido a volatilização destas, dado o aumento de temperatura (PEZOA, 1989; MERMET *et alii*, 1992).

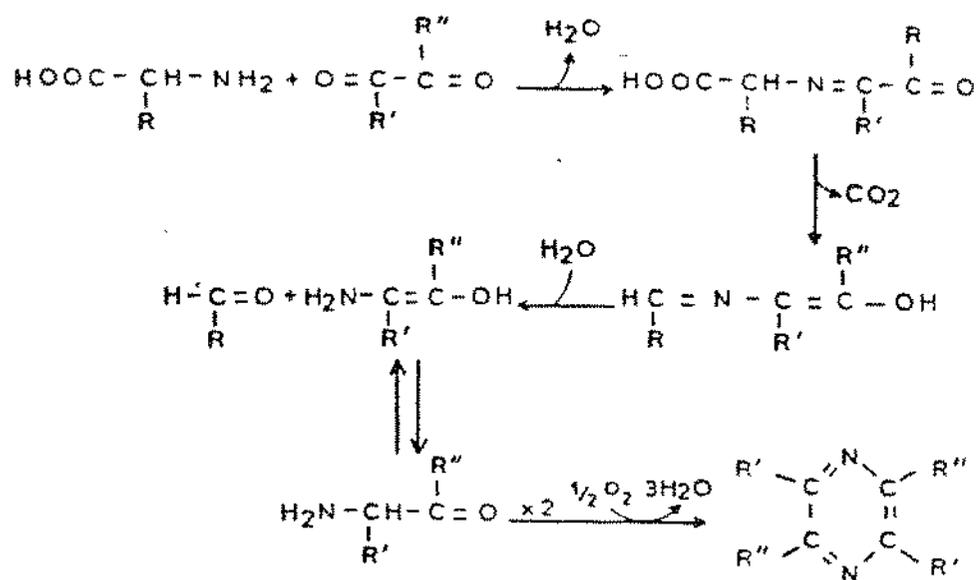


Figura 5. Reação de formação de pirazinas

A Figura 6 mostra a estrutura cíclica hexagonal insaturada das pirazinas, contendo dois átomos de nitrogênio. As duplas ligações desses átomos conferem propriedades básicas ao composto.

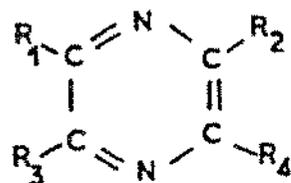


Figura 6. Estrutura básica da pirazina

A formação das metilpirazinas a partir de seus precursores está diretamente relacionada com o tempo e temperatura de torração, sendo que a 2,3,5,6-tetrametilpirazina e a 2,5-dimetilpirazina têm sido consideradas bons indicadores do grau de torração (BAUERMEISTER, 1981).

BAREL *et alii* (1985), destacam que a Reação de Maillard ocorre principalmente durante um tratamento térmico, sendo acelerada com o aumento da temperatura, no entanto, pode também ocorrer à temperatura ambiente ou de estocagem. No início ocorre uma reação entre a função amina de um aminoácido e as funções aldeídicas ou cetônicas de um carboidrato, ou ainda pode ser provocada pelo produto de oxidação de um ácido graxo. A princípio os produtos dessa reação são incolores e fluorescentes, sendo que sua polimerização torna-os escuros.

A Reação de Maillard se desenvolve numa faixa de pH de 3 a 10, onde o pH alcalino favorece a reação e o pH ácido tende a inibi-la. Um teor de umidade na faixa de 7 a 15% aumenta a intensidade desta reação (REINECCIUS *et alii*, 1972).

Segundo SILWAR (1988), o cacau torrado é um dos alimentos considerados "ricos em aroma", sendo que aproximadamente 500 compostos voláteis já foram identificados. No entanto, poucos autores têm publicado dados da complexa composição quantitativa destes compostos de aroma do cacau. A Tabela 2 mostra que dentre estes compostos as pirazinas representam o grupo com maior quantidade de componentes identificados.

Apesar das pirazinas se destacarem dentro do grupo dos componentes do aroma de cacau, estas não apresentam qualquer sabor característico de chocolate, sendo que na verdade o sabor de chocolate é o resultado da mistura complexa do grande número de compostos presentes no cacau.

Tabela 2. Componentes voláteis do aroma de cacau (n=número de componentes)

COMPONENTES	n	COMPONENTES	n
1.ALIFÁTICOS	(194)	4.HETEROCÍCLICOS	(201)
Hidrocarbonetos	10	Compostos oxigenados	(37)
Álcoois	18	Furanos	22
Aldeídos	16	Sulfetos	01
Cetonas,	18	Lactonas	06
dicetonas, hidroxicetonas		Outros	08
Ácidos	35	Compostos	(140)
Ésteres	44	Nitrogenados	
Éteres, acetaldeídos	06	Pirróis	14
Aminas	33	Pirróis (halogenados)	02
Nitrilos	01	Piridinas	13
Compostos de enxofre	10	Pirazinas	79
2.ALICÍCLICOS	(20)	Ciclopentapirazinas	13
Hidrocarbonetos	07	Quinoxaleinas	10
Álcoois	05	Outros	09
Cetonas, dicetonas	04	Thiazóis	09
Ésteres	01	Oxazóis	15
Outros	03		
3.AROMÁTICOS	(93)		
Hidrocarbonetos	32		
Fenóis	08		
Álcoois	05		
Aldeídos	05		
Cetonas	05		
Ácidos	17		
Ésteres	13		
Éteres, acetaldeídos	02		
Compostos de nitrogênio	04		
Compostos de enxofre	02		

Fonte: SILWAR, 1988

3.4 - Quantificação dos aromas

FRANCO (1992), destaca que o sabor envolve o gosto e o aroma. O gosto é formado de sensações básicas devidas aos compostos não voláteis (doce, salgado, amargo e ácido), sendo que o aroma é uma sensação complexa formada por uma série de compostos voláteis. Será, portanto, o gosto e o aroma que somados resultarão no sabor típico dos alimentos.

Segundo MATEOS & CARBONELL (1990), as principais características das substâncias responsáveis pelo aroma dos alimentos são: volatilidade, elevada solubilidade em solventes orgânicos e solubilidade relativamente baixa em água. São nestas características que se apoia a maioria dos métodos utilizados para analisar estes tipos de substâncias.

Pode-se dizer que a análise da fração volátil de um alimento divide-se em quatro partes:

- separação da fração volátil do material não volátil
- concentração da fração volátil
- fracionamento da mistura dos diferentes componentes
- identificação e quantificação dos componentes previamente separados.

Uma vez que o aroma é formado por um grande número de constituintes orgânicos de diferentes estruturas químicas, propriedades e concentrações, sua quantificação é bastante complexa, requerendo equipamentos modernos e sofisticados.

Segundo ZAMALLOA (1994), a cromatografia gasosa é uma técnica analítica amplamente utilizada nas pesquisas que envolvem aromas. Considerando que o aroma é um complexo de compostos, são necessários limites máximos de resolução e sensibilidade da cromatografia gasosa.

Cabe ressaltar que o uso de colunas capilares de sílica fundida permitem separações de misturas complexas em centenas de componentes, em análises relativamente rápidas.

A cromatografia gasosa é uma técnica com um poder de resolução excelente, tornando possível, muitas vezes, a análise de dezenas de substâncias de uma mesma amostra. Um dos principais motivos que tornam a cromatografia gasosa de uso bastante acentuado é sua sensibilidade. Dependendo do tipo de substância analisada e do detector empregado, consegue-se detectar cerca de 10^{-12} g. Esta sensibilidade faz com que haja necessidade de apenas pequenas quantidades de amostra, o que em certos casos é um fator crítico e limita a utilização de outras técnicas. É importante salientar ainda que a cromatografia gasosa é excelente como técnica quantitativa, sendo possível a obtenção de resultados quantitativos em concentrações que variam de picogramas a miligramas (COLLINS *et alii*, 1993).

A separação dos componentes voláteis por cromatografia gasosa baseia-se na diferente distribuição das substâncias da amostra entre uma fase estacionária (sólida ou líquida) e uma fase móvel (gasosa).

VAN der WAL *et alii* (1971), utilizaram a cromatografia gasosa para a separação dos compostos voláteis do cacau, destacando que este é um método com alta sensibilidade.

Segundo SILWAR (1988), que estudou a composição de voláteis do aroma do cacau, quando se faz a quantificação dos compostos aromáticos pode-se avaliar a contribuição que cada componente dá para o aroma final do produto, principalmente em casos em que se necessita estudar a influência de mudanças causadas na estocagem do produto ou até mesmo para fornecer

informações sobre o comportamento do produto quando se muda algum parâmetro de processo.

PEZOA (1989), utilizou a cromatografia gasosa (CG) e a cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) no estudo dos compostos aromáticos do cacau torrado. Os resultados obtidos demonstraram melhor performance da técnica que utilizou a CG, sendo que esta separou melhor os compostos aromáticos estudados. Para alguns compostos aromáticos a HPLC resultou em sobreposição de picos, os quais por sua vez foram perfeitamente separados por CG.

Deve-se considerar ainda que, para a obtenção de bons resultados com a cromatografia gasosa, as técnicas empregadas para isolar e concentrar os compostos voláteis são extremamente importantes (JENNINGS & FILSOOF, 1977).

AU YEUNG & MACLEOD (1981), destacam que um dos métodos mais empregados para a extração dos componentes voláteis do aroma dos alimentos e de outros sistemas é aquele que é feito através de um micro-extrator adaptado a um destilador do tipo utilizado para nitrogênio, ou seja, o sistema chamado LIKENS e NICKERSON, onde o extrato aromático é capturado em um solvente de extração.

Alguns estudos realizados já utilizaram o extrator do tipo LIKENS e NICKERSON para isolar a fração aromática do cacau torrado, sendo que os resultados obtidos foram bastante satisfatórios. PEZOA (1989), utilizou este sistema para isolar os compostos aromáticos dos gases de torração de cacau e de café, sendo que ZAMALLOA (1994), empregou este mesmo sistema para extração dos aromas de cacau torrado e moído.

3.5 - Energia de microondas

A energia de microondas é uma forma de radiação eletromagnética, com propriedades similares às da luz visível, ultravioleta, raio-x, ondas de TV, rádio AM e FM e infravermelho (CUNHA, 1996).

Segundo MARSAIOLI (1991), as principais características que irão distinguir uma radiação eletromagnética (oscilações de campos elétricos e magnéticos) são o comprimento de onda e a frequência da radiação. A Figura 7 mostra o espectro de frequências eletromagnéticas, com intervalos típicos de comprimentos de ondas, em metros, indicando as frequências correspondentes de radiação eletromagnética.

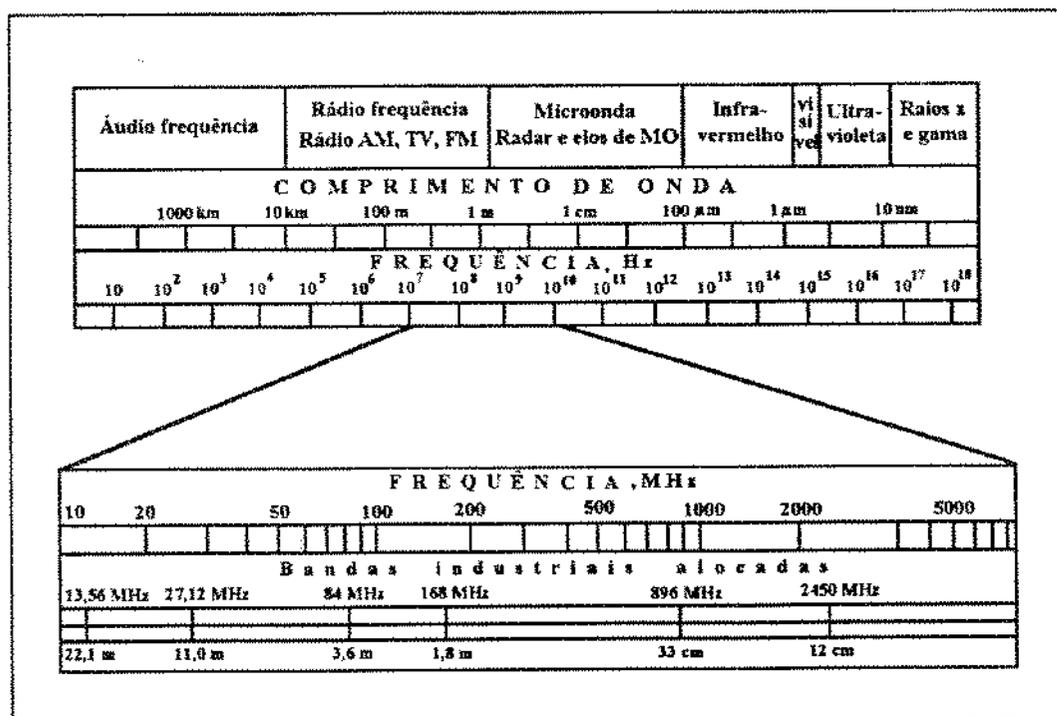


Figura 7. Espectro de frequências eletromagnéticas

O "Code of Federal Regulation" dos Estados Unidos define que a radiação na frequência de rádio (incluindo frequências de microondas) pode

ser usada de forma segura para o aquecimento de alimentos sob as seguintes condições:

-A fonte de radiação deve consistir de um equipamento eletrônico produzindo ondas de rádio, com frequências específicas para este propósito e autorizada pela "Federal Communications Commission"

-A radiação pode ser usada ou aplicada para uso na produção de calor em alimentos, sempre que calor for necessário e efetivo no tratamento ou processamento de alimentos (CAMPOS, 1986).

Cabe destacar que para os processos de aquecimento as frequências utilizadas são de 915 MHz e de 2.450 MHz (32,8 cm e 12,25 cm respectivamente, em espaço livre). Estas frequências, têm sido utilizadas para aplicações industriais, científicas e médicas - ISM - (Industrial, Scientific and Medical). A maioria dos fornos de microondas domésticos opera a 2.450 MHz (MARSAIOLI, 1991).

3.5.1 - Aquecimento por microondas

MARSAIOLI (1991), destaca que conceitualmente o aquecimento por microondas envolve dois fenômenos básicos:

- Acoplamento de energia de um campo eletromagnético pelo produto;
- Atenuação da absorção da energia acoplada dentro do produto.

Estes dois fenômenos compreendem a reflexão e a transmissão da energia nas superfícies do produto e a atenuação desta dentro do mesmo.

A radiação por microondas é uma forma de energia que pode se mover através do espaço e até mesmo através de objetos, podendo sofrer fenômenos de reflexão, transmissão e absorção (Figura 8). São refletidas por superfícies metálicas e refratadas por materiais dielétricos. Sua propriedade mais importante para a Tecnologia de Alimentos é a absorção por dielétricos, em forma de calor (ENGELDER & BUFFLER, 1991).

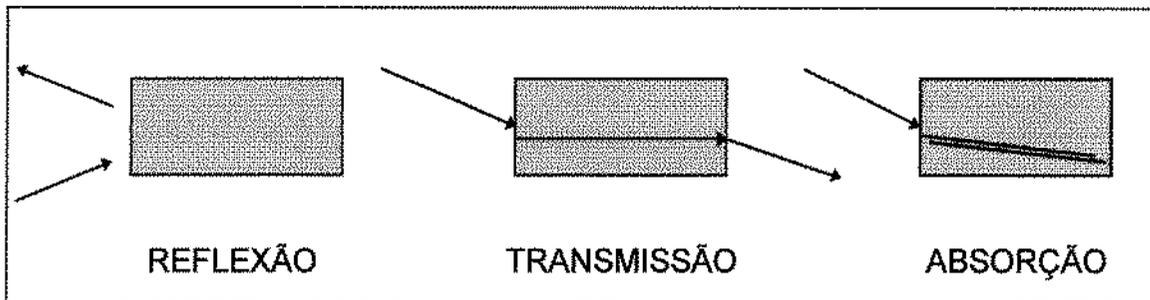


Figura 8. Interação do alimento com as microondas

Segundo DECAREAU & PETERSON (1986), a propriedade que as microondas têm de gerar calor dentro dos materiais processados, permite tempos menores de processamento, maior rendimento do produto final e qualidade superior comparada às técnicas convencionais de processamento.

A utilização de microondas soluciona alguns dos problemas enfrentados no processo de aquecimento convencional. O aquecimento convencional é feito por condução de energia da superfície do material para o seu interior. Por outro lado, as microondas possuem uma habilidade de penetração muito alta e geram calor uniformemente através da massa de materiais eletricamente não condutores, sendo que neste caso, o material que está sendo aquecido tem gradiente de calor menos acentuado e temperatura mais uniforme através de todo o material (CAMPOS, 1986).

SCHIFFMANN (1976), destaca que as microondas podem produzir alimentos com melhor sabor, assim como manter os componentes nutricionais em níveis maiores do que em outros tipos de tratamento térmico, especialmente por prevenir lixiviação dos nutrientes.

O processamento por microondas geralmente é feito em uma cavidade fechada ou forno. As microondas são geradas pelo "magnetron", um tubo oscilador que converte a energia elétrica com frequência industrial (60 Hz) em energia de microondas (por exemplo, 2.450 MHz), sendo então conduzidas para dentro da cavidade através de um guia de onda.

O aquecimento por microondas é do tipo dielétrico, onde a produção de calor em um corpo não condutor se dá principalmente devido aos efeitos de polarização, a frequências entre 300 MHz e 300 GHz.

NUNES *et alii* (1996), destaca que quando ocorre a geração de energia de microondas, é criado um campo eletromagnético com centros de cargas positivas e negativas que mudam de direção bilhões de vezes por segundo.

Segundo CUNHA (1996), o aquecimento dos alimentos por microondas é praticamente instantâneo, contrastando com os processos convencionais, onde a transferência de calor da superfície para o centro do produto chega a ser 10 a 20 vezes mais lenta.

No aquecimento dos alimentos por microondas os mecanismos de migração iônica e a rotação dipolar são os de maior interesse.

OWUSU-ANSAH (1991), destaca que no mecanismo de migração iônica, sob um campo elétrico, os componentes ionizados irão colidir aleatoriamente com moléculas não ionizadas, sendo que a energia cinética destes íons será convertida em calor durante as colisões.

No mecanismo de rotação dipolar (Figura 9), quando as microondas penetram no produto elas interagem com os dipolos elétricos das moléculas de água ou de outras moléculas que venham a se tornar “dipolos induzidos” devido às tensões causadas pelo campo elétrico. Cabe destacar que os dipolos tendem a se orientar no campo elétrico. Quando este campo é nulo, as moléculas permanecem em uma orientação aleatória, no entanto, quando ocorrem mudanças na polaridade do campo os dipolos se alinham de acordo com as mudanças ocorridas. A polaridade do campo muda numa frequência de bilhões de vezes por segundo, portanto, os dipolos também irão se alinhar e relaxar numa frequência bastante grande, resultando no rompimento das pontes de hidrogênio das moléculas de água, gerando aquecimento por fricção molecular (MUDGETT, 1989; NUNES *et alii* 1996).

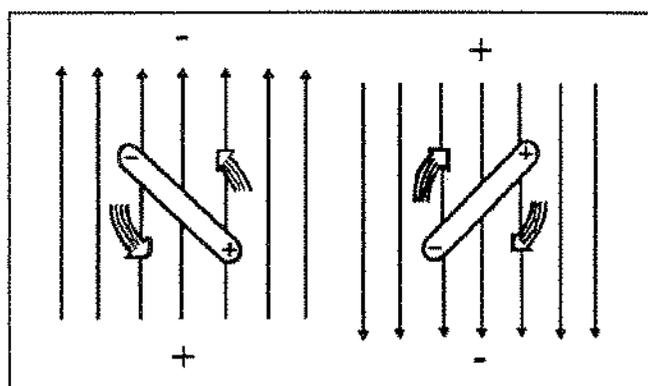


Figura 9. Rotação dipolar devida à mudanças de polaridade do campo

3.5.2 - Propriedades dielétricas dos materiais e interação com as microondas

As propriedades elétricas de maior interesse no processamento dos materiais em geral e dos alimentos em particular, são as propriedades dielétricas, as quais determinam as propriedades que afetam o acoplamento de energia do campo e sua distribuição dentro do produto (MUDGETT, 1986).

Em geral, quanto maior for a constante dielétrica (ϵ'), melhor o material será aquecido. As propriedades dielétricas dos produtos são afetadas pelo teor de umidade, densidade, temperatura e frequência (SCHIFFMANN, 1976; MARSAIOLI, 1991).

As respostas elétricas e térmicas dos produtos que são tratados sob o campo de microondas dependem de fatores como sua composição química, sua estrutura física e geometria, assim como do mecanismo ou modo dominante de transferência da energia do campo eletromagnético.

As frequências de microondas que são normalmente utilizadas no processamento industrial dos alimentos (915 e 2450 MHz), promoverão interações entre os constituintes químicos dos alimentos com o campo eletromagnético, gerando aquecimento instantâneo dentro do produto, devido ao "atrito molecular" causado. Tal fato se deve inicialmente à ruptura das pontes de hidrogênio fracas, associadas com a rotação dos dipolos de moléculas de água livre e com a migração eletroforética de sais livres em um campo elétrico de polaridade rapidamente variável. Portanto, os constituintes iônicos aquosos dos alimentos e seus constituintes sólidos associados têm influência direta sobre como o aquecimento se conduzirá (MARSAIOLI, 1991).

A Tabela 3 mostra a atividade dielétrica relativa de alguns constituintes dos alimentos. Cabe destacar que as proteínas, lipídios e carboidratos são relativamente inertes nas frequências de microondas utilizadas para o processamento de alimentos.

Tabela 3. Indicação da atividade dielétrica para alguns constituintes dos alimentos

CONSTITUINTE	ATIVIDADE DIELÉTRICA RELATIVA
Água ligada	Baixa
Água livre	Alta
Sais associados	Baixa
Sais dissociados	Alta
Sólidos coloidais	Baixa

Segundo CUNHA (1996), os materiais biológicos, de modo geral, podem ser visualizados como capacitores não ideais, que possuem a habilidade de armazenar e dissipar energia elétrica de um campo eletromagnético, através de um conjunto de propriedade elétricas expressas em notação complexa e caracterizada como permissividade dielétrica (ϵ'). Estes materiais não interagem com o componente magnético do campo por causa da sua baixa permeabilidade magnética. São também considerados maus isolantes, pois dissipam quantias consideráveis de energia elétrica, acoplados com mecanismos de "histerese dielétrica" e condução, relacionados com a água livre e com o conteúdo salino, assim como com o calor gerado internamente.

Segundo NUNES *et alii* (1996), as propriedades elétricas são constituídas por:

-Constante dielétrica (ϵ'), a qual indica a habilidade de um produto de armazenar energia elétrica e mede a energia armazenada pelo dielétrico, por unidade de volume, quando sujeito à ação de um campo elétrico alternado de $\sqrt{2}$ V/m (1V/m é o valor eficaz).

-Fator de perda dielétrica (ϵ''), o qual indica a capacidade de dissipação da energia elétrica como calor e mede a energia dissipada por segundo nas mesmas condições;

-Calor específico e densidade.

O calor específico dos materiais é uma das propriedades básicas que governam seu aquecimento, consistindo na sua capacidade de manutenção de calor, comparada à da água. O calor específico da água é 1,0 sendo que para as gorduras esse valor é aproximadamente 0,5. Isto significa que a gordura pode ser aquecida duas vezes mais rápido que a água sob as mesmas condições térmicas (SCHIFFMANN, 1976).

Segundo DECAREAU (1985), a permissividade dielétrica complexa (ϵ^*) consta de uma componente real, a constante dielétrica (ϵ') e outra imaginária (ϵ''). As propriedades dielétricas de um material são definidas através das equações (3.1) e (3.2):

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' = |\epsilon^*| \cdot e^{-j\delta} \quad (3.1)$$

$$\tan \delta = \epsilon'' / \epsilon' \text{ (tangente de perda)} \quad (3.2)$$

A tangente de perda relaciona a energia dissipada com a energia armazenada pelo dielétrico.

A água, em seu estado líquido, é considerada um dos dielétricos com maiores valores de ϵ_r' (permissividade relativa) e de $\tan \delta$. Portanto, os materiais que contêm água são aquecidos mais facilmente. No entanto, como discutido anteriormente, quando ocorre aumento de temperatura as propriedades dielétricas também variam, sendo que SENISE (1985) destaca que um aumento de 25 para 85°C resulta em uma redução de 30% na potência dissipada por unidade de volume, considerando-se que seja mantida constante a intensidade do campo elétrico.

3.5.3 - Aplicações da energia de microondas na indústria de alimentos

Pode-se destacar algumas aplicações da energia de microondas na indústria de alimentos (SCHIFFMANN, 1992; NIOLA, 1990a; NIOLA, 1990b):

-Cozimento de bacon: apresenta vantagem econômica em relação ao processo convencional

-Cozimento de peixe (merluza e sardinha): apresenta uma retenção de proteína cerca de 15% maior e uma diminuição de peso de produto cerca de 15% menor em relação ao processo convencional

-Cozimento de legumes, cereais e produtos doces: melhora a qualidade em relação ao processo convencional

-Cozimento de produtos de panificação: acelera a fermentação e, portanto, o desenvolvimento de CO₂, melhorando a textura, e evitando a diminuição de volume do produto

-Branqueamento de vegetais: o uso de microondas conserva melhor as características da matéria-prima fresca. O tempo de processo é menor e garante a inativação enzimática. Economicamente este processo apresenta desvantagens

-Secagem de massas: o uso de microondas pode reduzir cerca de 16 vezes o tempo de processo, levando a melhoras de qualidade no produto final

-Secagem de batata-frita: o uso de microondas no último estágio da secagem da batata frita tipo "snack" (petisco) pode aumentar a crocância do produto

-Secagem de vegetais: o uso de microondas leva a um menor escurecimento do produto, menor perda de vitamina C e de substâncias aromáticas, além de facilitar a reidratação posterior do produto seco

-Descongelamento de carnes e peixes: melhora a qualidade nutricional e organoléptica do produto, uma vez que o tempo de descongelamento é significativamente reduzido quando se faz uso da energia de microondas. No caso dos peixes ocorrerá uma menor perda de proteínas.

CUNHA (1996), também enumera uma série de possibilidades de aplicação da tecnologia de microondas:

-Indústria agro-alimentar: secagem, desidratação, pasteurização, esterilização, desinsetização e descongelamento;

-Polímeros e compósitos: secagem, pré-aquecimento e reticulação;

-Indústria farmacêutica e química: secagem dos pós farmacêuticos e produtos biológicos, esterilização e reações químicas;

-Cerâmica: cozimento, fusão, solda e secagem;

-Eletrônica: reticulação de colas e resinas;

-Tratamento de superfícies: secagem e reticulação de tintas e cola;

-Proteção ambiental: tratamento dos dejetos hospitalares.

Segundo FAILLON *et alii* (1978), uma interessante aplicação da energia de microondas é a torração de amêndoas de cacau. Este estudo verificou que menos fumaça foi produzida durante o processo, assim como não houve aquecimento do equipamento. A temperatura alcançada dentro do produto foi menor do que aquela observada para o processo convencional. Observou-se ainda que a remoção das cascas das amêndoas foi bastante fácil.

Neste estudo desenvolvido por FAILLON *et alii* (1978), não houve comparações entre o produto obtido pelo processo convencional com aquele obtido através da aplicação de microondas, portanto, esta dissertação visa justamente aprofundar os conhecimentos no sentido de verificar se existem vantagens na qualidade do produto final quando se utiliza a energia de microondas.

3.5.4 - Efeito das microondas sobre os componentes dos alimentos

Segundo NUNES *et alii* (1996), os processos de pasteurização e esterilização feitos por microondas apresentam pouca alteração nos teores de vitaminas e de outros produtos termolábeis.

Estudos realizados em vegetais, carnes e pescados liofilizados, tratados por microondas e processados convencionalmente demonstraram que não há diferença na quantidade de aminoácidos essenciais presentes nos produtos ao final de cada tratamento (BODWELL & WOMAK, 1978, citados por CROSS & FUNG, 1982).

TOMA *et alii*, 1978, citado por CROSS & FUNG, 1982 destaca que estudos realizados em batatas tratadas de quatro formas diferentes: fervidas em água com casca, fervidas em água sem casca, assadas em forno convencional e tratadas com microondas, demonstraram que o teor de retenção de proteínas nas batatas obtidas a partir do processo que utilizou microondas foi maior.

LORENZ (1976) e CROSS & FUNG (1982) destacam que, na grande maioria dos casos, os alimentos aquecidos por microondas retêm mais vitaminas (lipossolúveis e hidrossolúveis) que aqueles tratados de forma convencional.

3.5.5 - Vantagens do uso da energia de microondas

Segundo SCHIFFMAN (1986), as maiores vantagens do aquecimento por microondas são:

- Rapidez: a maioria dos processos por microondas pode ser conduzida em um quarto do tempo que seria utilizado no processo convencional;
- Uniformidade do aquecimento: a distribuição da temperatura em um produto aquecido por microondas é mais uniforme e o sobreaquecimento da superfície do produto pode ser evitado;
- Qualidade do produto: pode ser melhorada pelo fato de se evitar ocorrências como seu endurecimento.

Cabe destacar ainda algumas outras vantagens do uso de microondas (MARSAIOLI, 1991):

- Penetração de energia: em um sistema de aquecimento por microondas o calor é gerado tanto internamente como bem próximo à superfície do material que está sendo tratado;
- Absorção seletiva da energia: um produto com níveis desiguais de teores de umidade pode ser seco uniformemente, uma vez que a água, comparada aos demais componentes do produto, tende a absorver mais rapidamente a energia de microondas;
- Controle instantâneo: os níveis de potência das microondas podem ser ajustados eletronicamente numa fração de segundos, ao contrário dos processos de aquecimento convencionais, os quais requerem um tempo considerável para uniformizar a nova temperatura ajustada;

-Dimensões reduzidas da câmara de aquecimento: os sistemas de aquecimento por microondas geralmente necessitam de menos espaço físico quando comparados com os sistemas convencionais para uma mesma capacidade produtiva;

-Alta eficiência: os sistemas de microondas podem converter potências de corrente alternada de 60 Hz em calor, sobre o material tratado, com eficiências superiores a 50%;

-Custos de limpeza e manutenção relativamente baixos;

-Ausência de efeitos térmicos residuais no ambiente uma vez desligada a energia das microondas.

3.6 - Análise sensorial

A análise sensorial tem uma grande importância para a indústria de alimentos, sendo que existem vários métodos que podem ser utilizados para medi-la. Com isto, pode-se determinar o grau de aceitação, preferência ou indicar diferenças entre amostras.

O uso da análise sensorial é bastante importante quando se está desenvolvendo um novo produto ou fazendo alguma alteração em um produto ou processo já existentes.

Segundo AMERINE *et alii* (1965), a análise sensorial aplicada ao controle de qualidade pode ser utilizada nas seguintes etapas:

-Controle de processo de fabricação: controle da matéria-prima, controle de variações no processamento, controle de variações de ingredientes;

- Controle do produto acabado: verificação de possíveis perdas na qualidade sensorial do produto devido ao armazenamento, determinação de limites entre graus de qualidade (produto tipo A, B e C) e seleção de métodos instrumentais que apresentam boa correlação com os atributos sensoriais do alimento;
- Controle de mercado: estudos comparativos entre o produto X e o produto do concorrente e estudos de aceitação.

Quando se necessita obter informações qualitativas e quantitativas sobre o produto que está sendo avaliado deve-se utilizar a técnica da análise descritiva quantitativa (ADQ).

Segundo STONE & SIDEL (1985), a análise descritiva quantitativa proporciona uma completa descrição de todas as propriedades sensoriais de um produto, representando um dos métodos mais completos e sofisticados para a caracterização sensorial de atributos importantes. Pode ser aplicada, por exemplo, para o acompanhamento de produtos concorrentes, testes de armazenamento de produtos para verificar possíveis alterações no decorrer do período, desenvolvimento de novos produtos, controle da qualidade de produtos industrializados, além de permitir a realização de correlação entre testes sensoriais e instrumentais.

Cabe destacar que especificamente no caso desta dissertação, o uso da análise descritiva quantitativa é muito importante, uma vez que esta fornecerá informações úteis para o controle do processo de torração de cacau, principalmente porque está se variando o tipo de processo empregado, assim como os parâmetros que os afetam. Neste caso será feita a correlação da análise sensorial com a análise cromatográfica dos compostos aromáticos do produto torrado.

3.6.1 - Seleção dos provadores

A equipe de provadores é considerada o instrumento da análise sensorial devendo-se, portanto, ser feita uma rigorosa seleção de seus constituintes.

Segundo STONE & SIDEL (1985), inicialmente deve-se fazer uma pré-seleção, baseada no objetivo da análise, onde devem ser escolhidos os candidatos com capacidade de detectar diferenças entre as amostras-modelo, de acordo com o produto a ser avaliado. A partir de então deve-se realizar uma seleção mais rigorosa, levando-se em conta três características básicas: o poder discriminante, a repetibilidade e a concordância que cada provador tem com a equipe sensorial.

O poder discriminante é avaliado através da análise de variância (ANOVA), para os resultados gerados para cada atributo, para cada provador, onde o valor do F estatístico ($F_{amostra}$) determina a capacidade individual em discriminar amostras (DAMÁSIO & COSTEL, 1991). Alguns autores consideram o valor de $F_{amostra}$ significativo para $p < 0,05$ para aceitar um provador (STONE & SIDEL, 1985), enquanto outros são mais rigorosos, considerando $F_{amostra} < 0,03$ (POWERS *et alii*, 1984).

A ANOVA também avalia a repetibilidade dos provadores, sendo que um valor de F estatístico ($F_{repetição}$) não significativo para $p > 0,05$ indica um bom provador (DAMÁSIO & COSTEL, 1991).

STONE & SIDEL (1985), destacam que deve haver concordância entre as médias que cada provador atribui a um determinado atributo avaliado, com as médias da equipe sensorial.

3.6.2 - Elaboração da lista de atributos para descrever as amostras

DAMÁSIO & COSTEL (1991), descrevem quatro formas de se elaborar uma lista de atributos para a avaliação das amostras:

-Discussão aberta com moderador: os provadores avaliam diversas amostras e falam os termos que acham mais adequados para descrevê-las. São escolhidos os termos, que em conjunto, o grupo considerar como os melhores descritores. Pode-se notar efeitos indesejáveis quando um dos participantes inibe a iniciativa dos demais.

-Descrição entrecruzada ou método de rede: consiste na apresentação das amostras que se deseja avaliar, aos pares, em todas as possibilidades de combinações. Para cada par o provador elabora duas listas. Na primeira delas descreve-se os termos que especificam em que as amostras são similares e na segunda em que são diferentes. Esta técnica permite gerar um elevado número de termos descritivos, de forma dinâmica, possuindo a vantagem de se apresentar diferenças, levantando-se termos variados e diferentes que a descrevem.

-Associação controlada: consiste em solicitar ao provador que faça uma lista de palavras que ele associe às características ou atributos de um certo produto.

-Lista prévia: uma lista é elaborada previamente para um determinado produto e apresentada juntamente com as amostras, aos provadores. Pede-se a eles que marquem ao lado de cada atributo, a classificação "crítico" ou "não crítico". Termos classificados como "críticos" por uma porcentagem pré-estabelecida de pessoas, passarão a formar a lista definitiva. É um método simples e fácil de aplicar.

Segundo DAMÁSIO & COSTEL (1991), o método entrecruzado ou método de rede permite uma maior amplitude na escolha dos termos, uma vez que o provador não fica restrito a termos pré-estabelecidos e nem é influenciado por outras pessoas. Apresenta ainda a vantagem de permitir, através da comparação das amostras provadas, a percepção de atributos que poderiam não ser percebidos quando as amostras são avaliadas individualmente.

ZAMALLOA (1994), utilizou a análise descritiva quantitativa para avaliar amostras de liquor de cacau preparadas a partir de dez clones diferentes. Foi destacada a dificuldade apresentada pela equipe sensorial para provar o liquor de cacau, um produto bastante agressivo, sendo que os resultados obtidos mostraram que os clones avaliados não foram considerados significativamente diferentes entre si a 5% de significância, para os atributos avaliados.

Cabe destacar que a equipe sensorial deve ser bem treinada, principalmente quando se avalia produtos mais agressivos, como é o caso do liquor de cacau, para que desta forma se consiga minimizar as dificuldades presentes em uma análise sensorial deste tipo.

4 - MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 - Materiais

4.1.1 - Amêndoas de cacau

Utilizou-se amêndoas de cacau fermentadas e secas, da variedade "Forastero", provenientes do Estado de Rondônia, fornecidas pela indústria processadora de grãos de cacau INDECA S.A., localizada na cidade de Embú, Estado de São Paulo.

4.1.2 - Equipamentos e aparelhos

Os experimentos foram realizados no Laboratório de Frutas, Hortaliças e Produtos Açucarados e no Laboratório de Microondas, ambos da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA), da UNICAMP, Campinas, SP.

Os equipamentos e aparelhos utilizados foram:

-Forno rotativo combinado ar quente/microondas, de operação contínua, projetado e montado no Laboratório de Microondas do Departamento de Engenharia de Alimentos da FEA/UNICAMP

-Torrador rotativo elétrico de laboratório, PROBAT-WERKE

-Moinho de facas ICMA, tipo Rietz

-Moinho IKA-UNIVERSAL MÜLHE M20. Janke & Kunkel GmbH u. CoKG

-Moinho de cilindros resfriados DRAIS-WERKE GMBA - MANHEIM WALDO

-Separador de testa por fluxo de ar, fabricado no Departamento de Tecnologia de Alimentos da UNICAMP

-Mesa densimétrica vibratória, marca BLASI, tipo GS 500, da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP

-Micro extrator-destilador tipo Likens & Nickerson, adaptado a um destilador de nitrogênio

-Cromatógrafo a Gás Varian, modelo 3400 e Integrador Varian, modelo 4400

-Circulador de água com refrigeração, PolyScience, modelo 9000

-Destilador de nitrogênio Tecnal, modelo TE-036

-Medidor de umidade 701 KF Titrino - Metrohm

-Extrator de gorduras tipo Soxhlet Fanem, modelo 170-1

-Bloco digestor de proteínas TECHNICOM-BD-40

-pHmêtro Micronal, modelo B-374

-Mufla Engro, modelo 355-L

-Estufa Fanem, modelo 315-SE

-Centrífuga Fanem, modelo 204-N

-Balança semi-analítica Mettler, Toledo modelo P 1210

-Balança analítica Oertling, modelo LA 164

-Outros aparelhos e materiais comuns de laboratório e planta piloto

4.1.3 - Reagentes

Os reagentes utilizados nas análises químicas foram aqueles próprios para análise (p.a.) e de diferentes procedências: Merck, Cinética Química Ltda. e Grupo Química.

Os padrões dos compostos aromáticos 2-metilpirazina; 2,3-dimetilpirazina; 2,5-dimetilpirazina; 2,6-dimetilpirazina; 2,3,5-trimetilpirazina; 2,3,5,6-tetrametilpirazina e etilpirazina foram os da marca Aldrich Chemical Company.

4.2 - Métodos

Realizou-se testes de torração de cacau através do processo convencional em forno elétrico e através de sistema contínuo com aplicação de microondas. As amêndoas de cacau foram torradas inteiras e também fragmentadas ("nibs"), a fim de se verificar a eficiência dos dois tratamentos na matéria-prima em diferentes formas físicas.

Uma vez que utilizou-se amêndoas de cacau já fermentadas e secas, o processamento empregado seguiu o fluxograma descrito na Figura 10.

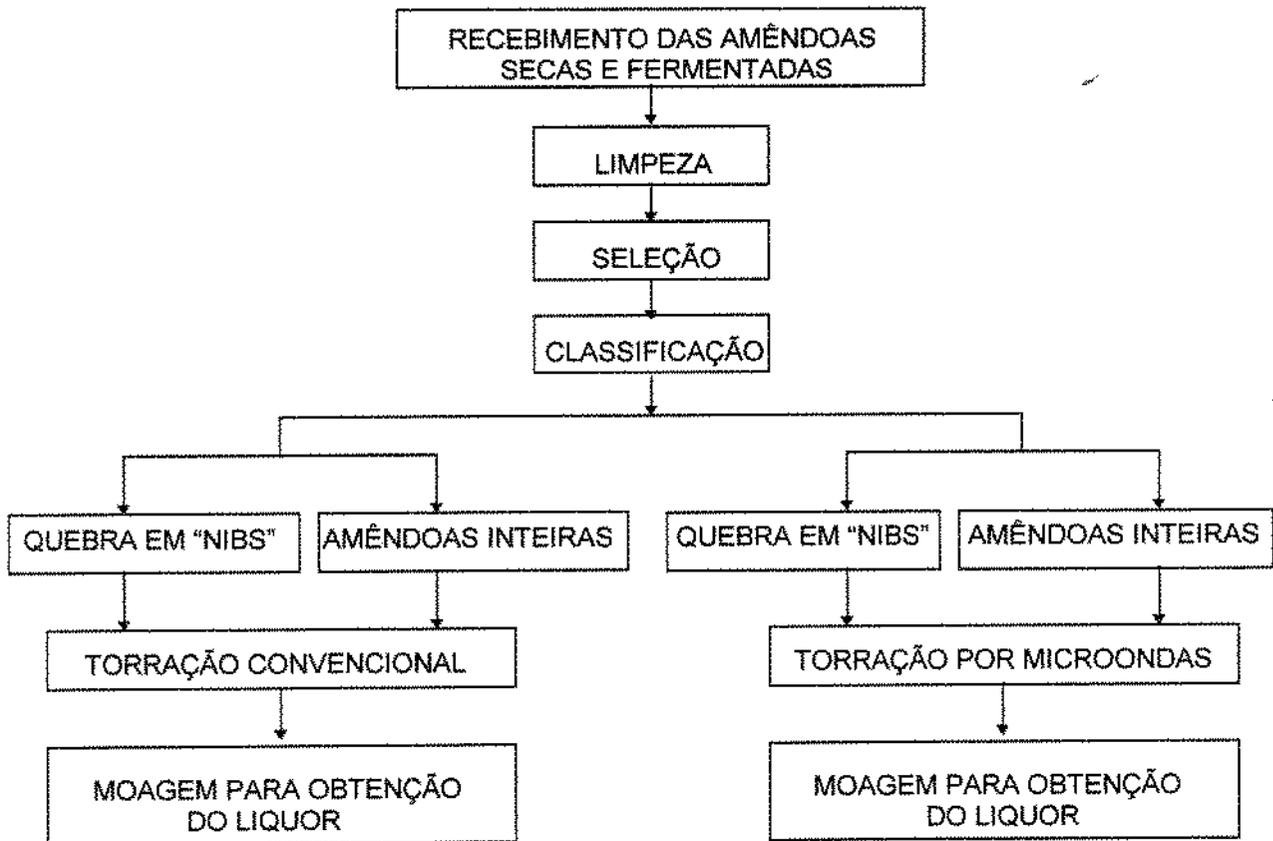


Figura 10. Fluxograma geral de processamento das amêndoas de cacau

4.2.1 - Preparo da matéria-prima

As amêndoas fermentadas e secas foram limpas em uma mesa vibratória densimétrica da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. Parte da matéria-prima já selecionada foi quebrada em pequenos fragmentos, os chamados "nibs", através do uso de um moinho de facas. Separou-se a testa e o gérmen por diferença de densidade, com o auxílio de uma coluna de ar e peneiras. Os "nibs" foram ainda separados por tamanho, obtendo-se fragmentos entre 3 e 6 mm, sendo que aqueles com tamanho superior a 6 mm foram novamente submetidos ao processo de quebra e os de tamanho menor que 3 mm, descartados.

4.2.2 - Caracterização físico-química das amêndoas de cacau

Foram feitas as seguintes determinações:

- Teor de umidade - método 14.004 da AOAC (1984)
- Teor de proteína - método 13.011 da AOAC (1984)
- Teor de gordura - método 13.012 AOAC - OICC (1984)
- Teor de cinzas - método 13.013 da AOAC - OICC (1984)
- Teor de fibras - método "Acid Detergent Fibre" (ADF) (Agric. Hand Book 75, 1970)
- Porcentagem de cascas, gérmen e cotilédone das amêndoas: Pesou-se três amostras de 100 gramas de amêndoas, separou-se manualmente a testa, cotilédone e gérmen e pesou-se as frações obtidas. Através deste teste também pôde-se ter uma idéia do rendimento das amêndoas de cacau.
- Densidade aparente - as amêndoas e "nibs" foram colocados em uma proveta de dois litros, sendo esta então vibrada manualmente para melhor acomodação dos produtos. A massa de produto foi então pesada e a relação

entre a massa por unidade de volume foi considerada como sendo a densidade aparente.

4.2.3 - Torração

A torração, como objetivo principal deste estudo, foi efetuada tanto nas amêndoas inteiras quanto nos "nibs", convencionalmente e através da aplicação de microondas.

4.2.3.1 - Torração em forno elétrico rotativo em bateladas

Os parâmetros do processo foram tempo e temperatura. A temperatura da camisa do torrador elétrico foi fixada em 150°C, de forma que o interior do torrador pudesse atingir temperaturas superiores à 120°C.

Ensaio prévios demonstraram que tempos inferiores a 30 minutos de torração não eram suficientes para torrar os "nibs", assim como tempos inferiores a 36 minutos não eram suficientes para torrar as amêndoas inteiras.

Os testes de torração foram então realizados nas seguintes condições:

-Amêndoas inteiras: tempos de torração de 36, 40, 42 e 44 minutos.

- "Nibs": tempos de torração de 30, 34, 36 e 38 minutos.

Cabe destacar que com 36 minutos de torração as amêndoas inteiras torradas convencionalmente apresentavam pouco sabor de torradas, sendo que somente aos 40 minutos começou-se a detectar sabor característico mais acentuado. O mesmo aconteceu para os "nibs" torrados por 30 minutos, sendo que somente aos 34 minutos o sabor de torrado foi detectado. A partir da detecção do sabor característico de torrado nas amostras fez-se testes com

tempos de torração variando de dois em dois minutos, até se detectar a presença de aroma característico de sobretorrado nas amostras. No entanto, as duas amostras consideradas subtorradas, tanto para as amêndoas inteiras como para os "nibs", não foram descartadas pois considerou-se interessante estudar seu perfil cromatográfico.

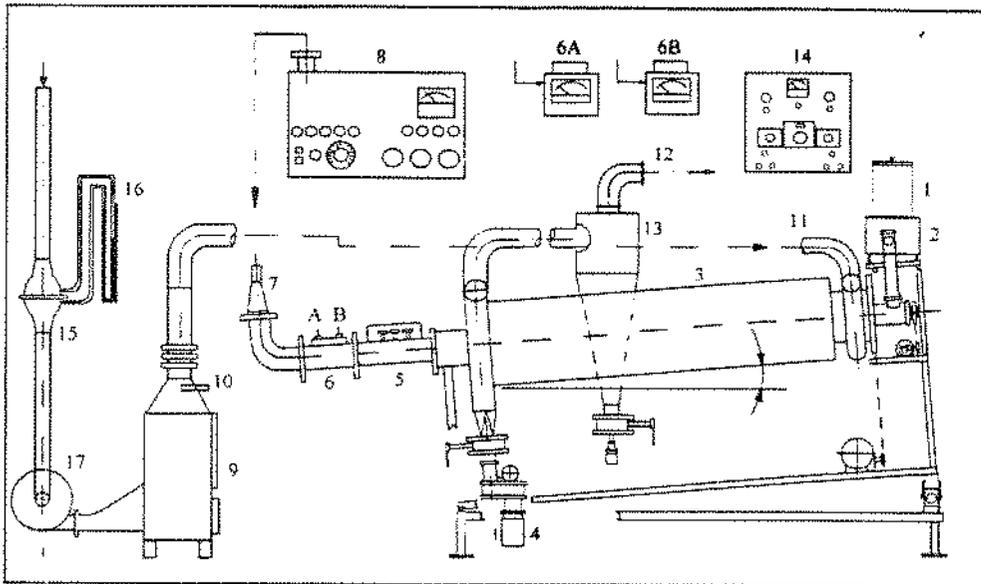
Cabe destacar que cada amostra foi torrada em oito lotes de 250 gramas, até se obter uma amostra final com dois quilos de produto. Após a torração as amostras eram resfriadas através da passagem de ar forçado, em uma bandeja perfurada, no próprio torrador.

4.2.3.2 - Torração em forno rotativo contínuo de microondas

O equipamento utilizado neste estudo foi um protótipo de forno cilíndrico rotativo (Figura 11), com possibilidade de combinar ar quente e microondas, operando a 2.450 MHz. A potência de microondas foi ajustada em um gerador (Cober, modelo S6F), com potência de saída variável entre 0 a 6 kW. Para o controle da eficiência de transferência da potência para a carga utilizou-se dois medidores portáteis de potência refletida e transmitida (Cober modelo PM-IR), ligados a um acoplador duplo no guia de onda. Este equipamento foi desenvolvido no laboratório de microondas do DEA/FEA/UNICAMP (MARSAIOLI, 1991).

A eficiência de transferência de potência para a carga é máxima quando a impedância do gerador e da carga estão casadas com a impedância característica da linha. Em casos onde o medidor de potência refletida indica um baixo acoplamento de energia no produto é necessário fazer um ajuste no "toco triplo", um dispositivo para o casamento das impedâncias (CUNHA, 1996). Neste estudo a potência média transmitida manteve-se dentro de um padrão de 90% ou mais que a potência total (soma da transmitida e refletida), portanto, não foi necessário ser feito ajuste no "toco triplo".

A torração do cacau foi, portanto, feita de forma contínua, e os parâmetros de processo como rotação do cilindro, vazão mássica e velocidade do alimentador foram previamente determinados.



(1) Depósito de cacau; (2) Alimentador; (3) Cavidade de microondas (M.O.); (4) Cacau torrado; (5) Toco triplo; (6) A/B Sistema medidor de M.O.; (7) Guia de onda flexível; (8) Gerador de M.O.; (9) Aquecedor de ar; (10) Sensor de temperatura; (11)/(12) Entrada de ar/exaustão; (13) Ciclone; (14) Painel de Controle; (15)/(16) Medidor de fluxo; (17) Ventilador

Figura 11. Desenho esquemático do forno cilíndrico rotativo com aplicação de microondas

4.2.3.2.1 - Calibração do alimentador

Utilizou-se um alimentador de rosca, com possibilidade de ajuste de velocidade. Fez-se sua calibração para diversas capacidades, tanto com "nibs", como com amêndoas inteiras, a fim de se obter uma regressão linear. A determinação da velocidade final de alimentação foi feita posteriormente, em função da vazão mássica desejada.

4.2.3.2.2 - Determinação da rotação do cilindro

A rotação do cilindro foi determinada a partir da inclinação do aparelho, para os tempos de residência médios de 5 e 10 minutos, utilizando-se a seguinte equação (DĂSCĂLESCU, 1969):

$$\theta_m = (KL) / (n \operatorname{tg} \alpha D_i)$$

θ_m = tempo de residência médio do processo (min) $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{sen} \gamma / \operatorname{sen} \rho$ (0,0361)
 K = constante para secadores cilíndricos ($\approx 0,5$) γ = ângulo de inclinação do cilindro (1,189°)
 L = comprimento do cilindro (1,3 m) ρ = ângulo de talude do material (33°)
 n = rotação do cilindro (rpm) D_i = diâmetro interno do cilindro (0,3 m)

Foi determinada em função da inclinação na qual o aparelho se encontrava, para tempos médios de residência de 5 e 10 minutos.

4.2.3.2.3 - Determinação da vazão mássica

Foi calculada em função da densidade aparente do produto e da porcentagem de ocupação do cilindro.

Cabe destacar que a porcentagem de ocupação do cilindro foi determinada tomando-se como base dados de ocupação para testes de secagem (7,5 - 8,0%), assim como limitações na quantidade de matéria-prima disponível.

4.2.3.2.4 - Ajuste do alimentador

Foi determinado segundo a densidade do produto e a vazão mássica desejada, utilizando-se os resultados obtidos na sua calibração.

4.2.3.2.5 - Distribuição do tempo de residência

Foi feito um teste de distribuição do tempo de residência dentro do cilindro, para as amêndoas e "nibs", onde adicionou-se 100 gramas de amostras previamente marcadas com tinta branca ao alimentador, já em regime de funcionamento e, observou-se o escoamento do produto por vinte minutos. A cada quinze segundos coletou-se amostras e identificou-se a porcentagem de matéria-prima marcada dentro do total obtido.

4.2.3.2.6 - Determinação das potências de microondas

As potências de microondas utilizadas foram definidas a partir dos dados obtidos por FAILLON *et alii* (1978), os quais estudaram a torração do cacau por microondas, utilizando uma densidade média de potência de aproximadamente 95 Wh/kg.

Testes preliminares demonstraram que 95 Wh/kg não eram suficientes para torrar o produto, portanto, potências maiores foram testadas até se chegar a um produto com características de torrado.

Observou-se que somente densidades de potência acima de 200 Wh/kg conferiram ao produto características de torrado, portanto, as intensidades de potências selecionadas para este estudo foram:

-Amêndoas inteiras: 2.600, 2.800, 3.000 e 3.200 Watts.

-"Nibs": 2.500, 2.600, 2.800 e 3.000 Watts.

Cabe ressaltar que nos testes realizados as microondas começaram a ser aplicadas simultaneamente ao início da alimentação do cilindro, no entanto, as primeiras amostras só foram coletadas após 20 minutos de processamento a fim de se garantir a homogeneidade do processo. Cada amostra era composta de 2 kg de produto torrado. A cada vez que a intensidade de potência de microondas foi aumentada esperou-se 15 minutos

para o início da coleta das amostras, a fim de se garantir que todo o material havia recebido a nova potência aplicada. A temperatura do cacau foi verificada antes da exposição às microondas, no depósito do alimentador, e também na saída do equipamento, onde as amostras foram coletadas em uma garrafa térmica. Após a torração o produto era disposto em bandejas, em ambiente refrigerado, para facilitar seu resfriamento.

4.2.4 - Moagem do produto torrado

Os "nibs" e amêndoas torrados foram moídos em moinho com três cilindros resfriados (DRAIS WERKE GMBA - MANHEIM WALDO) para a obtenção de granulometria adequada para as análises posteriores, principalmente para a análise sensorial. Cabe destacar que no caso das amêndoas inteiras realizou-se previamente à sua moagem as etapas de descascamento, separação do germén e quebra em "nibs".

4.2.5 - Determinação das melhores condições para a torração convencional e por microondas

Utilizou-se a análise sensorial combinada com a análise do teor de metilpirazinas para se definir as melhores condições e parâmetros desta importante etapa de processamento das amêndoas de cacau.

4.2.5.1 - Avaliação sensorial

Realizou-se a análise descritiva quantitativa (ADQ) a fim de se avaliar se as amostras de cacau torradas por microondas são consideradas sensorialmente diferentes daquelas torradas convencionalmente, além de se identificar quais atributos sensoriais são responsáveis pela diferença entre as amostras.

Uma vez que este estudo avaliou um total de dezesseis amostras entre “nibs” e amêndoas inteiras, optou-se por consultar três “experts” em análise sensorial de liquor de cacau, das empresas Cargill-SP; Cargill-BA e INDECA-SP, a fim de reduzir este número de amostras para somente quatro, facilitando desta forma a análise pela equipe sensorial montada na UNICAMP.

Segundo os “experts” em análise sensorial, dentre as amostras produzidas aquelas que apresentavam melhores características eram as seguintes:

- Amêndoas torradas por microondas a 3.200 Watts de potência (AM 3.200)
- “Nibs” torrados por microondas a 2.800 Watts de potência (N 2.800)
- Amêndoas torradas convencionalmente a 150°C/44 minutos (AM 44)
- “Nibs” torrados convencionalmente a 150°C/38 minutos (N 38)

4.2.5.1.1 - Condições do teste

A avaliação sensorial foi realizada no Laboratório de Análise Sensorial da Faculdade de Engenharia de Alimentos da UNICAMP (Campinas-SP). Utilizou-se cabines individuais com luz branca.

4.2.5.1.2 - Preparo da amostra

As amostras para a análise sensorial foram inicialmente preparadas como descrito por MEURSING (1988): 16 g de pó de cacau, 12 g de açúcar e 100 ml de água destilada fria, no entanto, percebeu-se que o açúcar mascarava algumas características do liquor de cacau. O açúcar foi então retirado da mistura, mas observou-se que a solução era muito agressiva sensorialmente. Várias concentrações foram então testadas, sendo que ao

final a formulação definida foi uma solução de licor de cacau a 5%, onde o pó era dissolvido em água em ebulição, para evitar a formação de grumos e a solução servida ao provador a 50 °C.

4.2.5.1.3 - Seleção da equipe de provadores

A pré-seleção dos provadores foi feita tomando-se por base a facilidade para se expressar, disponibilidade de tempo e afinidade por produtos amargos e ácidos, características estas bastante destacadas na amostra de licor de cacau.

Formou-se um grupo inicial de 30 provadores de ambos os sexos, de idade variando entre 19 a 50 anos. O poder discriminativo de cada provador, para diferenciar amostras apresentando variações sensoriais moderadas entre si, foi julgado submetendo cada provador a uma série de seis testes triangulares. Os 15 provadores que melhor discriminaram as amostras entre si foram então selecionados para compor a equipe que desenvolveu a terminologia descritiva das amostras.

4.2.5.1.4 - Desenvolvimento de terminologia descritiva

Os provadores previamente selecionados iniciaram a Análise Descritiva Quantitativa com o desenvolvimento dos termos descritivos para o licor de cacau através do método de Kelly ("Kelly's Repertory Grid Method", MOSKOWITZ, 1983). Os provadores receberam as amostras aos pares e foram solicitados a descrever na ficha fornecida (Figura 12), as similaridades e diferenças entre elas quanto a aparência, aroma e sabor.

Em cada sessão, após cada provador avaliar individualmente um par de amostras e gerar seus próprios termos descritivos, a equipe era reunida e os

termos eram discutidos de forma a se agrupar termos sinônimos e descartar termos utilizados por um baixo número de provadores. Após várias sessões de avaliação, obteve-se uma lista de terminologias descritivas, a qual realmente caracterizava a amostra em questão, bem como elaborou-se a definição consensual de cada termo e amostras referências de cada descritor.

Com os atributos escolhidos montou-se a ficha de avaliação das amostras onde a intensidade dos descritores foi julgada em uma escala não estruturada de 9 cm, ancorada nos pontos extremos, da esquerda e da direita, respectivamente, pelos termos clara e escura, pouco e muito, fraco e forte e, nenhum e forte, dependendo do atributo considerado.

NOME: _____ DATA: ___/___/___

Por favor, compare as duas amostras quanto a aparência, aroma e sabor e, descreva em que são similares e em que são diferentes.

Atributos Sensoriais	Números das amostras	
	Similaridades	Diferenças
Aparência		
Aroma		
Sabor		

Figura 12. Ficha para o método de descrição entrecruzada

4.2.5.1.5 - Treinamento

Os 15 provadores pré-selecionados foram reunidos seis vezes em sessões de treinamento para apresentação de amostras referências dos extremos das escalas para cada atributo definido, bem como várias amostras de liquor. Após a avaliação das referências os provadores eram solicitados a avaliar as amostras, utilizando a ficha descritiva previamente desenvolvida.

Esta etapa foi realizada para que as medidas dos provadores pudessem estar na mesma região da escala de avaliação para cada atributo. Provadores mostrando falta de consenso com a equipe eram particularmente treinados em suas avaliações com a ajuda do líder da equipe.

4.2.5.1.6 - Seleção dos provadores

Os 15 candidatos a comporem a equipe sensorial definitiva para a análise descritiva quantitativa, foram submetidos à testes de seleção, utilizando-se a ficha elaborada com as escalas de intensidade para os termos previamente definidos.

Os provadores receberam três diferentes amostras de liquor de cacau em solução aquosa a 5%, através de apresentação monádica com quatro repetições aleatorizadas, ou seja, todos os provadores receberam quatro vezes cada amostra.

A seleção dos provadores foi feita segundo o poder de discriminação entre as amostras, repetibilidade das respostas e consenso de cada provador com a equipe sensorial (DAMÁSIO & COSTEL, 1991). Utilizou-se para tanto a análise de variância (ANOVA), com duas fontes de variação (amostra e

repetição) para cada atributo, para cada provador. Obteve-se então os valores de F_{amostra} e $F_{\text{repetição}}$ para cada provador.

Foram selecionados os provadores com valores de F_{amostra} significativo para $p \leq 0,50$ e $F_{\text{repetição}}$ não significativo para $p > 0,10$ e concordância das médias com as da equipe (valores de médias de cada provador na mesma ordem e próximos à média da equipe para cada atributo avaliado).

4.2.5.1.7 - Avaliação das amostras

A equipe sensorial formada pelos provadores selecionados e treinados participou dos testes de avaliação das amostras.

As amostras foram servidas em cabines individuais, em copos plásticos descartáveis de 50 ml, codificados com algarismos de três dígitos. Utilizou-se um suporte de isopor para manter a temperatura das amostras por volta de 50 °C, a fim de facilitar a avaliação de seus atributos, principalmente do aroma. Cada provador recebeu cerca de 10 ml de amostra.

A apresentação das amostras foi feita na forma monádica, com três repetições aleatorizadas, num total de 6 sessões.

4.2.5.1.8 - Análise dos dados

Utilizou-se a análise de variância ANOVA de dois fatores (amostra e provador, bem como a interação amostra x provador). Aplicou-se o teste de Tukey para comparação das médias das amostras. Fez-se ainda a Análise de Componentes Principais (ACP). O pacote estatístico utilizado foi o SAS (1989). Os resultados das médias foram apresentados de forma tabular e gráfica e, a análise dos componentes principais através de gráficos bidimensionais.

4.2.6 - Extração, separação, identificação e dosagem de alquilpirazinas

4.2.6.1 - Extração dos voláteis

A extração dos voláteis foi feita através de um micro-extrator adaptado a um destilador do tipo utilizado para nitrogênio (Figura 13).

Na câmara **G** do extrator foi colocado 1,5 ml de água destilada e 2,0 ml de solvente de extração (mistura de n-pentano e éter-etílico 2:1 v/v) até se alcançar o nível de rebalse do ramal **E**. Com este processo foi possível a extração dos voláteis continuamente, através do arraste pelo vapor de água e pelo solvente.

No balão **A** tipo Kjeldhal de 250 ml foram colocados 30g de amostra, 10g de NaCl e 20 ml de água destilada e, no frasco **B** do extrator, colocou-se 2,0 ml do solvente de extração, insolúvel em água. O balão **L** continha apenas água destilada, que após ser aquecida através de uma resistência elétrica produzia vapor, o qual passava pelo balão **A**, arrastando os compostos voláteis da amostra para o micro-extrator.

O frasco **B** do extrator foi aquecido separadamente até atingir uma ebulição moderada (40-45°C), sendo que a coluna de condensação do micro-extrator foi continuamente resfriada por uma solução de álcool/água (1:2), com temperatura de -8°C, permitindo desta forma a condensação dos vapores de água contendo os componentes voláteis e o solvente no qual esses componentes são solúveis. Em seguida a fase aquosa era separada do solvente por diferença de densidade na câmara **G**. O excesso de solvente contendo os componentes voláteis era recolhido no frasco **B** pelo ramal **F** e o excesso de água recolhido no balão **A** pelo ramal **E**. Desta forma, os

componentes voláteis foram coletados com quantidades mínimas de solvente (1 ml), sendo que o extrato obtido foi injetado diretamente no cromatógrafo gasoso, após sua desidratação com sulfato de potássio.

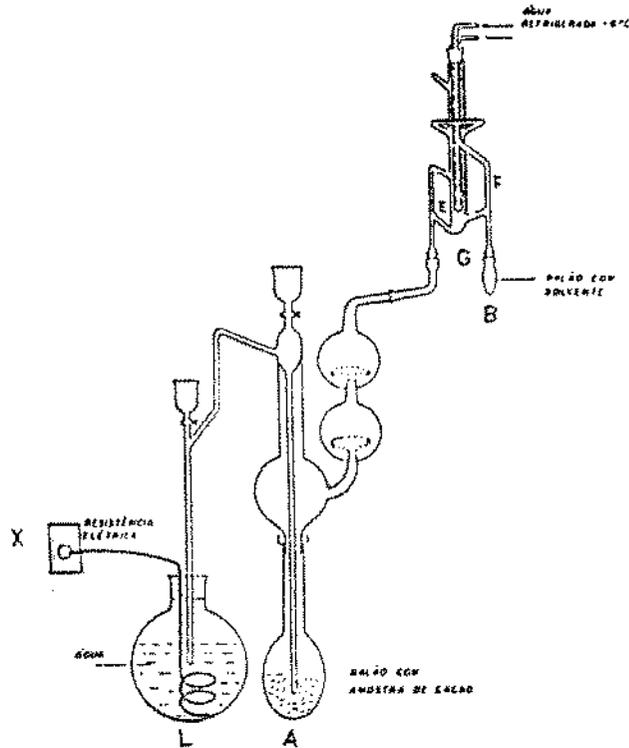


Figura 13. Micro extrator-destilador do tipo Likens & Nickerson acoplado a um destilador por arraste de vapor

Para cada amostra estudada fez-se duas extrações de compostos aromáticos, sendo que para cada amostra extraída fez-se duas injeções no cromatógrafo.

4.2.6.2 - Separação, identificação e dosagem de alquilpirazinas por cromatografia gasosa

A análise cromatográfica dos componentes voláteis foi feita para as dezesseis amostras de cacau torradas convencionalmente e por microondas,

descritas a seguir com suas respectivas abreviaturas, a fim de facilitar a discussão dos resultados:

- Amêndoas de cacau torradas em forno convencional a 150°C por 36, 40, 42 e 44 minutos (AM 36; AM 40; AM 42 e AM 44, respectivamente);
- Amêndoas de cacau torradas por microondas a 2.600, 2.800, 3.000 e 3.200 Watts de potência por aproximadamente oito minutos (AM 2.600; AM 2.800; AM 3.000 e AM 3.200, respectivamente);
- "Nibs" torrados em forno convencional a 150°C por 30, 34, 36 e 38 minutos (N 30; N 34; N 36 e N 38, respectivamente);
- "Nibs" torrados por microondas a 2.500, 2.600, 2.800 e 3.000 Watts de potência por aproximadamente nove minutos (N 2.500; N 2.600; N 2.800 e N 3.000, respectivamente).

Na separação e quantificação dos derivados pirazínicos estudados utilizou-se um cromatógrafo a gás VARIAN, modelo 3400, com detector de ionização de chama acoplado a um integrador VARIAN, modelo 4400.

As condições de análises em coluna capilar de sílica fundida de 30m de comprimento e 0,248 mm de diâmetro interno, com fase líquida D.B. WAX, foram as seguintes:

- Gás de arraste: hidrogênio, com velocidade de 1ml/min e pressão de 10 mm Hg
- "Make-up" - nitrogênio: 29 ml/min
- Ar sintético no detector: 300 ml/min
- Temperatura do detector: 250°C
- Temperatura do injetor: 230°C
- Volume injetado da amostra: 1,0 µl
- Tipo de injeção: "Splitless" de Grobs
- Período do "Splitless": 0,40 min

- Solvente n-Pentano e Éter Etilico (2:1 v/v)
- Programação de temperatura (aumento de 5°C/minuto):
 - inicial: 60°C
 - final: 210°C

Foram quantificados individualmente, para todos os tratamentos de torração estudados, tanto para as amêndoas como para os "nibs", sete compostos voláteis, os quais estão citados a seguir: 2-metilpirazina; 2,5-dimetilpirazina; 2,6-dimetilpirazina; etilpirazina; 2,3-dimetilpirazina; 2,3,5-trimetilpirazina e 2,3,5,6-tetrametilpirazina. As metilpirazinas foram identificadas usando-se seus respectivos padrões e os cálculos de suas concentrações foram feitos através da adição da 4 etilpiridina como padrão interno ao extrato aromático concentrado até 1 ml.

A equação resumida utilizada na determinação da concentração de cada pirazina foi a seguinte:

$$\mu\text{g de pirazina} = A_p \times C_r \times M_{pi} / A_{pi}$$

Sendo:

A_p = área do pico da alquilpirazina na amostra

A_{pi} = área do pico do padrão interno na amostra

C_r = coeficiente de resposta da alquilpirazina relativa ao padrão interno

M_{pi} = massa do padrão interno em μg

5 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - Caracterização da matéria-prima

5.1.1 - Análises químicas e físicas

A caracterização química das amêndoas de cacau, utilizadas neste estudo, em base seca, está apresentada na Tabela 4.

Tabela 4. Composição química da amêndoa de cacau, em base seca.

COMPOSTOS	PORCENTAGEM
Cinzas	2,81
Fibras	5,56
Lipídios	53,78
Proteínas	19,05
Outros Carboidratos	18,80

Pode-se observar que o cacau é um produto rico em gorduras e proteínas. Quando comparamos os resultados aqui obtidos com aqueles citados na literatura por MINIFIE (1970), observa-se que o teor de cinzas é praticamente igual ao que é citado pelo autor, os lipídios encontram-se um pouco abaixo e as proteínas estão presentes em quantidades superiores. Tais oscilações ocorrem em função de inúmeras variáveis, como região de cultivo, pré-tratamentos realizados e variedade do fruto entre outros.

A composição física das amêndoas de cacau também foi determinada. Os resultados encontram-se apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Composição física da amêndoa de cacau

COMPONENTES	AMÊNDOA INTEIRA (%)
Testa	14,91
Gérmen	0,94
Cotilédone	84,15

O rendimento das amêndoas de cacau pode ser considerado muito bom, estando na faixa de 74%.

5.2 - TORRAÇÃO

5.2.1 - Torração convencional

A temperatura da camisa do forno elétrico utilizado para torrar as amêndoas inteiras e os "nibs" foi de 150°C, permanecendo constante durante todo o processo. Os perfis de temperatura dentro da cavidade de torração estão apresentados nas Figuras 14 e 15.

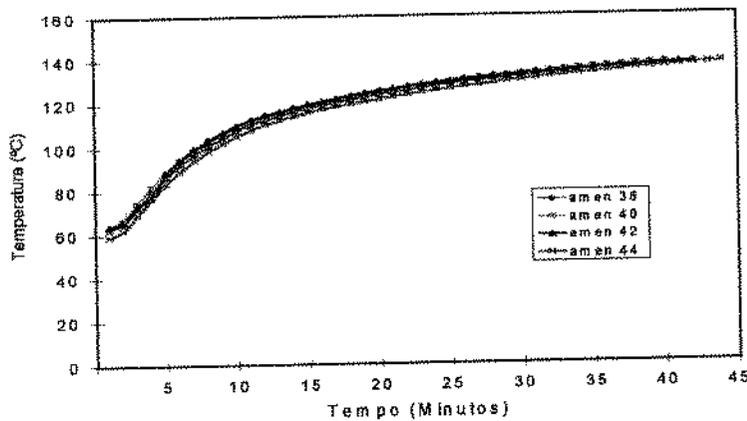


Figura 14. Valores médios de temperatura dentro da cavidade do forno elétrico rotativo para a torração de amêndoas inteiras

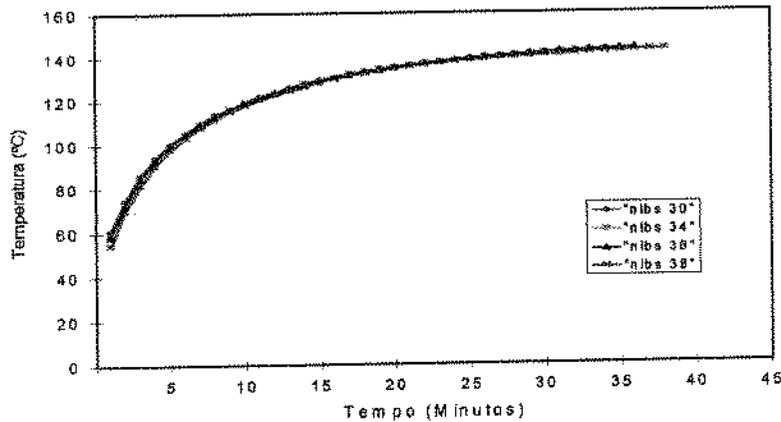


Figura 15. Valores médios de temperatura dentro da cavidade do forno elétrico rotativo para a torração de "nibs"

Pode-se observar que o perfil de temperatura no interior da cavidade do forno elétrico foi bastante semelhante para todas as torrações realizadas, indicando boa reprodutibilidade do equipamento. Cabe destacar que cada lote de amostra era composto por aproximadamente 2 kg de produto torrado, no entanto, a capacidade do equipamento era de apenas 250 gramas, sendo então necessárias oito torrações para cada amostra. A boa reprodutibilidade garantiu então a uniformidade das amostras.

A máxima temperatura atingida dentro da cavidade do forno elétrico foi de 134,1 °C para as amêndoas inteiras e de 143,6 °C para os "nibs". Quando a temperatura atingiu seu máximo, já era perceptível um aroma de sobretorrado, sendo que para os "nibs" esta temperatura foi quase 10°C maior quando comparada a das amêndoas. Possivelmente o fato de se ter torrado as amêndoas com casca, tenha levado ao aparecimento de cheiro de produto sobretorrado, antes deste ter sido detectado para os "nibs".

GILABERT (1997), também estudou estas mesmas amostras com o objetivo de comparar propriedades reológicas da massa de cacau torrada convencionalmente e por microondas, sendo que os resultados obtidos pelo autor, para os teores de umidade final, para as amêndoas inteiras e para os "nibs", ambos torrados convencionalmente, estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Umidade final das amêndoas inteiras e "nibs" torrados convencionalmente

	AMOSTRAS							
	AM 36	AM 40	AM 42	AM 44	N 30	N 34	N 36	N 38
Umidade final do produto (%)	1,87	1,83	1,73	1,81	1,88	1,70	1,71	1,85

5.2.2 - Torração por microondas

5.2.2.1 - Calibração do alimentador

O alimentador foi calibrado para diversas capacidades, sendo então calculados os parâmetros de regressão linear, tanto para as amêndoas inteiras como para os "nibs" (Figura 16).

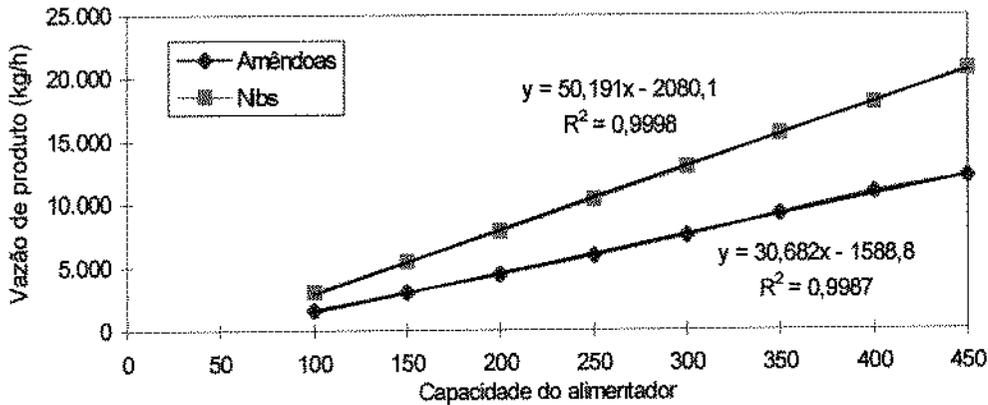


Figura 16. Calibração do alimentador para amêndoas inteiras e “nibs”

O coeficiente de correlação linear (R^2) obtido, tanto para as amêndoas inteiras como para os “nibs”, demonstra que o comportamento do alimentador foi uniforme, principalmente no caso dos “nibs”, pois as amêndoas inteiras apresentavam tamanho irregular e muito próximo ao diâmetro da rosca do alimentador.

5.2.2.2 - Determinação da rotação do cilindro

A rotação foi obtida com base na inclinação do cilindro e nos tempos médios de residência (θ_m) de 5 e 10 minutos. Utilizou-se para tanto a equação de DĂSCĂLESCU (1969), apresentada no item 4.2.3.2.2.

Os resultados obtidos foram:

- θ_m 5 minutos = 11,37 rpm
- θ_m 10 minutos = 5,68 rpm

5.2.2.3 - Determinação da vazão mássica

O volume total do cilindro rotativo utilizado era de 91,7 litros. Segundo MISKELL & MARSHALL (1956), para testes de secagem uma ocupação entre 7,5 e 8,0% é considerada ideal, entretanto, definiu-se uma ocupação de 4%, ou seja, 3,668 litros, uma vez que a quantidade de matéria-prima disponível era fator limitante.

Considerando então uma ocupação de 4% tem-se:

- 3,668 litros x 0,52 (densidade aparente dos "nibs") = 1,907 kg de produto
- 3,668 litros x 0,50 (densidade aparente das amêndoas inteiras) = 1,834 kg de produto

Portanto,

"Nibs"

- θ_m 5 minutos = 12 x 1,907 kg = 22,88 kg/h
- θ_m 10 minutos = 6 x 1,907 kg = 11,44 kg/h

Amêndoas inteiras

- θ_m 5 minutos = 12 x 1,834 kg = 22,01 kg/h
- θ_m 10 minutos = 6 x 1,834 kg = 11,01 kg/h

O tempo médio de residência de 10 minutos foi o selecionado para ser usado em todos os testes realizados, pois permitia melhor controle do processo em termos práticos.

5.2.2.4 - Ajuste do alimentador

Utilizando-se a equação de regressão linear obtida na calibração do alimentador, os dados de densidade aparente do produto e o tempo médio de residência, calculou-se a capacidade do alimentador que iria resultar na vazão mássica desejada:

- "Nibs": capacidade do alimentador de 265 (11,44 kg/h)

- Amêndoas inteiras: capacidade do alimentador de 418 (11,01 kg/h)

5.2.2.5 - Distribuição do tempo de residência

Este teste foi feito para verificar se a capacidade do alimentador realmente resultava em um tempo de residência de 10 minutos, assim como permitiu se ter uma visão da distribuição do produto dentro do cilindro. Os resultados obtidos estão apresentados na Figura 17.

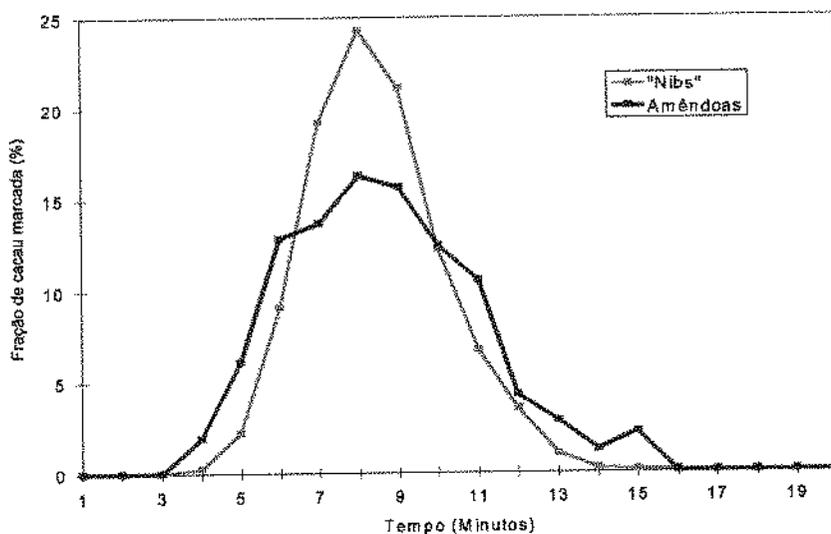


Figura 17. Distribuição dos tempos de residência para os "nibs" e amêndoas inteiras dentro do forno com aplicação de microondas

Observa-se que o tempo de residência médio dos “nibs” esteve ao redor de nove minutos, enquanto que as amêndoas inteiras já começaram a sair após oito minutos de residência. Esta ocorrência pode ser atribuída ao fato de que as amêndoas apresentavam tamanhos irregulares. O fato das amêndoas saírem mais rapidamente de dentro do cilindro resulta na necessidade de uma maior intensidade de potência de microondas para se torrar este produto.

5.2.2.6 - Densidades de potências de microondas

Foram definidas em função das potências de microondas utilizadas, através do quociente da potência aplicada pela vazão mássica.

Em ensaios preliminares realizou-se testes partindo-se de uma densidade de potência de 95 Wh/kg, conforme utilizado por FAILLON *et alii* (1978), no entanto o produto obtido não apresentava característica de torrado. As potências testadas foram então sendo gradativamente aumentadas até que fosse perceptível o aroma e sabor de torrado no produto. Isto só foi possível com densidades de potência de microondas acima de 200 Wh/kg, tanto para os “nibs” como para as amêndoas inteiras.

Nas Tabelas 7 e 8 estão apresentados os dados de potência de microondas, densidade de potência e temperatura de saída do produto e umidade final, para todos os testes realizados.

Cabe destacar que a temperatura média de entrada do produto foi de 25°C.

Tabela 7. Dados da torração de amêndoas inteiras com aplicação de microondas

Amostras	Potência (Watts)	Densidade de potência (Wh/kg)	Temperatura de saída do produto (°C)	Umidade final do produto (%)*
1	2.600	236,15	123,0	1,87
2	2.800	254,31	126,0	1,76
3	3.000	272,48	132,0	1,78
4	3.200	290,64	134,0	1,84

* GILABERT (1997)

Tabela 8. Dados da torração dos "nibs" com aplicação de microondas

Amostras	Potência (Watts)	Densidade de potência (Wh/kg)	Temperatura de saída do produto (°C)	Umidade final do produto (%)*
1	2.500	218,53	113,0	1,85
2	2.600	227,27	118,5	1,69
3	2.800	244,75	122,0	1,81
4	3.000	262,24	127,0	1,76

* GILABERT (1997)

5.3 - ANÁLISE SENSORIAL

5.3.1 - Desenvolvimento de terminologia descritiva

Nesta etapa obteve-se inicialmente 83 termos descritores, dos quais 21 para aparência, 30 para aroma e 32 para sabor (Apêndices AI, AII e AIII). Uma vez que vários termos se referiam a uma mesma característica, fez-se uma série de discussões com a equipe de provadores, para se eliminar os termos sinônimos ou de frequência muito baixa. Chegou-se então a 10 termos descritores, sendo 2 para aparência, 3 para aroma e 5 para sabor (Apêndice B). Para cada termo descritor selecionado foi definida uma amostra referência para seus extremos (Tabela 9). Com os 10 termos descritores montou-se a ficha de avaliação que foi utilizada em todos os testes (Figuras 18 e 19).

Tabela 9. Composição de cada referência para cada extremo dos termos descritivos selecionados.

Termo Descritivo	Composição Referência
Marrom Claro (aparência)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau cru, adicionada de 30 gotas leite.
Marrom Escuro (aparência)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau torrado à 145°C/50 min, e adicionada de 0,135g de ácido tânico.
Muito Gorduroso (aparência)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau desengordurado comercial, adicionada de 3 gotas de óleo de soja.
Pouco Gorduroso (aparência)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau desengordurado comercial, adicionada de 1 gota de óleo de soja.
Chocolate Forte (aroma)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau torrado à 145°C/30 min, adicionada de 5g de chocolate em pó comercial, já adoçado.
Chocolate Fraco (aroma)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau cru.
Acidez Forte (aroma)	150 ml de água destilada adicionada de 1,0 ml de ácido acético glacial.
Acidez Fraca (aroma)	150 ml de água destilada adicionada de 0,25 ml de ácido acético glacial.
Torrado Forte (aroma)	Liquor de cacau puro, produzido a partir de cacau torrado por 2 horas a 155°C.
Torrado Fraco (aroma)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau cru.
Chocolate Forte (sabor)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau torrado à 145°C/30min, adicionada de 5g de pó de cacau comercial sem açúcar.
Chocolate Fraco (sabor)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau cru.
Acido Forte (sabor)	100 ml de solução preparada com 5% de cacau cru, adicionada de 0,13g de ácido cítrico.
Acido Fraco (sabor)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau torrado à 145°C/50 min.
Amargo Forte (sabor)	Liquor puro, sobretorrado, doado por uma empresa torrefadora de cacau.
Amargo Fraco (sabor)	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau torrado à 145°C/50 min.
Torrado Forte	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau torrado à 155°C/2 horas.
Torrado Fraco	100 ml de solução preparada com 5% de liquor de cacau cru.
Adstringente Forte	Banana Verde
Adstringente Fraco	Banana Madura

NOME: _____ DATA: ___ / ___ / ___

Por favor, avalie cada amostra da solução de líquido de cacau e indique a intensidade de cada atributo através de um traço vertical na linha associada a ele.

Nº DA AMOSTRA
APARÊNCIA

COR MARROM

escura clara

GORDUROSA

muito pouco

AROMA

CHOCOLATE

forte fraco

ÁCIDO

forte fraco

TORRADO

nenhum forte

Figura 18. Ficha para a análise sensorial descritiva quantitativa de líquido de cacau (aparência e aroma)

SABOR

CHOCOLATE

forte **fraco**

ÁCIDO

forte **fraco**

AMARGO

forte **fraco**

TORRADO

forte **nenhum**

ADSTRINGENTE

muito **pouco**

Comentários: _____

Figura 19. Ficha para a análise sensorial descritiva quantitativa de liquor de cacau (sabor)

5.3.2 - Seleção de provadores para análise descritiva quantitativa

Para esta etapa de seleção considerou-se os 10 termos descritivos previamente selecionados (Apêndice B). As tabelas com os níveis de significância (p) para provadores em função de discriminação das amostras ($F_{amostra}$) e em função da repetibilidade ($F_{repetição}$) estão apresentados nos Apêndices C e D.

Cabe destacar que somente 2 provadores apresentaram valor de $F_{repetição}$ significativo ($p < 0,10$) para mais de um atributo, o que revela uma boa reprodutibilidade dos provadores.

Como o produto em questão é bastante incomum, não eliminou-se nenhum provador considerando apenas sua capacidade de discriminação e repetibilidade, sendo que optou-se por considerar também o consenso de cada um com a média da equipe, para só então serem eliminados aqueles que não apresentassem bons resultados.

Para avaliar o consenso dos provadores com a equipe fez-se a comparação das médias individuais para cada atributo com a média da equipe.

Os resultados obtidos (Apêndice E), indicaram que os provadores 4, 6, 8, 11 e 14 apresentaram maior discordância com a equipe sensorial. No que se refere aos outros dois critérios de seleção (discriminação entre as amostras e repetibilidade), a maior parte da equipe apresentou boa repetibilidade, no entanto, a discriminação entre as amostras não foi muito boa. A equipe sensorial final foi formada então por dez provadores, tendo-se eliminado justamente os provadores que apresentaram maior discordância com a equipe: provadores 4, 6, 8, 11 e 14.

5.3.3 - Análise descritiva quantitativa de liquor de cacau torrado convencionalmente e com aplicação de microondas

Na tabela 10 estão apresentadas as médias de cada descritor e respectivas diferenças estatísticas. Através da mínima diferença significativa (MDS) obtida pelo teste de médias de Tukey ($p \leq 0,05$), realizou-se a comparação entre as médias, onde aquelas marcadas com letras em comum, numa mesma linha, não diferem entre si.

No que se refere a cor marrom, somente a amostra N 2.800 apresentou diferença significativa comparada às demais amostras, apresentando a menor intensidade de cor marrom. Com relação à aparência gordurosa, somente a amostra N 38 difere significativamente ($p \leq 0,05$) das demais amostras, apresentando aparência menos gordurosa quando comparada às demais amostras.

Tabela 10. Média dos atributos para cada amostra avaliada e respectivas diferenças estatísticas

ATRIBUTOS	AMOSTRAS			
	N 2.800	AM 3.200	N 38	AM 44
COR	3,957 ^c	6,933 ^a	7,023 ^a	6,153 ^a
GORD	4,637 ^a	4,037 ^a	2,607 ^b	3,917 ^a
CHO	5,417 ^b	5,417 ^b	6,580 ^a	6,000 ^{ab}
ACI	3,900 ^a	2,930 ^{ab}	2,407 ^b	3,143 ^{ab}
TOR	4,260 ^a	5,247 ^a	5,463 ^a	4,353 ^a
CHOC	4,017 ^b	4,797 ^{ab}	5,427 ^a	5,037 ^{ab}
ACID	3,973 ^a	2,343 ^b	2,320 ^b	3,060 ^{ab}
AMAR	5,153 ^b	5,243 ^a	4,247 ^a	4,277 ^a
TORR	4,607 ^a	5,657 ^a	5,333 ^a	4,957 ^a
ADS	2,720 ^a	3,180 ^a	2,230 ^a	3,013 ^a

COR=cor marrom / GORD=aparência gordurosa / CHO=aroma chocolate / ACI=aroma ácido / TOR=aroma torrado / CHOC=sabor chocolate / ACID=sabor ácido / AMAR=sabor amargo / ADS=sabor adstringente

Obs: Todos os valores, de uma mesma linha, com a mesma letra não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5%)

Para o atributo aroma chocolate observa-se que as amostras N 38 e AM 44 não diferem significativamente entre si, sendo que se destacam dentre as amostras estudadas, apresentando aroma de chocolate mais intenso. A amostra AM 44 não difere estatisticamente das amostras N 2.800 e AM 3.200.

Com relação ao atributo aroma ácido, a amostra N 38 só difere significativamente da amostra N 2.800, sendo que dentre as amostras estudadas a N 38 é a que apresentou menor aroma ácido.

Para o atributo aroma torrado todas as amostras foram consideradas estatisticamente semelhantes entre si ($p \leq 0,05$).

Com relação ao sabor de chocolate, apenas as amostras N 2.800 e N 38 diferem-se entre si ($p \leq 0,05$), sendo que a N 2.800 foi a amostra que menor sabor de chocolate apresentou e a N 38 a que mais se destacou neste atributo, apesar desta diferença não ser significativa com relação às demais amostras.

A amostra que apresentou sabor ácido mais acentuado foi a N 2.800, apesar desta não diferir significativamente da AM 44. As amostras AM 3.200 e N 38, com os menores sabores ácidos detectados não diferem significativamente da amostra AM 44 ($p \leq 0,05$).

Para o sabor amargo, as amostras não diferiram estatisticamente entre si, apesar da amostra AM 3.200 ter apresentado o sabor amargo mais acentuado e a amostra N 38 o mais fraco.

Com relação ao sabor torrado e à adstringência, as amostras não apresentaram diferenças significativas entre si ($p \leq 0,05$), apesar da amostra AM 3.200 ter apresentado maior sabor de torrado e maior adstringência.

O resultado da aplicação da técnica estatística de análise de componentes principais está apresentada na Figura 20, onde as configurações dos atributos sensoriais para as quatro amostras estudadas pode ser melhor avaliada. Verifica-se que 49,06 % da variação ocorrida entre as amostras foi explicada pelo primeiro eixo (Componente Principal 1). Os componentes principais 1 e 2 explicam juntos 66,06% da variação ocorrida entre as amostras.

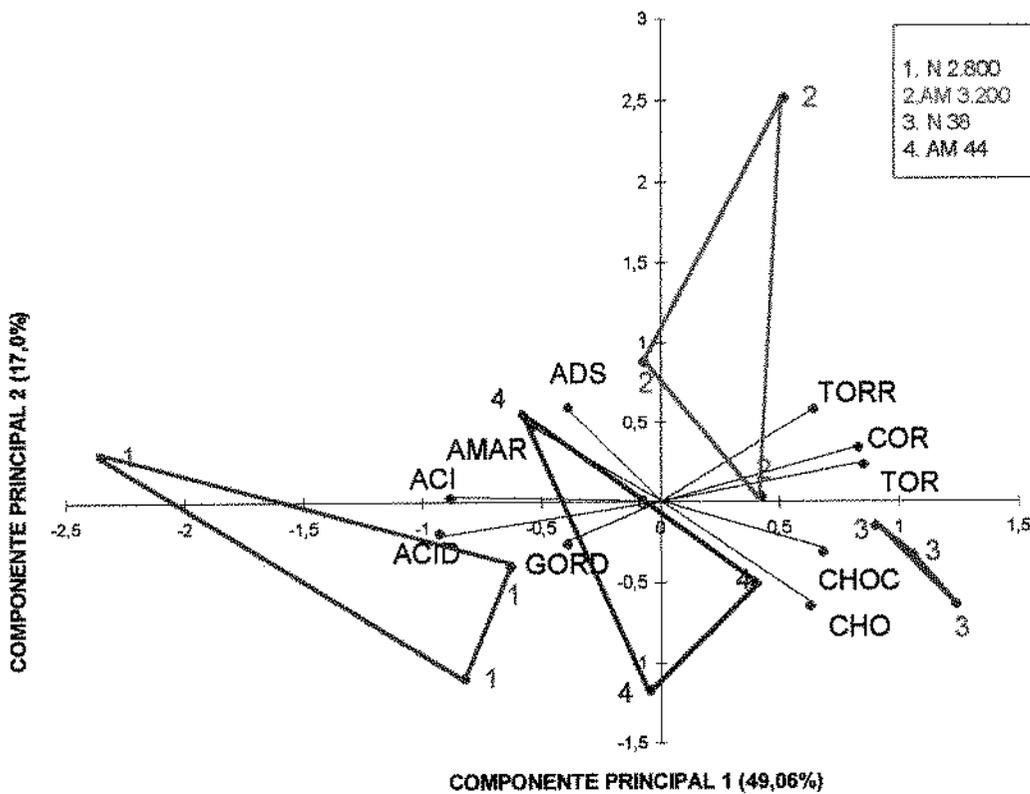


Figura 20. Projeção bidimensional da análise de componentes principais das amostras de licor de cacau

Na análise de componentes principais, vetores com medidas mais distantes de zero, correspondem à variáveis que têm maior influência sobre o valor do componente principal, enquanto que aqueles próximos de zero correspondem a uma variável com pequena influência sobre o componente principal.

Os atributos COR, TOR e CHOC (positivamente) e GORD, ACID, ACI e AMAR (negativamente) contribuíram com maior peso sobre a variabilidade associada ao eixo 1, sendo que os atributos TORR (positivamente), CHO (negativamente) e ADS (positivamente) tiveram maior influência sobre o eixo 2.

No gráfico da ACP, cada amostra está representada por um triângulo, cujos vértices foram definidos pelas repetições realizadas pela equipe sensorial. Assim, uma vez que cada amostra (triângulo) ocupa uma região distinta no gráfico, pode-se afirmar que a repetibilidade da equipe sensorial foi boa o suficiente para, de uma forma global, diferenciar as amostras entre si.

A amostra N 2.800 foi caracterizada principalmente pelo sabor e aroma ácidos (vetores ACI e ACID) e pela aparência gordurosa (vetor GORD).

A amostra AM 3.200 caracterizou-se principalmente pelo sabor e aroma de torrado (vetores TORR e TOR), cor marrom (vetor COR), sabor amargo (vetor AMAR) e um pouco de adstringência (vetor ADS).

A amostra N 38 destacou-se pela cor marrom (vetor COR), por seu aroma de torrado (vetor TOR) e pelo sabor e aroma de chocolate (vetores CHOC e CHO).

Para a amostra AM 44, onde não obteve-se boa repetibilidade dos resultados, tem-se que vários atributos foram associados a ela: aroma de chocolate, aparência gordurosa, sabor e aroma ácido, sabor amargo e sabor adstringente (vetores CHO, GORD, ACID, ACI, AMAR e ADS respectivamente). Observa-se na Figura 20 que a amostra AM 44 ocupa três regiões do gráfico, o que leva à associação de vários atributos a esta amostra.

Cabe destacar que em uma análise de componentes principais, onde os resultados são apresentados em forma de figura bidimensional através dos componentes principais 1 e 2, aqueles vetores próximos entre si possuem correlação linear positiva, sendo que vetores que encontram-se em direções opostas possuem correlação linear negativa.

Nos resultados obtidos observa-se que os vetores GORD e TORR estão em direção oposta, portanto, é possível sugerir que provavelmente exista uma correlação linear negativa entre a aparência gordurosa e o sabor de torrado. O mesmo ocorre com o vetor CHO contra os vetores AMAR e ADS, sugerindo também a possibilidade de correlação linear negativa entre o atributo aroma de chocolate com os atributos sabor amargo e sabor adstringente, para as amostras avaliadas.

Quanto à correlação linear positiva, há possibilidade de ocorrência entre os vetores COR e TOR; CHO e CHOC e ainda entre os vetores ACID e ACI e entre TORR e TOR. O coeficiente de correlação entre estes atributos é:

- COR - TOR → $r = -0,66$ ($p \leq 0,05$)
- CHO - CHOC → $r = 0,63$ ($p \leq 0,05$)
- ACID - ACI → $r = 0,75$ ($p \leq 0,05$)
- TORR - TOR → $r = 0,76$ ($p \leq 0,05$)

A predominância de cada atributo para as diferentes amostras pode ser melhor visualizada na figura 21.

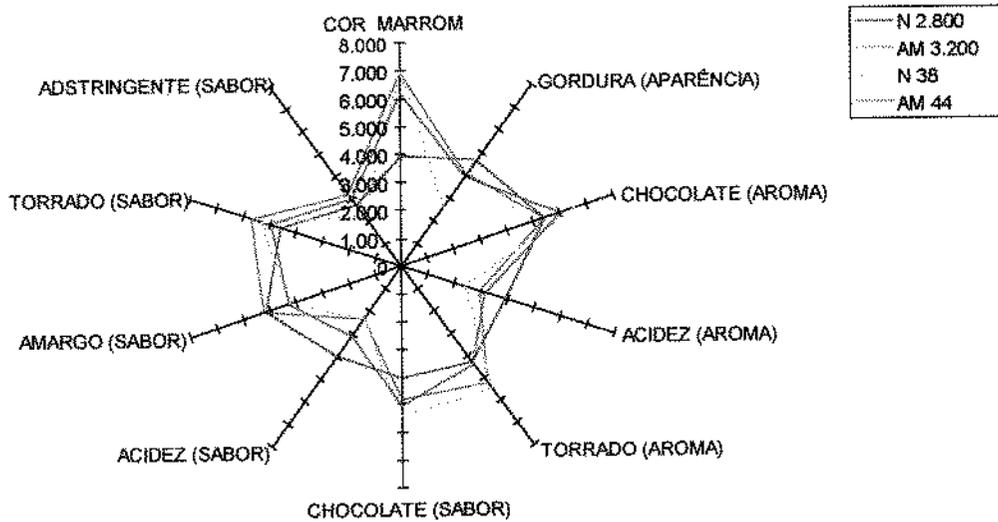


Figura 21. Gráfico em estrela com as médias dos atributos para as amostras de licor de cacau

O perfil das amostras analisadas ilustra que a amostra N 2.800, quando comparada com as demais amostras, apresentou menor aroma e sabor de

chocolate, cor marrom menos intensa, sabor e aroma ácidos mais destacados, sabor e aroma de torrado menos intenso, aparência gordurosa mais acentuada, sendo que sua adstringência só foi menor que a da amostra N 38. Seu sabor amargo foi considerado bastante semelhante ao da amostra AM 3.200.

A amostra AM 3.200 mostrou-se com aparência gordurosa mais acentuada que as amostras torradas convencionalmente, sendo que seu aroma de chocolate foi considerado bastante semelhante ao da amostra N 2.800 e menor que o das amostras convencionais, portanto, o aroma de chocolate das amostras torradas por microondas foi considerado menor. Seu aroma ácido ficou intermediário entre as duas amostras convencionais e seu aroma torrado e sabor ácido ficaram bastante semelhantes ao da amostra N 38. Foi uma das amostras consideradas mais amargas, bastante semelhante à amostra N 2.800.

O sabor de chocolate das duas amostras torradas por microondas foi considerado menos intenso quando comparado com as amostras convencionais.

O sabor de torrado e a adstringência da amostra AM 3.200 foram considerados mais acentuados quando comparados às demais amostras. Sua cor marrom ficou semelhante a da amostra N 38.

A amostra N 38 foi considerada a amostra com cor marrom bastante semelhante à da amostra AM 3.200, menor aparência gordurosa, maior aroma e sabor de chocolate, menor aroma e sabor ácidos, maior aroma de torrado, sabor amargo bastante semelhante ao da amostra AM 44 e, portanto, menos intenso que o observado nas amostras torradas por microondas. Seu sabor de torrado foi considerado maior que o observado nas amostras torradas por microondas. Sua

adstringência foi considerada a menos intensa quando comparada às demais amostras.

No que diz respeito a amostra AM 44, pode-se ressaltar que ela não se destacou em nenhum dos atributos avaliados, ou seja, para alguns atributos está próxima da outra amostra torrada convencionalmente e, para outros, está próxima das amostras torradas por microondas. Cabe destacar que seu aroma e sabor de chocolate foram maiores que os das amostras torradas por microondas e seu sabor amargo menor.

5.4 - Análise dos compostos voláteis do cacau

5.4.1 - Extração dos compostos voláteis

A extração feita através de um micro-extrator adaptado a um destilador do tipo utilizado para nitrogênio mostrou-se eficiente para extrair os compostos aromáticos, o que também já havia sido comprovado em trabalhos anteriores realizados por PEZOA (1989) e por ZAMALLOA (1994), os quais utilizaram o mesmo sistema para a extração de compostos voláteis do cacau.

5.4.2 - Cromatografia gasosa

A cromatografia gasosa apresentou bons resultados para a separação, identificação e quantificação dos componentes aromáticos estudados.

Na Figura 22 está apresentado o cromatograma padrão, onde destaca-se a clara separação das metilpirazinas estudadas, juntamente com o padrão interno utilizado (4-etilpiridina).

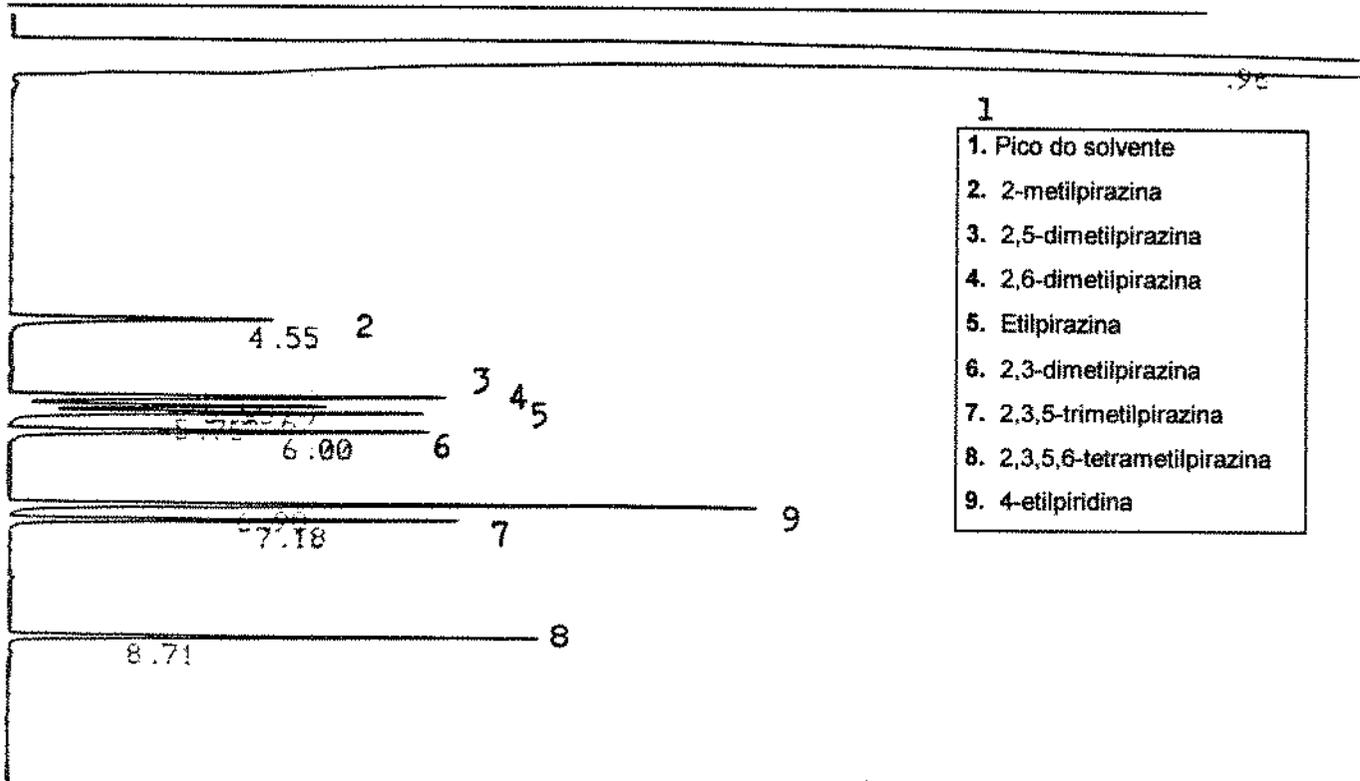


Figura 22. Cromatograma dos padrões de metilpirazinas estudadas e padrão interno, 4-etilpiridina

5.4.3 - Composição aromática das amostras de amêndoas de cacau inteiras, torradas convencionalmente

Na Tabela 11 estão apresentadas as concentrações dos compostos aromáticos estudados para as amêndoas de cacau inteiras, torradas convencionalmente.

Tabela 11. Concentração de metilpirazinas em amostras de amêndoas de cacau torradas inteiras em forno convencional, a 150 °C, em µg/kg de liquor

	AM 36	AM 40	AM 42	AM 44
2-metilpirazina	ND	241,50	283,00	150,00
2,5-dimetilpirazina	313,00	696,00	780,25	537,50
2,6-dimetilpirazina	ND	189,00	349,75	310,00
Etilpirazina	ND	177,50	177,50	110,25
2,3-dimetilpirazina	167,00	177,50	177,50	110,25
2,3,5-trimetilpirazina	533,00	1.195,25	1.526,75	856,00
2,3,5,6-tetrametilpirazina	820,00	2.167,00	1.517,25	947,00

ND=não detectado

Na torração convencional de amêndoas inteiras pode-se observar (Tabela 11) que a amostra AM 42 é aquela onde a maioria dos compostos aromáticos apresenta maior concentração, exceto para o caso da 2,3,5,6-tetrametilpirazina, a qual teve seu pico máximo na amostra AM 40. Deve-se notar, nesta mesma Tabela, que a 2-metilpirazina, a 2,6-dimetilpirazina e a etilpirazina não foram detectadas na amostra AM 36, além do que este último composto manteve concentração baixa e semelhante em todos os tratamentos estudados. O perfil da evolução da concentração das metilpirazinas para as amêndoas de cacau torradas inteiras em forno convencional, pode ser melhor avaliado na Figura 23.

Segundo BAUERMEISTER (1981), a 2,3,5,6-tetrametilpirazina e a 2,5-dimetilpirazina poderiam ser consideradas indicadores do grau de torração do cacau, desta forma uma diminuição em suas concentrações poderia ser um sinal de que a torração estaria atingindo seu final. Considerando-se os compostos aromáticos que aparecem em maior concentração (2,5-dimetilpirazina; 2,3,5-trimetilpirazina e 2,3,5,6-tetrametilpirazina) poder-se-ia admitir que, para

as amêndoas inteiras torradas convencionalmente, uma torração a 150°C/40-42 minutos resultaria em bons resultados, uma vez que esta é a faixa de maior produção das principais pirazinas estudadas e onde a 2,3,5,6-tetrametilpirazina começa a reduzir significativamente sua concentração. Segundo os “experts” consultados, a torração a 150 °C/44 minutos (AM 44) apresentou os melhores resultados dentre as amostras de amêndoas inteiras torradas convencionalmente. Já os resultados obtidos na análise sensorial realizada pela equipe treinada na UNICAMP, indicam que uma torração a 150°C/44 minutos (AM 44) não apresentou sabor e aroma de chocolate tão acentuado como os obtidos para a amostra que mais se destacou sensorialmente neste importante atributo (N 38), portanto, tal fato sugere que possivelmente aos 44 minutos de torração já se tenha perdido alguns importantes compostos aromáticos, uma vez que, como pode ser observado na Tabela 11, aos 44 minutos as concentrações encontradas para todos os compostos estudados são menores que aquelas obtidas tanto aos 40 como aos 42 minutos de torração a 150°C, exceto para o caso da 2,6-dimetilpirazina. Uma torração intermediária entre 42 e 44 minutos a 150°C parece ser indicada para torrar as amêndoas de cacau inteiras convencionalmente.

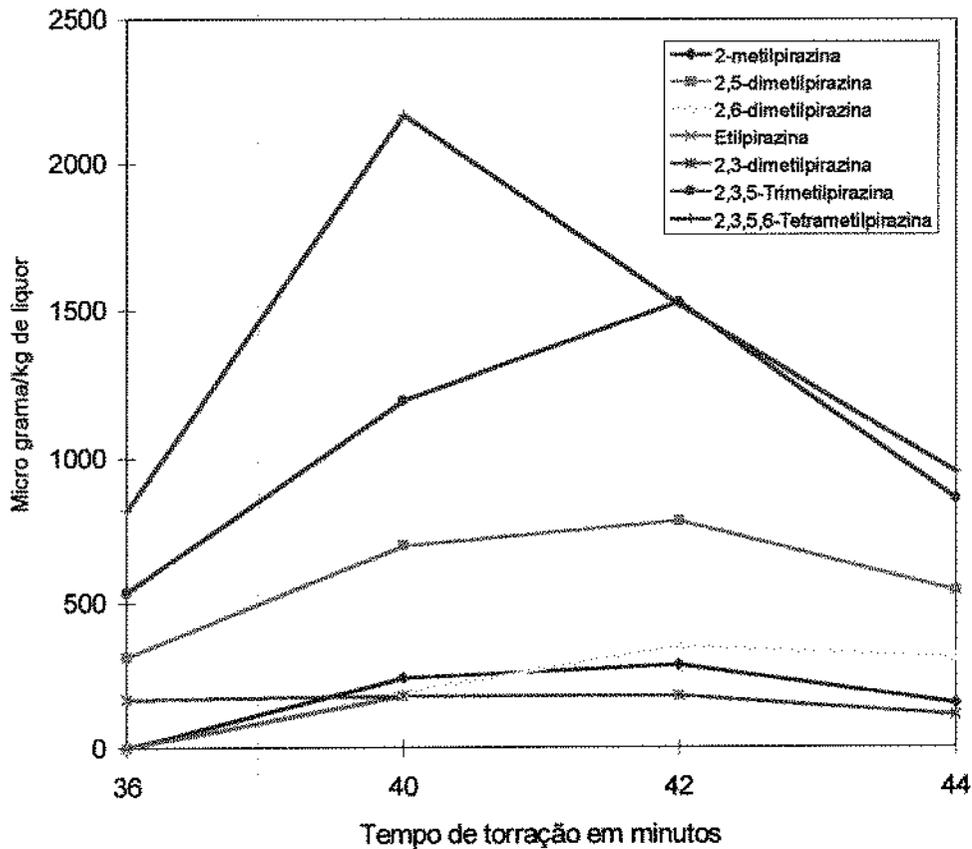


Figura 23. Perfil de evolução da concentração dos compostos aromáticos estudados, para as amêndoas de cacau torradas inteiras em forno convencional

5.4.4 - Composição aromática das amostras de amêndoas de cacau inteiras, torradas por microondas

Na Tabela 12 estão apresentadas as concentrações dos compostos aromáticos estudados para as amêndoas inteiras torradas por microondas.

Tabela 12. Concentração de metilpirazinas em amostras de amêndoas de cacau torradas inteiras por processo contínuo de aplicação de microondas, em $\mu\text{g}/\text{kg}$ de liquor

	AM 2.600	AM 2.800	AM 3.000	AM 3.200
2-metilpirazina	175,00	179,50	378,00	338,50
2,5-dimetilpirazina	528,25	633,00	1.056,00	984,00
2,6-dimetilpirazina	305,00	333,50	378,00	411,00
Etilpirazina	125,00	137,00	278,00	245,00
2,3-dimetilpirazina	125,00	136,25	278,00	123,00
2,3,5-trimetilpirazina	825,00	983,00	1.038,50	1.569,50
2,3,5,6-tetrametilpirazina	1.225,00	1.513,00	1.089,00	794,50

Na torração de amêndoas inteiras por microondas observa-se que a 2,6-dimetilpirazina e a 2,3,5-trimetilpirazina tiveram um aumento constante de concentração, para todas as potências estudadas, pelo período em que foram torradas (aproximadamente 8 minutos). Os demais compostos aromáticos apresentaram o máximo de sua concentração na amostra AM 3.000, exceto a 2,3,5,6-tetrametilpirazina, a qual apresentou seu pico máximo na AM 2.800. O perfil da evolução da concentração das metilpirazinas para as amêndoas de cacau torradas por microondas pode ser melhor observado na Figura 24.

Levando-se em conta apenas os resultados cromatográficos e considerando a redução no teor da 2,3,5,6-tetrametilpirazina como um indicador do final da etapa de torração, tem-se que uma potência intermediária entre 2.800 e 3.000 Watts talvez resultasse em um equilíbrio melhor entre os três compostos aromáticos que aparecem em maior concentração (2,5-dimetilpirazina; 2,3,5-trimetilpirazina e 2,3,5,6-tetrametilpirazina). Considerando-se agora os resultados da análise sensorial feita pelos "experts", tem-se que a amostra AM 3.200 foi a melhor dentre as testadas para as amêndoas torradas por microondas.

Na análise feita pela equipe sensorial treinada na UNICAMP a amostra AM 3.200 foi definida como tendo menos aroma e sabor de chocolate que as amostras torradas convencionalmente, possivelmente devido ao fato de que nesta potência, grande parte dos compostos estudados apresentavam concentrações menores do que aquelas observadas no produto torrado a 3.000 Watts (AM 3.000) (Tabela 12). Portanto, com base nos resultados obtidos cromatograficamente e sensorialmente, uma torração intermediária entre 3.000 e 3.200 Watts de potência de microondas poderia resultar em um produto com melhores características.

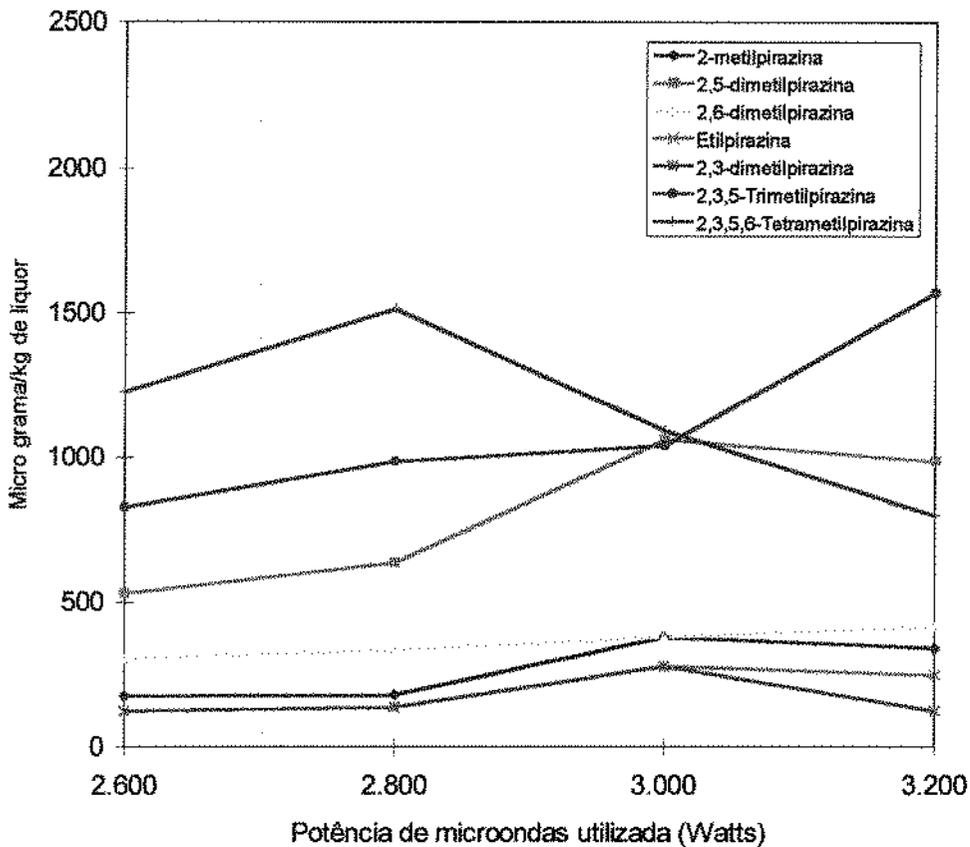


Figura 24. Perfil da evolução da concentração dos compostos aromáticos estudados, para as amêndoas de cacau torradas inteiras por microondas

5.4.5 - Comparação da composição aromática entre as amostras de amêndoas de cacau torradas inteiras, convencionalmente e por microondas

Comparando-se as amêndoas inteiras, torradas pelo processo convencional, com aquelas torradas por microondas tem-se que, com exceção da 2,3,5,6-tetrametilpirazina, todas as metilpirazinas estudadas apresentaram uma concentração quantitativamente maior no processo que utilizou microondas. Para avaliar se esta diferença é estatisticamente significativa, aplicou-se o teste de análise de variância (ANOVA) e ainda o Teste de Tukey (5%) para determinar quais amostras são estatisticamente diferentes entre si.

Na tabela 13 estão apresentados os resultados obtidos com o Teste de Tukey. Uma vez que a análise foi feita para cada composto aromático individualmente, a comparação dos resultados deve ser feita horizontalmente, entre as amostras, para cada metilpirazina, ou seja, a avaliação deve ser feita entre as amostras e não entre os compostos aromáticos.

Com relação a 2-metilpirazina (Tabela 13), pode-se verificar que para o maior tempo de torração convencional já ocorrem perdas significativas em sua concentração, apresentando concentração semelhante à observada para as duas menores potências de microondas utilizadas. Para as amostras torradas convencionalmente, 150°C/42 minutos foi a condição que apresentou maior concentração da 2-metilpirazina e para a torração com aplicação de microondas, o maior teor desenvolvido foi observado a 3.000 Watts de potência (AM 3.000). Comparando-se estes dois maiores teores detectados, tem-se que o processo por microondas desenvolveu maior concentração de 2-metilpirazina (aproximadamente 33% mais), sendo os dois valores máximos obtidos considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância.

Tabela 13. Comparação da concentração das metilpirazinas estudadas ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de liquor), entre as amêndoas torradas convencionalmente e por microondas, para os diferentes tempos e potências estudados

TORRAÇÃO DE AMÊNDOAS								
PIRAZINAS	CONVENCIONAL				MICROONDAS			
	AM 36	AM 40	AM 42	AM 44	AM 2.600	AM 2.800	AM 3.000	AM3.200
2-metil	ND ^e	241,50 ^d	283,00 ^b	150,00 ^a	175,00 ^a	179,50 ^a	378,00 ^c	338,50 ^c
2,5-dimetil	313,00 ^a	696,00 ^{cd}	780,25 ^d	537,5 ^{bd}	528,25 ^b	633,00 ^{bcd}	1.056,00 ^e	984,00 ^e
2,6-dimetil	ND ^a	189,00 ^b	349,75 ^d	310,00 ^c	305,00 ^c	333,50 ^d	378,00 ^e	411,00 ^f
Etil	ND ^a	177,50 ^c	177,50 ^c	110,25 ^b	125,00 ^b	137,00 ^{bc}	278,00 ^d	245,00 ^d
2,3-dimetil	167,00 ^{bc}	177,50 ^c	177,50 ^c	110,25 ^a	125,00 ^a	136,25 ^{bc}	278,00 ^f	123,00 ^a
Trimetil	533,00 ^a	1.195,25 ^c	1.526,75 ^d	856,00 ^b	825,00 ^b	983,00 ^{bc}	1.038,50 ^{bc}	1.569,5 ^d
Tetrametil	820,00 ^a	2.167,00 ^a	1.517,25 ^d	947,0 ^{ab}	1.225,00 ^c	1.513,00 ^d	1.089,00 ^{bc}	794,50 ^a

ND=não detectado

Obs: Todos os valores, de uma mesma linha, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância)

As amêndoas torradas convencionalmente apresentaram máxima concentração da 2,5-dimetilpirazina para a amostra AM 42, estatisticamente semelhante à amostra AM 40. Para as amostras torradas por microondas, este pico máximo foi observado para a amostra AM 3.000, o que corresponde a aproximadamente 35% mais do que o observado na concentração máxima obtida convencionalmente. Estas duas amostras são estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância (Tabela 13).

A máxima concentração da 2,6-dimetilpirazina obtida na torração convencional, foi detectada para a amostra AM 42. No caso das microondas, a máxima concentração foi observada na amostra AM 3.200, com um teor cerca de 17% maior e estatisticamente diferente daquele observado no processo convencional.

O desenvolvimento máximo da etilpirazina nas amêndoas torradas convencionalmente foi observado nas amostras AM 40 e AM 42, sendo que para as amêndoas torradas por microondas os teores máximos foram detectados nas amostras AM 3.000 e AM 3.200, onde a concentração praticamente se estabilizou (teores estatisticamente semelhantes entre si), com cerca de 56% mais etilpirazina e estatisticamente diferente do maior teor observado na torração convencional.

A maior concentração da 2,3-dimetilpirazina é observada nas amostras AM 40 e AM 42 e na amostra AM 3.000, torrada por microondas. Mais uma vez os resultados obtidos mostram que as amêndoas torradas por microondas desenvolveram maior concentração de composto aromático, a qual neste caso foi cerca de 56% maior e também considerado estatisticamente diferente do maior teor obtido convencionalmente.

Para a 2,3,5-trimetilpirazina, as maiores concentrações obtidas, tanto no processo convencional (AM 42) como naquele por microondas (AM 3.200), foram consideradas estatisticamente iguais entre si a 5% de significância.

A maior concentração de 2,3,5,6-tetrametilpirazina observada para o processo de torração convencional está na amostra AM 40 e, para o processo por microondas, na amostra AM 2.800. Desta vez foi o processo convencional quem apresentou maior concentração, com um teor de 2,3,5,6-tetrametilpirazina cerca de 43% maior.

De forma geral, o processo de torração de amêndoas inteiras por microondas se destacou, uma vez que se mostrou mais eficiente, permitindo o

desenvolvimento de um maior potencial aromático no cacau. Como pode ser observado na Tabela 13, para determinados compostos aromáticos tem-se que, para o processo convencional, suas concentrações aumentaram até um certo ponto e depois começaram a reduzir sua concentração. Quando avaliamos o comportamento destes mesmos compostos no processo de torração por microondas, observa-se que foram obtidas concentrações maiores que o pico máximo obtido convencionalmente, destacando-se o fato de que muitas vezes o processo por microondas apresentava concentrações menores, mas rapidamente invertia significativamente esta situação. Cabe destacar que somente para a 2,3,5-trimetilpirazina o processo utilizado não resultou em diferenças significativas em sua concentração. Para a 2,3,5,6-tetrametilpirazina foi o processo convencional quem desenvolveu maior concentração.

5.4.6 - Composição aromática das amostras de "nibs" torradas convencionalmente

Tabela 14. Concentração de metilpirazinas em amostras de "nibs" torradas em forno convencional, a 150 °C, em µg/kg de liquor

	N 30	N 34	N 36	N 38
2-metilpirazina	167,75	350,00	354,00	359,00
2,5-dimetilpirazina	590,50	854,50	852,00	941,50
2,6-dimetilpirazina	349,50	379,00	349,00	330,50
Etilpirazina	123,00	261,25	256,50	227,00
2,3-dimetilpirazina	123,00	266,50	261,50	173,00
2,3,5-trimetilpirazina	918,00	1.564,50	1.514,00	1.218,00
2,3,5,6-tetrametilpirazina	1.085,00	1.557,00	1.262,50	1.123,75

Na torração convencional de "nibs" pode-se observar (Tabela 14) que entre 34 e 36 minutos (N 34 e N 36) a maioria dos compostos aromáticos praticamente estabilizou sua concentração. A 2,3,5,6-tetrametilpirazina teve seu pico máximo na amostra N 34, começando a apresentar redução em sua concentração na amostra N 36. Alguns compostos aromáticos continuaram apresentando concentração estável mesmo aos 38 minutos de torração (N 38) (2-metilpirazina e 2,6-dimetilpirazina), sendo que a 2,5-dimetilpirazina ainda continuou aumentando seu teor e, os demais compostos apresentaram reduções significativas em suas concentrações. O perfil da evolução da concentração das metilpirazinas para os "nibs" torrados em forno convencional pode ser melhor avaliado na Figura 25.

Para o processo convencional de torração de "nibs" a análise cromatográfica mostra que um período intermediário entre 34 e 36 minutos (N 34 e N 36), a 150°C poderia levar à obtenção de bons resultados, pois a concentração da maioria dos compostos estudados encontra-se estável, além do que entre 34 e 36 minutos a 2,3,5,6-tetrametilpirazina começa a reduzir seu teor. Considerando-se o resultado da análise sensorial feita pelos "experts", tem-se que 150°C/38 minutos (N 38) foi considerada a melhor condição. Segundo a equipe sensorial treinada na UNICAMP a amostra N 38 realmente se destacou, sendo esta, dentre as demais amostras avaliadas sensorialmente, aquela com maior sabor e aroma de chocolate e menor aroma ácido. Considerando-se os resultados cromatográficos e os sensoriais, poderia ser sugerido que para os "nibs" torrados convencionalmente uma condição intermediária entre 36 e 38 minutos a 150°C fosse utilizada, para que desta forma pudesse haver um equilíbrio entre os resultados obtidos em ambas as análises.

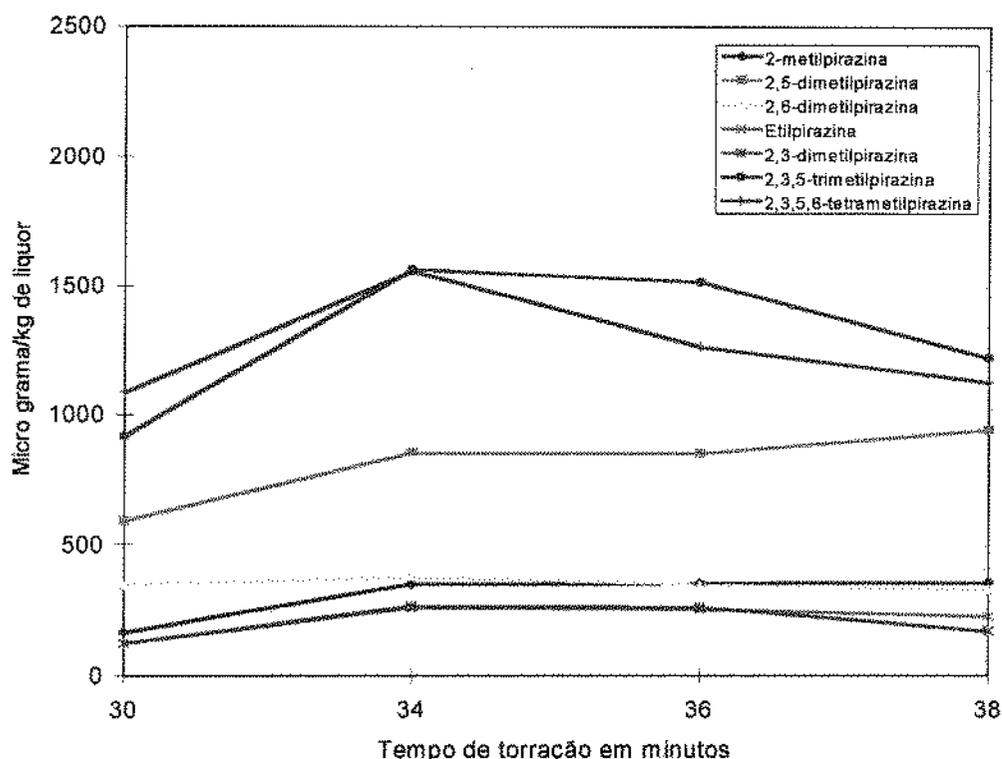


Figura 25. Perfil da evolução da concentração dos compostos aromáticos estudados, para os “nibs” torrados em forno convencional

5.4.7 - Composição aromática das amostras de “nibs” torradas por microondas

A evolução do teor das pirazinas para os “nibs” torrados por microondas, apresentada na Tabela 15, mostra que os compostos aromáticos 2,5-dimetilpirazina e 2,3,5-trimetilpirazina, tiveram um aumento constante de concentração, para todas as potências estudadas. A 2-metilpirazina e a etilpirazina não foram detectadas nas amostras N 2.500 e N 2.600, sendo que apresentaram concentração estável quando comparou-se as amostras N 2.800 e N 3.000. A 2,6-dimetilpirazina apresentou concentração semelhante para as

amostras N 2.600 e N 2.800, chegando a apresentar incremento em sua concentração na amostra N 3.000. Já a 2,3-dimetilpirazina apresentou seu pico máximo na amostra N 2.500, com redução de concentração para as demais amostras, quando então seu teor permaneceu praticamente estável. A 2,3,5,6-tetrametilpirazina começou a diminuir sua concentração a partir do teste feito a 2.600 Watts (N 2.600). Neste caso, se considerarmos a diminuição do teor da tetrametilpirazina como um indicador do final da etapa de torração, talvez uma potência intermediária entre 2.600 e 2.800 Watts fosse mais adequada.

Tabela 15. Concentração de metilpirazinas em amostras de "nibs" torradas por processo contínuo de aplicação de microondas, em $\mu\text{g}/\text{kg}$ de líquido

	N 2.500	N 2.600	N 2.800	N 3.000
2-metilpirazina	ND	ND	163,00	162,00
2,5-dimetilpirazina	261,25	296,00	467,00	564,00
2,6-dimetilpirazina	ND	139,50	155,00	243,00
Etilpirazina	ND	ND	99,00	119,00
2,3-dimetilpirazina	135,75	102,50	109,00	96,50
2,3,5-trimetilpirazina	145,00	307,25	627,00	702,50
2,3,5,6-tetrametilpirazina	958,00	1.081,50	801,00	582,00

ND=não detectado

Segundo os "experts" a torração dos "nibs" a 2.800 Watts de potência de microondas (N 2.800) foi considerada, dentre todas as amostras testadas, a melhor delas. No entanto, segundo a equipe sensorial treinada na UNICAMP, foi justamente esta a amostra que menos aroma e sabor de chocolate apresentou,

possuindo ainda os maiores sabor e aroma ácidos detectados. Neste caso, seria interessante se testar uma torração intermediária entre 2.800 e 3.000 Watts de potência, a fim de se avaliar se os atributos sensoriais realmente poderiam ser incrementados em uma torração com aplicação de uma potência um pouco maior.

É importante destacar aqui que os resultados sugerem que não necessariamente o começo da queda na concentração da 2,3,5,6-tetrametilpirazina indicaria o final da torração, pois como aconteceu para os "nibs" torrados por microondas, as melhores condições parecem ser durante o período de declínio da 2,3,5,6-tetrametilpirazina, enquanto que as demais metilpirazinas continuavam aumentando suas concentrações. Situação semelhante também ocorreu para os "nibs" torrados em forno convencional.

O perfil da evolução da concentração das metilpirazinas para os "nibs" torrados por microondas pode ser melhor avaliado na Figura 26, onde cada composto aromático está apresentado separadamente.

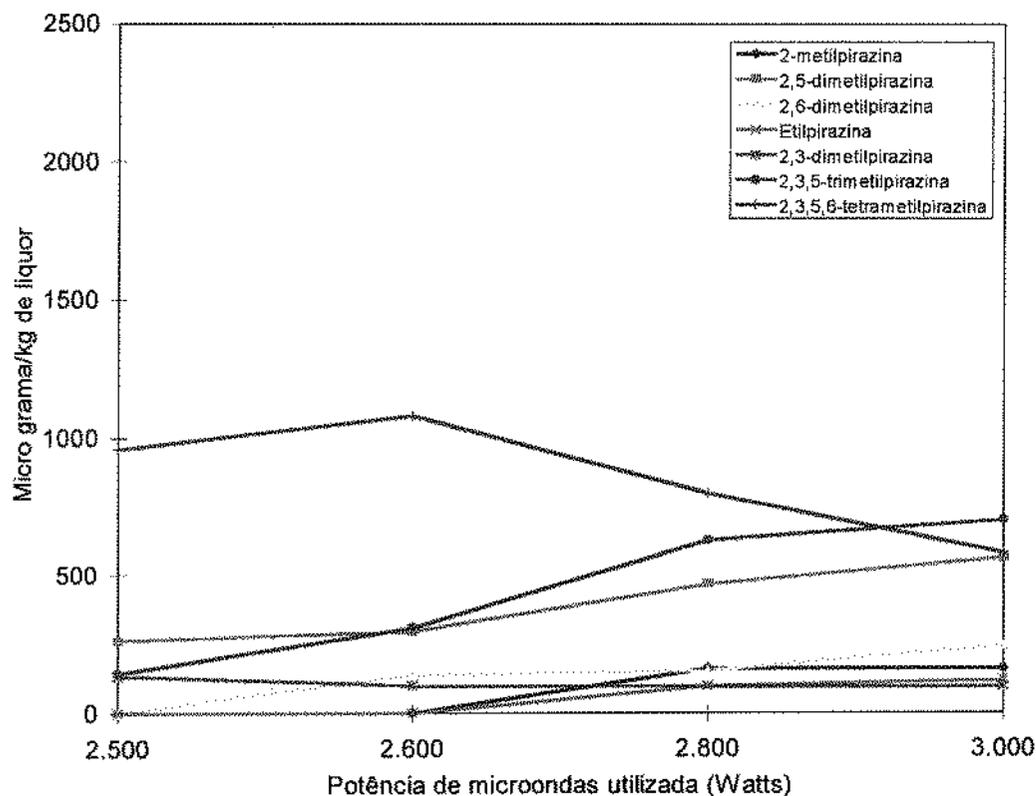


Figura 26. Perfil da evolução da concentração dos compostos aromáticos estudados, para os "nibs" torrados por microondas

5.4.8 - Comparação da composição aromática entre as amostras de "nibs" torradas convencionalmente e por microondas

Comparando-se os "nibs" torrados pelo processo convencional com aqueles torrados por microondas tem-se que, para todas as metilpirazinas estudadas, suas concentrações foram quantitativamente maior no processo feito convencionalmente. Para avaliar se esta diferença é estatisticamente significativa, aplicou-se o teste de análise de variância (ANOVA) e ainda o Teste de Tukey (5%) para determinar quais amostras são estatisticamente diferentes entre si. Esta ocorrência é exatamente o inverso do que foi observado entre as amêndoas

inteiras torradas convencionalmente e por microondas, onde foi o processo por microondas quem se destacou.

Tabela 16. Comparação da concentração das metilpirazinas estudadas ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de liquor) entre os "nibs" torrados convencionalmente e por microondas, para os diferentes tempos e potências estudados

PIRAZINAS	TORRAÇÃO DE "NIBS"							
	CONVENCIONAL				MICROONDAS			
	N 30	N 34	N 36	N 38	N 2.500	N 2.600	N 2.800	N 3.000
2-metil	167,75 ^c	350,00 ^c	354,00 ^c	359,00 ^c	ND ^a	ND ^a	163,00 ^b	162,00 ^b
2,5-dimetil	590,50 ^c	854,50 ^d	852,00 ^d	941,50 ^e	261,2 ^a	296,00 ^a	467,00 ^b	564,00 ^c
2,6-dimetil	349,50 ^d	379,00 ^d	349,00 ^d	330,50 ^d	ND ^a	139,50 ^b	155,00 ^b	243,00 ^c
Etil	123,00 ^d	261,25 ^c	256,50 ^c	227,00 ^c	ND ^a	ND ^a	99,00 ^b	119,00 ^b
2,3-dimetil	123,00 ^a	266,50 ^c	261,50 ^c	173,00 ^b	135,7 ^{ab}	102,50 ^a	109,00 ^a	96,50 ^a
Trimetil	918,00 ^e	1.564,50 ^d	1.514,00 ^d	1.218,00 ^f	145,0 ^a	307,25 ^b	627,00 ^c	702,50 ^d
Tetrametil	1.085,00 ^{cd}	1.557,00 ^f	1.262,50 ^e	1.123,75 ^d	958,0 ^c	1.081,5 ^{cd}	801,00 ^b	582,00 ^a

ND=não detectado

Obs: Todos os valores, de uma mesma linha, com a mesma letra não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5%)

Com relação à concentração da 2-metilpirazina, pode-se verificar que para a torração convencional as amostras N 34, N 36 e N 38 não são consideradas estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância, sendo que para o processo por microondas o mesmo ocorre para as amostras N 2.800 e N 3.000. Neste caso, considerando-se as maiores concentrações encontradas para os dois processos testados, verifica-se que os resultados obtidos são estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância, sendo que o processo convencional desenvolveu maior concentração deste composto aromático (aproximadamente 120% mais).

Os “nibs” torrados convencionalmente apresentaram máxima concentração da 2,5-dimetilpirazina na amostra N 38. Para aqueles torrados por microondas, a maior concentração foi obtida para a amostra N 3.000. O processo convencional desenvolveu, portanto, cerca de 67% mais 2,5-dimetilpirazina, sendo estes resultados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância.

Para a 2,6-dimetilpirazina observa-se que todos os tempos de torração convencional testados apresentaram concentrações estatisticamente semelhantes entre si, apesar da amostra N 34 possuir o maior teor deste composto. Com relação aos “nibs” torrados por microondas, a amostra N 3.000 foi a que apresentou maior concentração da 2,6-dimetilpirazina, no entanto este teor é considerado estatisticamente diferente (a 5% de significância) da concentração máxima obtida no processo convencional. Mais uma vez quando se compara os teores máximos obtidos para os dois processos, verifica-se que o convencional se destaca, com um desenvolvimento da 2,6-dimetilpirazina cerca de 56% maior.

O desenvolvimento da etilpirazina nas amostras de “nibs” torradas convencionalmente foi estatisticamente semelhante entre si (a 5% de significância) para as amostras N 34, N 36 e N 38. Para os testes feitos por microondas, o mesmo acontece para as amostras N 2.800 e N 3.000. Os maiores teores obtidos para os dois processos foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância. Novamente o teste convencional de torração de “nibs” se destaca com relação ao processo por microondas, sendo que o desenvolvimento da etilpirazina foi cerca de 119% maior no processo convencional.

A maior concentração da 2,3-dimetilpirazina observada nas amostras de “nibs” torradas convencionalmente foi detectada na amostra N 34, apesar desta não diferir estatisticamente da amostra N 36. Para os “nibs” torrados por microondas não

houve diferença significativa (a 5%) entre nenhum dos tratamentos utilizados. Os maiores teores obtidos para os dois processos foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância, sendo que o processo convencional desenvolveu cerca de 96% mais 2,3-dimetilpirazina.

Para a 2,3,5-trimetilpirazina, as amostras torradas convencionalmente que apresentaram maior teor deste composto aromático foram N 34 e N 36, onde as concentrações obtidas não são estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância. No caso das amostras torradas por microondas, a amostra N 3.000 foi aquela que maior concentração apresentou. Os maiores teores obtidos para os dois processos foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância, e a concentração obtida no processo convencional foi 123% maior.

A maior concentração da 2,3,5,6-tetrametilpirazina observada para o processo de torração convencional de "nibs" foi obtida na amostra N 34 e, para o processo por microondas, as maiores concentrações foram obtidas nas amostras N 2.500 e N 2.600, as quais não são consideradas estatisticamente diferentes entre si. Os maiores teores obtidos para os dois processos foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância. Novamente o processo convencional se destacou, apresentando concentração da 2,3,5,6-tetrametilpirazina 44% maior do que o máximo obtido no processo por microondas.

De forma geral, a torração de "nibs" apresentou maior desenvolvimento de compostos aromáticos quando foi feita convencionalmente uma vez que, para todos os compostos aromáticos estudados, o processo convencional apresentou concentrações significativamente maiores.

5.4.9 - Comparação entre as amostras de amêndoas inteiras e de "nibs", ambas torradas por microondas

Tabela 17. Comparação da concentração das metilpirazinas estudadas ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de liquor), entre as amêndoas inteiras e os "nibs" torrados por microondas, para as diferentes potências estudadas

TORRAÇÃO POR MICROONDAS								
PIRAZINAS	AMÊNDOAS INTEIRAS				"NIBS"			
	AM 2.600	AM 2.800	AM 3.000	AM 3.200	N 2.500	N 2.600	N 2.800	N 3.000
2-metil	175,00 ^b	179,50 ^b	378,00 ^c	338,50 ^c	ND ^a	ND ^a	163,00 ^b	162,00 ^b
2,5-dimetil	528,25 ^{bc}	633,00 ^d	1.056,00 ^f	984,00 ^e	261,25 ^a	296,00 ^a	467,00 ^d	564,00 ^{cd}
2,6-dimetil	305,00 ^d	333,50 ^{ab}	378,00 ^{ab}	411,00 ^b	ND ^a	139,50 ^b	155,00 ^b	243,00 ^c
Etil	125,00 ^b	137,00 ^b	278,00 ^d	245,00 ^c	ND ^a	ND ^a	99,00 ^b	119,00 ^b
2,3-dimetil	125,00 ^a	136,25 ^a	278,00 ^b	123,00 ^a	135,75 ^a	102,50 ^a	109,00 ^a	96,50 ^a
Trimetil	825,00 ^e	983,00 ^f	1.038,50 ^g	1.569,50 ^h	145,00 ^a	307,25 ^b	627,00 ^c	702,50 ^d
Tetrametil	1.225,00 ^d	1.513,00 ^e	1.089,00 ^c	794,50 ^b	958,00 ^c	1.081,50 ^c	801,00 ^b	582,00 ^a

ND=não detectado

Obs: Todos os valores, de uma mesma linha, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5%)

Com relação a 2-metilpirazina, pode-se verificar que as duas potências máximas utilizadas para torrar as amêndoas resultaram em concentrações estatisticamente semelhantes entre si, assim como as duas potências máximas utilizadas para torrar os "nibs" também são estatisticamente semelhantes entre si. Os maiores teores obtidos para as amêndoas inteiras e para os "nibs", ambos torrados por microondas, foram

considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância. Considerando a 2-metilpirazina, o uso de microondas para torrar amêndoas inteiras resultou em uma concentração 132% maior que a obtida quando torrou-se os "nibs".

As amostra AM 3.000 apresentou máxima concentração da 2,5-dimetilpirazina, com um teor cerca de 87% maior do que o obtido na maior concentração observada para os "nibs" torrados por microondas (N 3.000). Os maiores teores obtidos para as amêndoas inteiras e para os "nibs", ambos torrados por microondas, foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância.

A máxima concentração da 2,6-dimetilpirazina obtida para as amêndoas torradas por microondas foi observada na amostra AM 3.200 e para os "nibs" na amostra N 3.000. Os maiores teores obtidos para as amêndoas inteiras e para os "nibs", ambos torrados por microondas, foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância, sendo que a concentração detectada na amostra AM 3.200 foi cerca de 69% maior.

O desenvolvimento da máxima concentração da etilpirazina nas amêndoas torradas por microondas foi estatisticamente semelhante entre si (a 5% de significância) para as amostras AM 3.000 e AM 3.200, sendo que para os "nibs", as maiores concentrações foram identificadas nas amostras N 2.800 e N 3.000 (estatisticamente semelhantes entre si). Os maiores teores obtidos para as amêndoas inteiras e para os "nibs", ambos torrados por microondas, foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância, sendo que as amêndoas apresentaram um teor de etilpirazina cerca de 133% maior.

A maior concentração da 2,3-dimetilpirazina nas amostras de amêndoas torradas por microondas foi detectada na amostra AM 3.000. No caso dos "nibs", todas as potências utilizadas apresentaram concentrações de 2,3-dimetilpirazina estatisticamente semelhantes entre si a 5% de significância. Os maiores teores obtidos para as amêndoas inteiras e para os "nibs", ambos torrados por microondas, foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância. Considerando os maiores teores obtidos para as amêndoas e para os "nibs", verifica-se que novamente as amêndoas se destacam, com uma concentração cerca de 105% maior.

Para a 2,3,5-trimetilpirazina, a maior concentração obtida para as amêndoas inteiras foi na amostra AM 3.200 e para os "nibs" na amostra N 3.000. Os maiores teores obtidos para as amêndoas inteiras e para os "nibs", ambos torrados por microondas, foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância. O teor da 2,3,5-trimetilpirazina foi cerca de 123% maior para a amostra de amêndoas inteiras (AM 3.200).

A maior concentração da 2,3,5,6-tetrametilpirazina foi observada para a amostra de amêndoas AM 2.800 e, no caso dos "nibs", para as amostras N 2.500 e N 2.600, onde as concentrações obtidas não são estatisticamente diferentes entre si. Os maiores teores obtidos para as amêndoas inteiras e para os "nibs", ambos torrados por microondas, foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância. Novamente a torração de amêndoas inteiras apresentou maior concentração de composto aromático, com um teor da 2,3,5,6-tetrametilpirazina cerca de 40% maior.

De forma geral, o uso de microondas resultou em um maior desenvolvimento de teor aromático quando se torrou as amêndoas inteiras, sendo

que para todos os compostos aromáticos estudados as concentrações detectadas foram significativamente maiores para as amostras de amêndoas. Tal ocorrência pode ser atribuída ao fato dos “nibs” apresentarem uma maior exposição de superfície, sendo que, tratando-se de um processo onde a penetração de calor é muito mais ágil e eficiente, as perdas de compostos voláteis já desenvolvidos poderiam ter ocorrido com maior facilidade, quando comparado a um processo convencional.

5.4.10 - Comparação entre as amostras de amêndoas inteiras e de “nibs”, ambas torradas convencionalmente

Tabela 18. Comparação da concentração das metilpirazinas estudadas ($\mu\text{g}/\text{kg}$ de liquor), entre as amêndoas inteiras e os “nibs” torrados convencionalmente, a 150°C em diferentes tempos

PIRAZINAS	TORRAÇÃO CONVENCIONAL							
	AMÊNDOAS INTEIRAS				“NIBS”			
	AM 36	AM 40	AM 42	AM 44	N 30	N 34	N 36	N 38
2-metil	ND ^a	241,50 ^c	283,00 ^b	150,00 ^b	167,75 ^b	350,00 ^e	354,00 ^e	359,00 ^e
2,5-dimetil	313,00 ^a	696,00 ^{bc}	780,25 ^{cd}	537,50 ^b	590,50 ^b	854,50 ^{cd}	852,00 ^{cd}	941,50 ^d
2,6-dimetil	ND ^a	189,00 ^b	349,75 ^{cd}	310,00 ^c	349,50 ^{cd}	379,00 ^d	349,00 ^{cd}	330,50 ^{cd}
Etil	ND ^a	177,50 ^c	177,50 ^c	110,25 ^d	123,00 ^b	261,25 ^d	256,50 ^d	227,00 ^d
2,3-dimetil	167,00 ^b	177,50 ^b	177,50 ^b	110,25 ^a	123,00 ^a	266,50 ^c	261,50 ^c	173,00 ^b
Trimetil	533,00 ^a	1.195,25 ^d	1.526,75 ^e	856,00 ^b	918,00 ^c	1.564,50 ^e	1.514,00 ^e	1.218,00 ^d
Tetrametil	820,00 ^a	2.167,00 ^e	1.517,25 ^d	947,00 ^{ab}	1.085,00 ^{bc}	1.557,00 ^d	1.262,50 ^c	1.123,75 ^{bc}

ND=não detectado

Obs: Todos os valores, de uma mesma linha, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si. (Teste de Tukey a 5% de significância)

Com relação a 2-metilpirazina, pode-se verificar que dentre as amêndoas inteiras, a amostra AM 42 se destaca, sendo que para os “nibs”, não existe diferença significativa (5% de significância) entre as amostras N 34, N 36 e N 38. Os maiores teores obtidos para as amêndoas inteiras e para os “nibs”, ambos torrados convencionalmente,

foram considerados estatisticamente diferentes entre si a 5% de significância. Neste caso, foram os "nibs" que apresentaram maior teor de 2-metilpirazina (cerca de 27% maior).

A amostra de amêndoas inteiras torradas convencionalmente AM 42 foi quem apresentou máxima concentração da 2,5-dimetilpirazina, valor este considerado estatisticamente semelhante ao da amostra AM 40. Para os "nibs" o máximo teor deste composto aromático foi obtido na amostra N 38, apesar deste valor não diferir significativamente dos obtidos nas amostras N 34 e N 36. Estatisticamente os maiores valores obtidos tanto para as amêndoas como para os "nibs", não são diferentes entre si a 5% de significância.

A máxima concentração da 2,6-dimetilpirazina obtida para as amêndoas torradas convencionalmente foi observada na amostra AM 42, apesar desta não ser estatisticamente diferente daquela obtida na amostra AM 44. Para os "nibs" torrados convencionalmente, todos os tempos testados resultaram em valores considerados estatisticamente semelhantes entre si (a 5% de significância). Os teores da 2,6-dimetilpirazina foram considerados estatisticamente semelhantes entre si quando comparou-se o maior teor obtido para as amêndoas com o maior obtido para os "nibs".

O desenvolvimento da etilpirazina para as amêndoas torradas convencionalmente foi considerado estatisticamente semelhante entre si para as amostras AM 40 e AM 42, sendo que para os "nibs" as três últimas amostras testadas também foram consideradas estatisticamente semelhantes entre si. Quando comparamos o maior teor obtido para as amêndoas com o maior obtido para os "nibs" verifica-se que os "nibs" torrados convencionalmente apresentaram um teor de etilpirazina cerca de 47% maior.

A maior concentração da 2,3-dimetilpirazina detectada entre as amostras de amêndoas inteiras torradas convencionalmente está presente nas amostras AM 40 e AM 42 (estatisticamente semelhantes entre si a 5% de significância). Para os "nibs" as amostras N 34 e N 36 apresentaram resultados estatisticamente semelhantes, com um teor cerca de 50% maior do que a concentração máxima detectada para as amêndoas inteiras.

Para a 2,3,5-trimetilpirazina observa-se que não existe diferença significativa entre os maiores teores obtidos para as amêndoas inteiras e para os "nibs", ambos torrados convencionalmente.

A maior concentração da 2,3,5,6-tetrametilpirazina foi detectada para a amostra de amêndoas inteiras AM 40, com um teor cerca de 39% maior do que aquele obtido para a amostra de "nibs" torrada convencionalmente (N 34).

É importante ressaltar que, de forma geral, o processo de torração convencional para os "nibs" e para as amêndoas inteiras apresentou comportamento relativamente semelhante, uma vez que para alguns dos compostos aromáticos que mais se destacaram no decorrer deste estudo (2,5-dimetilpirazina e 2,3,5-trimetilpirazina), as concentrações detectadas foram estatisticamente semelhantes entre si, para as maiores concentrações observadas nas amêndoas inteiras e nos "nibs". Quanto aos demais compostos aromáticos estudados, algumas vezes foi a torração em amêndoas inteiras quem propiciou maior desenvolvimento destes (2,3,5,6-tetrametilpirazina), assim como algumas vezes foi a torração feita nos "nibs" (2-metilpirazina, etilpirazina e a 2,3-dimetilpirazina).

5.5 Aspectos econômicos

A comparação entre o processo testado neste estudo e um processo convencional é apenas ilustrativo, uma vez que estaremos avaliando a eficiência de um protótipo por microondas, o qual não foi desenvolvido especificamente para se torrar amêndoas de cacau, contra a de um equipamento industrial próprio para a torração convencional de cacau, já totalmente otimizado.

No sentido de se avaliar o custo máximo que teríamos para torrar o cacau por microondas, considerou-se, para fins de cálculos, a maior potência de microondas que foi utilizada neste estudo, ou seja, 3.200 Watts, os quais foram empregados para se torrar amêndoas inteiras.

Assumindo-se que o protótipo de forno cilíndrico rotativo com aplicação de microondas, onde os testes foram realizados, apresentou uma eficiência média de dissipação energética da ordem de 90%, e que a razão de transformação da potência elétrica para potência de microondas é de 55%, temos:

- Eficiência do gerador: $55 \times 0,9 = 49,5\%$
- Potência real consumida: $(3.200 \text{ W} / 49,5\%) \times 100 \cong 6.464 \text{ Watts}$

Portanto, a potência real consumida quando utilizou-se 3.200 W foi de aproximadamente 6.465 W. Para a torração feita nas amêndoas inteiras a vazão mássica foi de 11,01 kg/h. A eficiência do processo é então a razão da vazão mássica pela potência real consumida, ou seja, neste caso a eficiência do processo foi de aproximadamente 1,7 kg/kWh.

Para facilitar a comparação do processo por microondas com o convencional será considerado um lote com uma tonelada de amêndoas de cacau.

Considerando-se uma eficiência do processo por microondas de 1,7 kg/kWh, observa-se que serão necessários aproximadamente 588 kW para se torrar uma tonelada de amêndoas de cacau:

- 1 tonelada de amêndoas / 1,7 kg/kWh (eficiência do processo) \cong 588 kW

Dados de agosto de 1997 indicavam que o custo médio da energia elétrica para consumo industrial era de R\$ 0,09 / kWh, portanto, o custo energético para torrar-se uma tonelada de amêndoas de cacau no protótipo utilizado neste estudo seria de R\$ 52,92.

Segundo dados práticos (Cargill), o processo convencional de torração de cacau consome cerca de 0,056 kWh/kg de cacau, o que implica em um custo de aproximadamente R\$ 5,00 para se torrar uma tonelada de grãos.

O processo de torração com aplicação de microondas, como discutido anteriormente, foi realizado em um equipamento protótipo, sendo importante ressaltar que a cavidade do equipamento foi subutilizada, uma vez que havia limitação quanto a quantidade de matéria-prima disponível. Tal fato implica em perdas de energia para as paredes do equipamento, ou seja, o próprio produto acabava aquecendo as paredes do equipamento, uma vez que a ocupação da cavidade foi baixa. Portanto, mesmo no equipamento protótipo utilizado poderia se ter obtido melhores resultados no que se refere ao aspecto econômico.

6. CONCLUSÕES

É possível se torrar o cacau mediante a utilização da energia de microondas, a qual permite o desenvolvimento normal do sabor, principalmente a partir da Reação de Maillard, levando à formação das metilpirazinas, importantes componentes voláteis presentes na fração aromática do cacau. A aplicação da energia de microondas permite o uso de temperaturas menores de processamento, graças a maior uniformidade da sua distribuição no produto, permitindo ainda a redução do tempo de operação.

- a combinação da análise cromatográfica com a análise sensorial permitiu uma melhor compreensão dos resultados obtidos, apesar da dificuldade enfrentada pela equipe treinada na UNICAMP.
- a análise sensorial mostrou que as melhores amostras obtidas não são aquelas que contém o pico máximo obtido para a 2,3,5,6-tetrametilpirazina, mas sim aquelas onde a concentração deste composto aromático já está em declínio.
- as características de sabor obtidas durante a torração das amêndoas de cacau inteiras, em forno elétrico convencional, indicaram que seria mais adequado o uso de 150°C na camisa do forno, por um período de 42 a 44 minutos.
- as características de sabor obtidas durante a torração das amêndoas de cacau inteiras, através da aplicação da energia de microondas, indicaram que seria mais adequado o uso de uma densidade de potência intermediária entre 272,48 e 290,64 Wh/kg.

- quando as amêndoas de cacau foram torradas inteiras, o processo com aplicação de microondas, apresentou melhores resultados, permitindo um maior desenvolvimento do potencial aromático do cacau.
- as características de sabor obtidas durante a torração de "nibs", em forno elétrico convencional, indicaram que seria mais adequado o uso de 150°C na camisa do forno, por um período de 36 a 38 minutos.
- as características de sabor obtidas durante a torração de "nibs", com a aplicação da energia de microondas, indicaram que seria mais adequado o uso de uma densidade de potência intermediária entre 244,75 e 262,24 Wh/kg.
- quando os "nibs" foram torrados, o processo feito convencionalmente apresentou melhores resultados, permitindo um maior desenvolvimento do potencial aromático do cacau.
- de forma geral o uso da energia de microondas resultou em maior desenvolvimento do teor aromático na torração de amêndoas inteiras.
- de forma geral o processo convencional apresentou comportamento relativamente semelhante tanto para a torração feita nos "nibs" como para aquela feita nas amêndoas inteiras.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Seria interessante que fosse estudado o próprio chocolate feito a partir das amêndoas torradas por microondas, para que desta forma se pudesse avaliar efetivamente o efeito deste novo processo no produto final.

Para o melhor desempenho do estudo é recomendável que a análise sensorial do liquor de cacau seja feita por “experts”, por se tratar de um produto com características muito particulares e de difícil avaliação, sendo que a análise sensorial do produto final poderia ser feita por uma equipe treinada na própria UNICAMP, pois o chocolate pode ser considerado muito mais fácil de ser avaliado.

Uma avaliação mais precisa sobre os aspectos econômicos do novo processo poderia se feita em um futuro estudo, através da realização de um planejamento experimental que leve em conta parâmetros operacionais que possam afetar a eficiência do processo, assim como seria válido se fazer um acompanhamento junto a uma empresa torradora de grãos de cacau, para desta forma verificar quais são as perdas de energia que um processo convencional apresenta, como por exemplo as grandes perdas para o ambiente, provocando um acentuado aquecimento da planta de torração.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERINE, M.A.; PANGBON, R.M.; ROESSLER, E.B. **Principles of Sensory Evaluation of Food**. New York, Academic Press, 1965 pp. 1-22.
- ARNOLDI, A.; ARNOLDI, C.; BALDI, O. & GRIFINI, A. Flavor components in the Maillard reaction of different amino acids with fructose in cocoa butter-water. Qualitative and quantitative analysis of pirazines. **J. Agric. Food Chem.** 36: 988-992, 1988.
- AU YEUNG, C.Y. & MACLEOD, A. J. A comparasion of the efficiency of the Likens and Nickerson extractor for aqueous, lipid/aqueous, and lipid samples. **J. Agric. Food Chem.** 29(4):502-505, 1981.
- BAREL, M.; GUYOT, B. & VICENT, J. C. Les fractions proteiques du cacao avant et apres torrefaction. Influence de la fermentation. **Café, Cacao, Thé.** 27(2): 127-144, 1983.
- BAREL, M.; LEON, & D.; VICENT, J.C. Influence du temps de fermentation du cacao sur la production des pyrazines du chocolat. **Café, Cacao, Thé.** (29): 277-286, 1985.
- BAUERMEISTER, P. Cocoa liquor roasting. **The Manufac. Confect.** 10:43-45, 1981.

CAMPOS, M.S. **Influência da energia de microondas na qualidade tecnológica do trigo**. Campinas, 1986. 120p. Tese (Mestr.) Fac. Eng. Alim. e Agríc. UNICAMP.

CARGILL - Dados verbais sobre consumo energético de um torrador de cacau.

CARLIM, J. T.; HSIEH, O.A.L.; SUNH WANG. L.; HOC, T. & CHANG, S.S. Comparison of acid and basic volatile compounds of cocoa butter from roasted and unroasted cocoa beans. **J. Am. Oil Chem. Soc.** 3: 1031-1035, 1986.

CHAIRMAN, D.P.; VADETZSKY, E.; LANGWILL, K.E.; McCLOSKEY, K.; SCHUEMANN, H.W. **Twenty years of confectionery and chocolate progress**. The AVI Publishing Company, Inc., 1970. 775p.

COLLINS, C.H.; BRAGA, G.L.; BONATO, P.F. **Introdução a métodos cromatográficos**. 5º ed. Ed. UNICAMP, 1993, 279p.

CUNHA, M.L. **Estudo da secagem do café cereja descascado pelo processo a ar quente assistido a microondas**. Campinas, 1996. 74p. Tese (Mestr.) Fac. Eng. Alim. UNICAMP.

CROSS, G.A. & FUNG, D.Y.C. The effect of microwaves on nutrient value of foods. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition**. 16 (4): 327-422, Apr., 1982. Cleveland, Ohio.

DAMÁSIO, M.H. & COLTELL, E. Análisis sensorial descriptivo generación de descriptores y selección de catadores. **Rev. Agroquím. Technol. Alim.** 31(2): 165-178, 1991.

- DÂSCASLESCU, A. **Le séchage et ses applications industrielles**. 2. ed. Paris: Dunod, 1969. 536p.
- DECAREAU, R.V. **Microwaves in the Food Processing Industry**. 1.ed. London: Academic Press, 1985. 234p.
- DECAREAU, R.V. & PETERSON, R.A. (1986). "Microwave Processing and Engineering". VCH, W. Germany and Ellis Horwood, England.
- ENGELDER, D.S. & BUFFLER, C.R. Measuring dielectric properties of food products at microwave frequencies. **Microwave World** 12(4): 15-23, 1991.
- FAILLON, G.; COUASNARD, C.; MALONEY, E.D. New uses of microwave power. **Food Engineering International**, 3(9): 46-48, sept., 1978. Radnor, Pa. USA.
- FRANCO BUENO, M.R. **Componentes voláteis e sabor de manga (*Mangífera Indica L.*) e mamão (*Carioca papaya L.*)**. Campinas, 1992. 230p. Tese (Dout.) Fac. Eng. Alim. UNICAMP.
- GALLOIS, A. Les pirazinas presentes dan les alimente. **Sci. des Aliments**. 4: 145-166, 1984.
- GILABERT, E.M.V. **Comparação das propriedades reológicas da massa de cacau torrada convencionalmente e por microondas**. Campinas, 1997, 88p. Tese (Mestr.) Fac. Eng. Alim. UNICAMP.
- JENNINGS, W.G. & FILSOOF, M. Comparasion of sample preparation techniques for gas chromatographic analysis. **J. Agric. Food Chem.** 25: 440-445, 1977.

- JINAP, S. & DIMICK, P. Acidic characteristics of fermented and dried cocoa from different countries of origin. Pennsylvania Agricultural Experiment Station. **J. Food Sci.** 55(2): 547-550, 1990.
- KEME, T. Heat treatment of cocoa - problems and controlling. **Chocolate Manufacturing.** 101-108, jun. 1994.
- LOPEZ, A.S. & QUESNEL, V.V. Volatile fatty acid production in cacao fermentation and the effect on chocolate flavor. **J.Sci. Food Agric.** 24(3): 319-324, 1973.
- LOPEZ, A.S. & McDONAL, C.R. Preliminary test of a simple and inexpensive system for the mechanical aeration box type cacao fermentation. **Theobroma.** 12(2): 57-83, 1982.
- LORENZ, K. Microwave heating of foods - Changes in nutrients and chemical composition. **CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition.** 7(4): 339-370, Jun., 1976. Cleveland, Ohio.
- MATEOS, A. & CARBONELL, E. Analisis de la fraccion aromatica de alimentos. Tecnicas de extraccion e concentracion. **Rev. Agro Quim. Tec. Alim.** 30(4): 431-444, 1990.
- MARSAIOLI, J.A. **Desenvolvimento de tecnologia de aplicação de microondas em secador cilíndrico-rotativo combinado com ar quente para produtos granulados.** Campinas, 1991. 197p. Tese (Dout.) Fac. Eng. Alim. UNICAMP.

- MARTIN, J.R.A. **Chocolate**. Academic Press Inc., 1987. 132p.
- MERMET, G.; CROS, E.; GERGES, G. Etude preliminaire de L'optimisation des parametres de torr facion du cacao. **Café, Cacao, Thé**. 36(4): 285-290, 1992.
- MEURSING, E.H. **Cocoa powders for industrial processing**. 3^o ed. rev. Koogaam de Zaam, Cacaofabriek De Zaan B.V., 1988. 126p.
- MINIFIE, B.W. **Chocolate, cocoa and confectionery science and tecnology**. West Port, AVI, 1970. 480p.
- MINSON, E. Chocolate Manufacture - Beans through liquor production. **The Manufacturing Confectioner**. v. 72, n.11, p.61-67, Nov., 1992. Glen Rock.
- MISKELL, F.; MARSHALL Jr., W.R. A study of retention time in a rotary dryer. **Chemical Engineering Progress**, 52(1): 35-38, JAN., 1956.
- MOHR, W. In MEILI, M. **Etudes des correlations entre le comportement technologique des substances aromatiques et leurs propriétés physico- chimiques**. Compiègne 1978. Thèse de Docteur d'Universit , Universit  de Technologie de Compiègne.
- MORAES, A.S.C. **Métodos para avalia o sensorial dos alimentos**. 7^o Ed. Campinas, Ed. UNICAMP, 1990. 93p.
- MOSKOWITZ, H.R. **Product testing and sensory evaluation of foods**. Westport: Food & Nutrition Press, 1983. 605p.

- MUDGETT, R.E. Microwave properties and heating characteristics. **Food Technology**, 40(6): 84-93, June., 1986.
- MUDGETT, R.E. Microwave food processing. **Food Technology**, 43(1):117-126, Jan., 1989.
- NIOLA, I. Il riscaldamento a microonde nel settore alimentare. Nota II. Controllo della carica microbica, cottura e blanching. **Industrie Alimentari**. 29 (4): 335-338, Apr., 1990. Pinarolo, Itália.
- NIOLA, I. Il riscaldamento a microonde nel settore alimentare. Nota III. Disidratazione, scongelamento e controllo degli insetti. **Industrie Alimentari**. 29 (5): 431-434, Mag., 1990. Pinarolo, Itália.
- NUNES, I.A.; GERMANO, M.I.S.; GERMANO, P.M.L. Forno de microondas: solução ou problema para a saúde pública. **Higiene Alimentar**, 10(42): 9-13, Mar-Abr., 1996. São Paulo.
- OWUSU-ANSAH, Y.J. Advances in microwave drying of foods and food ingredients. **Canadian Institute of Food Science and Technology Journal**, 24(3/4): 102-107, July, 1991.
- PEZOA, G.N.H. **Contribution a l'étude d'un capteur por controlar en continu le procédé de torréfaction**. França, 1989. 170p.These (Docteur) Université de Technologie de Compiègne.
- PETTIPHER, G.L. The extration and partial purification of cocoa storage proteins. **Café, Cacao, Thé**. 19(1): 23-26, 1990.

- POWERS, J.J., CENCIARELLI, S.; SHINHOLSER, K. El uso de programas estadísticos generales en la evaluanción de los resultados sensoriales. **Rev. Agroquím. Tecnol. Alim.**, v. 24, p.469-484, 1984.
- REINECCIUS, G.A.; KEENY, P. G. & WEISSBERGER, W. Factors afecting the concentration of pirazines in cocoa beans. **J. Agri. Food Chem.** 20(2): 202-206, 1972.
- ROHAM, T.A. The precursors of chocolate flavor: compartive study of fermented and unfermented cocoa beans. **J. Food Sci.** 29(4): 456-459, 1964.
- ROHAM, T.A. The flavor of chocolate, its recursor and a study of their reaction. **Gordian** 69(9): 443-447, 1969.
- SAS INSTITUTE INC. SAS/STAT; user's guide: version 6, 4. ed. Cary, SA, 1989. v2, 846p.
- SCHWAN, R. F.; LOPEZ, A.; SILVA, D.O. & VANETTI, M.C.D. Influência da frequência e intervalos de revolvimentos sobre a fermentação do cacau e qualidade do chocolate. **AGROTIPICA** 2(1): 22-31, 1990.
- SCHIFFMANN, R.F. Microwave challenge - today's heat processing. **Food Eng.** 47(11): 72-76, 1976.
- SCHIFFMANN, R.F. Microwave processing in the U.S. food industry. **Food Tech.** 94-98, jun., 1986.

- SCHIFFMANN, R.F. Microwave processing in the U.S. food industry. **Food Tech.** 50-56, dec., 1992.
- SENISE, J.T. A utilização de rádio frequência e microondas na eletrônica industrial. **Revista Brasileira de Engenharia Química**, 8(1): 51-612, jul/set, 1985.
- SILWAR, R.R. Gas chromatographic-mass spectrometric investigation of cocoa flavor, quantitative determination of steam volatile aroma constituents. **Café, Cacao, Thé**. 32(3): 243-250, 1988.
- STAUFFER, M.B. Chocolate manufacturing: critical process controls - An overview. **Chocolate Confectioner**. 92-94, jun. 1994.
- STONE, H. & SIDEL, J. **Sensory Evaluation Practices**. New York. Academic Press, 1985. 311p.
- THORZ, M.S. & SCHMITT, A. Thin film liquor roasting and pre-treatment technology. **The Manufacturing Confectioner**. 65-70, jun. 1984.
- VAN DER WAL, B.; SIPMA, G.; KETTENES, D.K.; SEMPER, A. New volatile component of roasted cocoa. **J. Agr. Food Chem.** 19(2): 276-280, 1971.
- ZAMALLOA, C.W.A. **Caracterização físico-química e avaliação de metilpirazinas no desenvolvimento do sabor, em dez cultivares de cacau (*Theobroma cacao* L.) produzidos no Estado de São Paulo**. Campinas, 1994, 121p. Tese (Mestr.) Fac. Eng. Alim. UNICAMP.

Apêndice A I

Tabela 19. Termos descritivos para aparência, criados segundo o método de descrição entrecruzada para liquor de cacau

Termos Descritivos	Frequência	Termos Descritivos	Frequência
Oleosa	4	Brilho	1
Cor Marrom	16	Separação de fases	1
Partículas de Pó	3	Diluída	2
Manchas Gordura	1	Viscosa	1
Consistência	1	Tamanho Partículas de Pó	2
Mistura de Leite com Chocolate	1	Homogeneidade	1
Gotas de Óleo	1	Dispersão da Gordura	1
Tamanho das Gotas de Óleo	1	Areia na Superfície	1
Boa	1	Cor Amarelada	1
Gordura Superficial	4	Cor de Tody	1
Cor das Partículas de Gordura	2		

Apêndice A II

Tabela 20. Termos descritivos para aroma, criados segundo o método de descrição entrecruzada para liquor de cacau

Termos Descritivos	Frequência	Termos Descritivos	Frequência
Cacau em pó	3	Terra	1
Chocolate	10	Global	1
Queimado	1	Chocolate, Dissolvido em Água	1
Torrado	2	Artificial	1
Forte	3	Caract. de Bom Cacau	1
Ranço	2	Verde/Cru	2
Ácido	4	Amêndoas Torradas	1
Cacau	4	Azedo	1
Amargo	1	Insuficiente	1
Manteiga	1	Desagradável	2
Fermentado	1	Maior Aroma	1
Leite	1	Acentuado	1
Doce	1	Ardido	1
Cafeína	1	Grão de Café Beneficiado	1
Agradável	3	Acético	1

Apêndice A III

Tabela 21. Termos descritivos para sabor, criados segundo o método de descrição entrecruzada para liquor de cacau

Termos Descritivos	Frequência	Termos Descritivos	Frequência
Amargo	12	Global	1
Ácido	8	Não característico de Cacau Torrado	1
Pó na Boca	1	Estranho	1
Aquoso	3	Ralo	1
Queimado	1	Viscoso	1
Cacau	3	Crú	1
Fermentado	2	Homogêneo	1
Adstringente	5	Diluído	1
Leite	1	Cacau + Água	1
Agradável	2	Suave	1
Chocolate	4	Residual	1
Oxidado	1	Desagradável	1
Residual Amargo	2	Sobretorrado	1
Terroso	1	Torrado	1
Residual na Garganta	1	Salgado	1
Equilibrado	1	Terra	1
		Pó de Guaraná	1

Apêndice B

Tabela 22. Termos Descritivos selecionados pela equipe sensorial para aparência, aroma e sabor

Termos Descritivos para Aparência	
Cor Marrom	(COR)
Gordurosa	(GORD)
Termos Descritivos para Aroma	
Chocolate	(CHO)
Ácido	(ACI)
Torrado	(TOR)
Termos Descritivos para Sabor	
Chocolate	(CHO)
Ácido	(ACID)
Amargo	(AMAR)
Torrado	(TORR)
Adstringente	(ADS)

Apêndice C

Tabela 23. Níveis de significância(p) para provedores em função de discriminação das amostras ($F_{amostra}$)

Provedor	COR	GORD	CHO	ACI	TOR	CHOC	ACID	AMAR	TORR	ADS**
P1	0,3594	0,0667	0,0148	0,3629	0,5540*	0,1542	0,8207*	0,1180	0,0638	0,0193
P2	0,5172*	0,5243*	0,0008	0,0220	0,1650	0,5602*	0,4838	0,3317	0,1139	0,0256
P3	0,4858	0,0565	0,0185	0,0004	0,0023	0,1723	0,0875	0,0629	0,0246	0,7298*
P4	0,1020	0,6315*	0,0376	0,2151	0,3487	0,0020	0,2096	0,1379	0,6235*	0,6547*
P5	0,0356	0,8667*	0,0554	0,0029	0,1049	0,1814	0,1864	0,7286*	0,4402	0,8857*
P6	0,8613*	0,3002	0,0001	0,3618	0,0001	0,1043	0,3436	0,6977*	0,0587	0,3781
P7	0,5313*	0,2490	0,0017	0,0001	0,0228	0,0043	0,0001	0,1650	0,0625	0,2197
P8	0,0510	0,4117	0,0943	0,0204	0,0527	0,6255*	0,8377*	0,4141	0,7023*	0,8163*
P9	0,5327*	0,0804	0,0001	0,6090*	0,1515	0,0587	0,4095	0,5340*	0,1620	0,8475*
P10	0,1514	0,2019	0,1189	0,0543	0,2017	0,0395	0,0260	0,7802*	0,0795	0,0396
P11	0,5189*	0,0867	0,0088	0,1224	0,4527	0,0001	0,5470*	0,3375	0,2286	0,0491
P12	0,0435	0,0013	0,1379	0,0005	0,5579*	0,0525	0,0081	0,0368	0,2006	0,0339
P13	0,2102	0,3951	0,0238	0,0026	0,0047	0,0263	0,0394	0,0376	0,0294	0,5486*
P14	0,2718	0,0096	0,0162	0,7079*	0,3940	0,5435*	0,9114*	0,9479*	0,4214	0,0796
P15	0,4076	0,0917	0,0001	0,0001	0,0092	0,0029	0,0093	0,0200	0,0013	0,0020

* Valores de p de $F_{amostra} > 0,50$

** Descrição dos atributos na Tabela 22

Apêndice D

Tabela 24. Níveis de significância(p) para provedores em função da repetibilidade ($F_{\text{repetição}}$)

Provedor	COR	GORD	CHO	ACI	TOR	CHOC	ACID	AMAR	TORR	ADS**
P1	0,1416	0,1621	0,5857	0,6765	0,8032	0,8549	0,2970	0,6250	0,6003	0,1622
P2	0,2507	0,7324	0,6887	0,4268	0,3608	0,4234	0,7388	0,6489	0,4863	0,3097
P3	0,9689	0,6243	0,5906	0,3913	0,1702	0,6267	0,8927	0,4231	0,8092	0,0144*
P4	0,2872	0,8469	0,3297	0,4927	0,3468	0,1847	0,3762	0,5897	0,2894	0,0988*
P5	0,7952	0,7494	0,3085	0,5207	0,3178	0,3136	0,4589	0,1722	0,8408	0,4273
P6	0,0863*	0,8836	0,2191	0,4616	0,2038	0,3586	0,1160	0,3722	0,3210	0,2774
P7	0,7240	0,5460	0,5505	0,7987	0,6277	0,3371	0,8519	0,0564*	0,9959	0,4266
P8	0,0053*	0,9848	0,1827	0,9467	0,7958	0,2474	0,5404	0,3732	0,6852	0,5343
P9	0,2736	0,5503	0,1279	0,5697	0,3067	0,3721	0,7413	0,4973	0,2416	0,8197
P10	0,5113	0,6165	0,3312	0,5045	0,6836	0,1063	0,3723	0,5179	0,6763	0,0178*
P11	0,5028	0,2747	0,2944	0,1516	0,7316	0,2125	0,7088	0,5415	0,6012	0,9612
P12	0,6585	0,7493	0,5818	0,0747*	0,6800	0,9215	0,1157	0,5617	0,6510	0,0252*
P13	0,7855	0,1912	0,4018	0,1805	0,1296	0,1307	0,7921	0,2103	0,2085	0,6035
P14	0,0741*	0,4625	0,1556	0,6095	0,6085	0,3075	0,0757*	0,5558	0,0954	0,4297
P15	0,8808	0,9782	0,9604	0,0985*	0,2302	0,9374	0,4031	0,5010	0,9066	0,2321

* Valores de p de $F_{\text{repetição}} > 0,10$

** Descrição dos atributos na Tabela 22

Apêndice E

Tabela 25 - Médias da equipe sensorial e de cada provador para cada atributo julgado para todos os provadores

Atributos	Amostrass	Média Equipe	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15
COR	1	4,155	4,425	5,200	4,775	1,800	5,725	4,225	4,375	3,500	4,650	4,500	1,875	4,250	3,050	6,100	4,075
	2	5,454	4,375	6,650	6,975	2,200	7,000	4,475	5,600	6,425	5,725	5,875	2,650	7,525	5,425	6,650	5,675
	3	5,157	5,475	4,250	5,800	3,225	7,700	4,225	5,450	5,325	6,350	6,300	2,900	6,775	5,075	6,275	5,525
GORD	1	6,032	8,150	6,650	7,125	4,575	7,000	5,575	7,375	4,800	6,800	5,675	3,475	4,675	5,325	6,650	6,625
	2	3,560	6,850	5,550	1,675	3,025	7,400	4,350	3,675	1,625	3,100	3,050	1,325	1,725	4,625	2,325	3,100
	3	4,395	7,275	7,225	3,075	5,175	7,350	4,300	4,300	5,375	4,800	3,525	1,825	1,350	4,250	2,525	3,575
CHO	1	2,403	2,650	1,450	0,500	3,450	3,650	1,550	2,750	1,100	1,300	2,950	0,575	4,725	2,050	4,975	2,375
	2	5,933	5,925	6,875	6,025	6,375	7,050	4,575	7,075	2,300	6,650	6,050	3,075	6,900	5,950	6,800	7,375
	3	5,650	6,600	8,225	6,800	5,975	6,425	4,625	5,525	4,050	5,400	4,700	2,900	5,450	4,950	6,325	6,800
ACI	1	5,273	8,000	4,775	7,950	2,125	6,250	5,100	7,300	6,450	1,150	7,475	1,300	3,800	5,150	5,975	6,300
	2	2,500	7,125	0,800	1,625	1,350	3,275	4,850	2,275	1,725	1,200	3,725	0,600	1,400	1,825	4,825	0,900
	3	2,263	6,500	0,675	0,500	1,100	3,250	5,425	2,700	0,725	0,500	3,975	0,275	0,925	1,200	5,600	0,600
TOR	1	2,123	4,475	0,350	0,550	1,425	2,800	1,325	2,875	0,525	2,550	3,250	0,350	2,975	1,525	3,800	3,075
	2	3,930	4,500	3,975	3,400	1,550	5,600	4,600	5,800	0,275	5,125	4,450	0,275	4,400	6,075	3,050	5,900
	3	4,027	5,850	4,475	4,875	2,450	5,025	4,700	5,200	0,150	3,700	5,025	0,250	4,125	5,000	3,800	5,750
CHOC	1	2,358	2,600	2,675	2,425	1,675	3,875	1,625	3,525	0,950	0,675	2,350	0,300	3,800	1,600	5,075	2,225
	2	4,608	4,675	2,925	4,950	5,500	6,200	2,675	7,200	0,700	3,525	5,050	3,475	7,075	3,950	4,075	7,150
	3	4,793	5,700	4,700	6,250	2,925	6,125	3,650	7,325	1,200	3,600	4,025	4,000	6,100	5,025	4,575	6,700
ACID	1	4,573	6,750	3,575	4,100	2,700	4,250	4,975	6,625	5,950	0,400	7,275	0,775	4,500	4,450	5,250	7,025
	2	3,117	6,125	4,525	0,900	1,475	2,900	5,325	1,725	5,475	0,850	4,600	0,450	2,250	1,900	5,150	3,100
	3	2,775	6,400	1,925	0,325	2,800	2,500	5,100	1,750	4,500	0,625	3,425	0,275	2,525	0,775	5,500	3,200
AMAR	1	5,300	8,175	1,450	7,050	7,450	5,300	5,525	4,850	6,675	4,375	5,575	2,850	4,400	4,850	5,400	5,975
	2	4,740	7,800	3,300	3,425	5,550	4,925	5,400	5,075	8,425	2,950	5,050	1,925	2,175	1,625	5,850	7,625
	3	4,592	7,025	0,950	4,975	6,525	5,450	5,225	5,800	5,625	3,350	5,750	1,975	3,200	0,875	5,750	6,400
TORR	1	2,655	3,800	0,400	0,975	4,300	3,700	1,700	5,275	0,500	2,675	2,825	1,550	5,900	1,000	5,525	1,750
	2	4,072	6,250	5,125	2,525	2,925	5,300	3,275	5,575	0,400	4,400	5,900	0,300	4,825	4,000	4,950	6,675
	3	4,485	6,500	4,500	4,600	3,375	4,600	3,800	6,200	0,350	4,400	5,350	0,975	5,900	5,075	4,675	6,675
ADS	1	3,697	7,225	5,200	2,650	2,200	0,550	5,525	4,275	1,000	5,200	6,625	3,400	2,450	2,850	1,000	5,300
	2	2,682	5,525	2,575	2,475	1,875	0,450	5,975	2,900	1,400	4,625	5,300	1,225	1,375	0,875	1,850	1,800
	3	2,768	5,200	0,400	3,050	2,275	0,475	5,425	3,650	1,250	4,300	5,275	1,550	1,400	2,100	2,950	2,225