



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

**ESTUDO DO PROCESSO DE TEMPERAGEM DO CHOCOLATE AO  
LEITE E DE PRODUTOS ANÁLOGOS ELABORADOS COM  
LIQUOR E GORDURA DE CUPUAÇU**

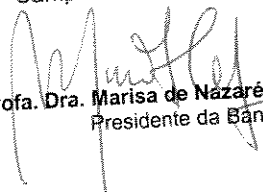
**KELLY DE OLIVEIRA COHEN**

**Orientadora: Profa. Dra. MARISA DE NAZARÉ HOELZ JACKIX**

**PARECER**

Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por **Kelly de Oliveira Cohen** aprovada pela Comissão Julgadora em 09 de maio de 2003.

Campinas, 09 de maio de 2003.

  
Profa. Dra. Marisa de Nazaré Hoelz Jackix  
Presidente da Banca

**Tese de Doutorado apresentada à Faculdade  
de Engenharia de Alimentos como parte dos  
requisitos exigidos para a obtenção do título  
de Doutor em Tecnologia de Alimentos**

**CAMPINAS-SP  
2003**

|            |                                     |
|------------|-------------------------------------|
| UNIDADE    | 80                                  |
| Nº CHAMADA | TIUNICAMP                           |
|            | C66e                                |
| V          | EX                                  |
| TOMBO BCI  | 54423                               |
| PROC.      | 124/03                              |
| C          | <input type="checkbox"/>            |
| D          | <input checked="" type="checkbox"/> |
| PREÇO      | R\$ 11,00                           |
| DATA       | 19/06/03                            |
| Nº CPD     |                                     |

CH00185621-7

BIB ID 293683

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA F.E.A. – UNICAMP

C66e Cohen, Kelly de Oliveira  
Estudo do processo de temperagem do chocolate ao leite e de produtos análogos elaborados com liquor e gordura de cupuaçu / Kelly de Oliveira Cohen. – Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Marisa de Nazaré Hoelz Jackix  
Tese (doutorado) – Universidade Estadual de  
Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

1.Cupuaçu. 2.Chocolate. 3.Theobroma. 4. Cristalização. 5. Temperagem. I.Jackix, Marisa de Nazaré Hoelz. II. Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos. III.Título.

## BANCA EXAMINADORA

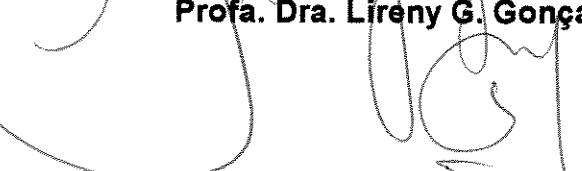


**Orientadora**

**Profa. Dra. Marisa de Nazaré Hoelz Jackix**



**Profa. Dra. Lireny G. Gonçalves**



**Prof. Dr. Nelson Horacio Pezoa**



**Dr. Valdecir Luccas**



**Dr. Edy Souza de Brito**

**Membro suplente**

**Profa. Dra. Helena Maria A. B. Cardello**

**Membro suplente**

**Profa. Dra. Suzana C. da Silva Lannes**

200321124

## *Prece da Amizade*

*Agradeço, Senhor,  
Cada afeição querida  
Com que me deste a vida  
Alegria, esperança, entendimento, amor*

*Enaltece, por mim, a amizade que vem  
Resguarda-me a fraqueza em caridade infinita,  
Sem perguntar porque não posso ainda  
Entregar-me de toda a prática do bem.*

*Sê louvado, Jesus, pela criatura boa.  
Que me escora no caminho,  
Estendendo-me paz, reconforto carinho  
Toda vez que me encontra, auxilia ou perdôa.*

*Faze brilhar, no mundo, o olhar branco e perfeito  
Que me tolera as faltas, de hora a hora,  
Que me percebe o anseio de melhora  
E me ensina a servir sem notar meu defeito..*

*Santifica ,na Terra, o ouvido que me escuta,  
Sem espalhar a queixa e as aflições, que faço,  
Nos erros que cometo, passo a possa,  
Nos meus dias de mágoa, sombra e luta!...*

*Abrilhanta, onde esteja, aquele coração  
Que me acolhe nos dons da palavra serena  
E nunca me censura e nem condena,  
Quando me vejo em treva e irritação.*

*Recama de esplendor para a Glória Celeste  
A mão, cuja bondade, em júbilo, proclamo,  
Que me socorre e ampara aqueles que mais amo  
No refúgio do lar que me fizeste*

*A Ti, Jesus, meu pálido louvor!...  
Pelo gosto mais leve e pequenino  
Das santas afeições que me deste ao destino,  
Agradeço, Senhor!...*

## *Agradecimentos*

*Agradeço a professora Marisa Jackix por aceitar-me como orientada e por ter confiado em mim na realização deste trabalho. Tenho por ela admiração, não só como profissional, mas por sua doçura e humildade.*

*Ao professor Horácio Pezoa por seus ensinamentos, sugestões e por se mostrar sempre disponível nas horas em que precisei.*

*A professora Lireny Gonçalves, pessoa extremamente humana, a quem tenho muita admiração.*

*Ao Edy Brito por aceitar participar da banca examinadora, podendo assim colaborar com seus conhecimentos.*

*A Valdecir Luccas, obrigada pela grande ajuda e por ter sido um verdadeiro mestre.*

*A professora Helena Cardello que se mostrou bastante receptiva e amável, ajudando-me no que foi necessário.*

*A professora Susana Lamus pela gentileza de compor a banca examinadora.*

*A FAPESP pela aprovação desse projeto e apoio financeiro.*

*A Cooperativa Mista de Tomé Açu, pela doação das sementes de cupuaçu e cacau, e por ceder seu espaço físico para a fermentação das sementes.*

*Ao ITAL por ceder seus equipamentos para a realização deste trabalho.*

*As empresas CARGIL FOODS e BUNGE ALIMENTOS S.A pelo fornecimento de material para este trabalho.*

*A Embrapa Amazônia Oriental pela oportunidade profissional.*

*A Embrapa Acre pelo fornecimento pela ajuda bibliográfica.*

*A Denise pela grande colaboração em etapas essenciais deste trabalho.*

*Meus agradecimentos aos funcionários do DTA, Adauto Santos, Valdecir Santos, Ana Maria, Judite, Bete, Ana Lourdes, Marlene e Cosme, que sempre se mostraram dispostos a ajudar.*

*A Rafaella Mattietto, Marcus Vasconcelos, Jorge Schultz, e Alessandra Lopes pela ajuda neste trabalho.*

*A Danielle DeGrandi, Daniela Marchese, Amanda Querido, Luciane Mendes, Gabriela Torezan, Cristina Dib Táxi, Rosane Rodrigues, Marília e Carla, obrigada por toda ajuda, carinho e amizade.*

*As amigas Ana Koon, Priscila Ferraz e Carol Duarte, minha mais profunda gratidão não só pela ajuda técnica, mas pela pura amizade.*

*A Vitória Gilabert-Escrivá por sua imensa ajuda, mostrando-se sempre disponível e amiga.*

*Agradeço a Marinalda Soares por sua ajuda, amizade e paciência.*

*A Cherida Costa pela sua amizade, doçura e pelas boas conversas das quais muito aprendi.*

*A minha leal amiga Valeria Sousa que muito me ensinou, pelos momentos divertidos que passamos juntas e pelo apoio que tanto precisei nos momentos mais difíceis.*

*A minha amiga e professora de inglês Maria Paula pela amizade sincera e grande enriquecimento profissional.*

*As minhas amigas Eliana Guarienti e Caroline Steel, pelo companheirismo e pelos bons momentos que passamos juntas.*

*Meus agradecimentos a Daniele Casarin, Silvia Casarin, Frede Carvalho, Marta Neto, Ricardo Belchior e Mila Belchior, velhos companheiros de jornada.*

*Ao Sr. Guilherme, amigo de meu pai, sempre paciente e disponível a ajudar em minhas buscas bibliográficas.*

*Ao Sr. Roberto Porto, por todo apoio dado em minha estadia nesta cidade querida (Campinas), e por ter sido um bom amigo de meu pai.*

*Aos meus novos colegas da Embrapa que foram bastante receptivos.*

*A minha avó, meus tios e tias, primos e primas que foram, para mim, muito importantes no momento mais difícil de minha vida. Muito obrigado.*

*Para minha família não sei nem como expressar tanto agradecimento. Minha irmã Karla com seu bebê Vitor, a minha irmã Kayla, a minha doce mãe Joana e ao meu pai Nonato, que se foi antes da conclusão deste trabalho de que tanto ele se orgulhava. Mas foi seu corpo físico, porque em espírito ele estará sempre ao meu lado.*

*Ao meu marido Reinaldo agradeço de coração pelo seu incentivo, carinho, paciência, respeito e amor. E a minha filha Danielle por todas as alegrias que me proporciona e pelo simples fato de ser minha filha.*

*A Deus, causa primária de todas as coisas, esse ser soberanamente justo a quem devo minha vida.*

*Ofereço esta tese ao meu marido Reinaldo, que com todo amor e compreensão me ajudou em cada etapa. Além de tudo isso, deu a mim a oportunidade da benção da maternidade, que através dela concretizei não somente meus sonhos, com uma filha linda carinhosa e cheia de vida, chamada Danielle, mas a de meus pais e irmãs. A quem também dedico este trabalho. A uma família que de tão linda agradeço a Deus todos os dias por ter tido a oportunidade de ter nascido ao lado de pessoas tão fraternas. Minhas irmãs queridas, Karla e Kayla, que sempre me deram amor, e meu sobrinho Vitor. A minha mãe Joana pela sua mais suave doçura e ao meu pai Nonato Cohen, a quem Deus chamou para a morada dos felizes. Esse pai maravilhoso que esteve presente em cada momento de minha vida, doando compreensão, conselhos e muito amor.*

*Há um provérbio oriental que diz:*

*“Quando nascestes todos sorriam, só tu choravas. Vive de tal forma que, quando tu morreres todos chorem, só tu sorrias”.*

*E foi assim que meu pai viveu, de uma tal forma que só conseguiu semear amor.*

*Obrigada meu Deus pela sua caridade mais pura, a tudo que me destes e que aparentemente tirastes. Pois sei que de um ser tão misericordioso e justo, só posso esperar o bem.*

# Índice

|                                                             |         |
|-------------------------------------------------------------|---------|
| LISTA DE TABELAS.....                                       | xvii    |
| LISTA DE FIGURAS.....                                       | xxx     |
| RESUMO.....                                                 | xxxviii |
| ABSTRACT.....                                               | Xli     |
| INTRODUÇÃO.....                                             | 1       |
| OBJETIVOS.....                                              | 6       |
| CAPÍTULO I - Revisão bibliográfica.....                     | 7       |
| 1. Cupuaçu ( <i>Theobroma grandiflorum</i> Schum).....      | 7       |
| 2. <i>Liquor</i> de cacau.....                              | 18      |
| 2.1. Obtenção do <i>liquor</i> de cacau.....                | 18      |
| 2.1.1. Limpeza.....                                         | 19      |
| 2.1.2. Torração.....                                        | 19      |
| 2.1.3. Quebra ou micronização.....                          | 21      |
| 2.1.4. Moagem.....                                          | 21      |
| 2.1.5. Refino.....                                          | 22      |
| 2.1.6. Empacotamento e vida de prateleira.....              | 22      |
| 2.2. Comportamento reológico do <i>liquor</i> de cacau..... | 23      |
| 2.2.1. Fatores que afetam a viscosidade.....                | 25      |
| 2.2.1.1. Conteúdo de umidade.....                           | 25      |
| 2.2.1.2. Conteúdo de gordura.....                           | 26      |
| 2.2.1.3. Temperatura.....                                   | 27      |
| 2.2.1.4. Distribuição do tamanho das partículas.....        | 29      |

|                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1.5. Adição de lecitina ou outro emulsificante.....                                                                             | 29 |
| 3. Polimorfismo da manteiga de cacau.....                                                                                           | 33 |
| 4. Produção de chocolate.....                                                                                                       | 41 |
| 4.1. Mistura.....                                                                                                                   | 42 |
| 4.2. Refino.....                                                                                                                    | 43 |
| 4.3. Conchagem.....                                                                                                                 | 44 |
| 4.4. Processo de temperagem.....                                                                                                    | 45 |
| 4.4.1. Objetivo da temperagem.....                                                                                                  | 47 |
| 4.4.2. Parâmetros do processo de temperagem.....                                                                                    | 48 |
| 4.4.2.1. Tempo de residência ou tempo de<br>cristalização.....                                                                      | 48 |
| 4.4.2.2. Velocidade de agitação.....                                                                                                | 49 |
| 4.4.2.3. Temperatura.....                                                                                                           | 50 |
| 4.4.3. Fatores que afetam o processo de temperagem.....                                                                             | 51 |
| 4.4.3.1. Velocidades relativas de nucleação e<br>crescimento.....                                                                   | 51 |
| 4.4.3.2. Taxas de transferência de calor e massa.....                                                                               | 51 |
| 4.4.3.3. Formulação.....                                                                                                            | 51 |
| 4.4.3.4. Condições de armazenagem.....                                                                                              | 54 |
| 4.4.4. Métodos empregados para temperar ou pré-cristalizar o<br>chocolate.....                                                      | 55 |
| 4.4.4.1. Processo manual.....                                                                                                       | 56 |
| 4.4.4.2. Processo em Batelada.....                                                                                                  | 56 |
| 4.4.4.3. Processo Contínuo.....                                                                                                     | 57 |
| 4.4.4.4. Efeito da sementeira dos cristais de gordura sobre a<br>cinética de cristalização da gordura presente no<br>chocolate..... | 60 |
| 4.4.5. Medidas do grau de temperagem.....                                                                                           | 61 |
| 5. Referências bibliográficas.....                                                                                                  | 64 |

|                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>CAPÍTULO II - Estudo do <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau</b> .....                                        | 75 |
| Resumo.....                                                                                                     | 75 |
| Abstract.....                                                                                                   | 77 |
| 1. Introdução.....                                                                                              | 79 |
| 2. Material e métodos.....                                                                                      | 82 |
| 2.1. Material.....                                                                                              | 82 |
| 2.1.1. Sementes de cupuaçu e de cacau.....                                                                      | 82 |
| 2.1.2. Equipamentos.....                                                                                        | 82 |
| 2.1.3. Reagentes.....                                                                                           | 83 |
| 2.2. Métodos.....                                                                                               | 83 |
| 2.2.1. Processamento das matérias-primas.....                                                                   | 83 |
| 2.2.1.1. Obtenção das sementes de cupuaçu e de cacau.....                                                       | 83 |
| 2.2.1.2. Fermentação e secagem das sementes de cupuaçu e de cacau.....                                          | 84 |
| 2.2.2. Prova de corte.....                                                                                      | 86 |
| 2.2.3. Obtenção dos <i>nibs</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                      | 86 |
| 2.2.4. Obtenção das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                        | 88 |
| 2.2.4.1. Torração dos <i>nibs</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                    | 88 |
| 2.2.4.2. Moagem.....                                                                                            | 89 |
| 2.2.4.3. Refino.....                                                                                            | 89 |
| 2.2.5. Caracterização física, química e físico-química das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau..... | 89 |
| 2.2.5.1. Teor de umidade.....                                                                                   | 89 |
| 2.2.5.2. Teor de gordura.....                                                                                   | 89 |
| 2.2.5.3. Teor de proteínas.....                                                                                 | 89 |
| 2.2.5.4. Teor de fibras.....                                                                                    | 90 |
| 2.2.5.5. Teor de cinzas.....                                                                                    | 90 |
| 2.2.5.6. Teor de carboidratos totais e outros componentes.....                                                  | 90 |

|                                                                                                         |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.2.5.7. Valor calórico total.....                                                                      | 90  |
| 2.2.5.8. pH.....                                                                                        | 90  |
| 2.2.5.9. Acidez total titulável.....                                                                    | 90  |
| 2.2.5.10. Cor.....                                                                                      | 91  |
| 2.2.5.11. Propriedades reológicas.....                                                                  | 91  |
| 2.2.5.12. Densidade das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de<br>cacao desengorduradas e secas..... | 93  |
| 2.2.5.13. Distribuição do tamanho das partículas.....                                                   | 93  |
| 2.2.6. Obtenção e análises físicas e químicas da gordura de<br>cupuaçu e da manteiga de cacao.....      | 93  |
| 2.2.6.1. Viscosidade.....                                                                               | 94  |
| 2.2.6.2. Composição de ácidos graxos.....                                                               | 95  |
| 2.2.6.3. Composição de triacilgliceróis.....                                                            | 96  |
| 2.2.6.4. Teor de fósforo.....                                                                           | 97  |
| 2.2.6.5. Teor de fosfolípidios.....                                                                     | 97  |
| 3. Resultados e discussão.....                                                                          | 98  |
| 3.1. Perfil de temperatura durante o processo fermentativo.....                                         | 98  |
| 3.2. Classificação das amêndoas de cupuaçu e de<br>cacao.....                                           | 101 |
| 3.3. Rendimento dos <i>nibs</i> de cupuaçu e de cacao.....                                              | 107 |
| 3.4. Torração dos <i>nibs</i> de cupuaçu e de cacao.....                                                | 111 |
| 3.4.1. Rendimento da torração dos <i>nibs</i> de cupuaçu e de<br>cacao.....                             | 111 |
| 3.4.2. Perfil de temperatura durante a torração dos <i>nibs</i> de<br>cupuaçu e de cacao.....           | 113 |
| 3.5. Rendimento da moagem dos <i>nibs</i> torrados de cupuaçu e de<br>cacao.....                        | 115 |
| 3.6. Rendimento do refino dos <i>nibs</i> torrados e moídos de cupuaçu e de<br>cacao.....               | 116 |

|                                                                                                                                   |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.7. Resultados obtidos das análises físicas, químicas e físico-químicas das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau..... | 116 |
| 3.7.1. Composição físico-química das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                         | 116 |
| 3.7.2. pH e Acidez total titulável.....                                                                                           | 120 |
| 3.7.3. Análise de cor das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                    | 122 |
| 3.7.4. Comportamento reológico das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                           | 127 |
| 3.7.4.1. Influência da temperatura na viscosidade plástica de Casson.....                                                         | 127 |
| 3.7.4.2. Influência do conteúdo de umidade na viscosidade plástica de Casson.....                                                 | 130 |
| 3.7.4.3. Influência do conteúdo de gordura na viscosidade plástica de Casson.....                                                 | 132 |
| 3.7.4.4. Influência da distribuição do tamanho das partículas na viscosidade plástica de Casson.....                              | 134 |
| 3.7.4.5. Comportamento reológico e composição química da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau.....                           | 136 |
| 4. Conclusões.....                                                                                                                | 143 |
| 4.1. Processo fermentativo das sementes de cupuaçu e de cacau.....                                                                | 143 |
| 4.2. Classificação das amêndoas de cupuaçu e de cacau.....                                                                        | 143 |
| 4.3. Processo de obtenção das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                | 143 |
| 4.4. Caracterização física, química e físico-química das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                     | 144 |
| 4.5. Reologia das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                            | 145 |

|                                                                                                |            |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5. Referências bibliográficas.....                                                             | 147        |
| <b>CAPÍTULO III - Estudo do processo de temperagem.....</b>                                    | <b>153</b> |
| Resumo.....                                                                                    | 153        |
| Abstract.....                                                                                  | 155        |
| 1. Introdução.....                                                                             | 157        |
| 2. Material e métodos.....                                                                     | 159        |
| 2.1. Material.....                                                                             | 159        |
| 2.1.1. Ingredientes.....                                                                       | 159        |
| 2.1.2. Equipamentos.....                                                                       | 160        |
| 2.1.3. Reagentes.....                                                                          | 161        |
| 2.2. Métodos.....                                                                              | 161        |
| 2.2.1. Produção de chocolate ao leite e de produtos<br>análogos.....                           | 161        |
| 2.2.1.1. Formulação.....                                                                       | 161        |
| 2.2.1.2. Mistura.....                                                                          | 162        |
| 2.2.1.3. Refino.....                                                                           | 162        |
| 2.2.1.4. Conchagem.....                                                                        | 162        |
| 2.2.1.5. Processo de temperagem.....                                                           | 163        |
| 2.2.1.6. Moldagem e desmoldagem.....                                                           | 167        |
| 2.2.2. Planejamento experimental.....                                                          | 167        |
| 2.2.3. Efeito das condições de temperagem nas características dos<br>produtos temperados.....  | 170        |
| 2.2.3.1. Viscosidade plástica de Casson e limite de<br>escoamento dos produtos temperados..... | 170        |
| 2.2.3.2. Análise sensorial.....                                                                | 171        |
| 2.2.3.3. Análise de cor.....                                                                   | 175        |
| 2.2.3.4. Análise de textura.....                                                               | 175        |
| 2.2.3.5. Comportamento térmico das formulações $F_0$ , $F_{50}$ e<br>$F_{100}$ .....           | 176        |

|                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3. Resultados e discussão.....                                                                                                                      | 178 |
| 3.1. Viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento das formulações $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ temperadas.....                             | 178 |
| 3.1.1. Experimentos da formulação $F_0$ .....                                                                                                       | 179 |
| 3.1.2. Experimentos da formulação $F_{50}$ .....                                                                                                    | 181 |
| 3.1.3. Experimentos da formulação $F_{100}$ .....                                                                                                   | 183 |
| 3.2. – Efeito da variação de tempo e temperatura de cristalização da temperagem nas características dos produtos $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ ..... | 185 |
| 3.2.1. Formulação $F_0$ .....                                                                                                                       | 186 |
| 3.2.1.1. Atributo “brilho”.....                                                                                                                     | 186 |
| 3.2.1.2. Atributo “ <i>fat bloom</i> ”.....                                                                                                         | 188 |
| 3.2.1.3. Atributo “presença de bolhas”.....                                                                                                         | 195 |
| 3.2.1.4. Atributo “qualidade do moldado”.....                                                                                                       | 201 |
| 3.2.1.5 – Parâmetro $L^*$ e coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor.....                                                             | 203 |
| 3.2.1.6. Força de ruptura.....                                                                                                                      | 213 |
| 3.2.2. Formulação $F_{50}$ .....                                                                                                                    | 219 |
| 3.2.2.1. Atributo “brilho”.....                                                                                                                     | 219 |
| 3.2.2.2. Atributo “ <i>fat bloom</i> ”.....                                                                                                         | 223 |
| 3.2.2.3. Atributo “presença de bolhas”.....                                                                                                         | 229 |
| 3.2.2.4. Atributo “qualidade do moldado”.....                                                                                                       | 230 |
| 3.2.2.5 – Parâmetro $L^*$ e coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor.....                                                             | 237 |
| 3.2.2.6. Força de ruptura.....                                                                                                                      | 241 |
| 3.2.3. Formulação $F_{100}$ .....                                                                                                                   | 244 |
| 3.2.3.1. Atributo “brilho”.....                                                                                                                     | 244 |
| 3.2.3.2. Atributo “ <i>fat bloom</i> ”.....                                                                                                         | 246 |
| 3.2.3.3. Atributo “presença de bolhas”.....                                                                                                         | 251 |
| 3.2.3.4. Atributo “qualidade do moldado”.....                                                                                                       | 254 |

|                                                                                                  |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.3.5 – Parâmetro $L^*$ e coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor.....          | 257        |
| 3.2.3.6. Força de ruptura.....                                                                   | 260        |
| 3.3. Análises térmicas das formulações $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ .....                        | 262        |
| 3.4. Análise sensorial.....                                                                      | 265        |
| 4. Conclusões.....                                                                               | 275        |
| 4.1. Viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento dos produtos temperados.....          | 275        |
| 4.2. Resposta da variação de tempo e temperatura de cristalização no processo de temperagem..... | 276        |
| 4.3. Comportamento térmico dos produtos temperados.....                                          | 283        |
| 4.4. Resposta do teste de aceitação.....                                                         | 283        |
| 5. Referências bibliográficas.....                                                               | 284        |
| <b>ANEXO A.....</b>                                                                              | <b>287</b> |
| <b>ANEXO B.....</b>                                                                              | <b>291</b> |

## Índice de Tabelas

|              |                                                                                                                                                               |     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 1.1.  | Rendimento do fruto de cupuaçu.....                                                                                                                           | 13  |
| Tabela 1.2.  | Composição físico-química das sementes e amêndoas de cupuaçu e de cacau.....                                                                                  | 13  |
| Tabela 1.3.  | Composição de ácidos graxos das sementes de cupuaçu e de cacau.....                                                                                           | 13  |
| Tabela 1.4.  | Algumas características químicas e físicas das gorduras das sementes de cupuaçu e de cacau.....                                                               | 14  |
| Tabela 1.5.  | Viscosidade plástica em função da porcentagem de gordura do <i>liquor</i> de cacau.....                                                                       | 26  |
| Tabela 1.6.  | Viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento de Casson do chocolate com adição de lípidos de superfície ativa a 50°C.....                            | 31  |
| Tabela 1.7.  | Nomenclatura e ponto de fusão das formas cristalinas da manteiga de cacau, segundo diversos autores.....                                                      | 34  |
| Tabela 1.8.  | Composição de triglicerídeos da manteiga de cacau (%).....                                                                                                    | 38  |
| Tabela 1.9.  | Composição de triglicéris e percentagem da área do polimorfismo da II endoterma das manteigas de cacau classificadas por região.....                          | 38  |
| Tabela 1.10. | Determinação da dureza da manteiga de cacau.....                                                                                                              | 39  |
| Tabela 2.1.  | Programa desenvolvido em reômetro programável BROOKFIELD.....                                                                                                 | 92  |
| Tabela 2.2.  | Programa desenvolvido em reômetro programável BROOKFIELD para as medições dos valores de viscosidade da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau a 40°C..... | 95  |
| Tabela 2.3.  | Classificação das amêndoas de cupuaçu e de cacau.....                                                                                                         | 101 |
| Tabela 2.4.  | Rendimento de <i>nibs</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                                                                          | 107 |
| Tabela 2.5.  | Rendimento da torração dos <i>nibs</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                                                             | 111 |

|              |                                                                                                                                                                  |     |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 2.6.  | Rendimento da moagem dos <i>nibs</i> torrados de cupuaçu e de cacau.....                                                                                         | 115 |
| Tabela 2.7.  | Rendimento do refino dos <i>nibs</i> torrados e moídos de cupuaçu e de cacau.....                                                                                | 116 |
| Tabela 2.8.  | Composição físico-química das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu em base seca.....                                                                             | 117 |
| Tabela 2.9.  | Composição físico-química das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau em base seca.....                                                                  | 119 |
| Tabela 2.10. | pH e acidez total titulável das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu.....                                                                                        | 120 |
| Tabela 2.11. | pH e acidez total titulável das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                                             | 122 |
| Tabela 2.12. | Valores obtidos do parâmetro L* e das coordenadas cromáticas a* e b* da análise de cor das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu.....                             | 123 |
| Tabela 2.13. | Valores obtidos do parâmetro L* e das coordenadas cromáticas a* e b* da análise de cor das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                  | 125 |
| Tabela 2.14. | Viscosidade plástica de Casson (Pa.s) e limite de escoamento (Pa) das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau nas temperaturas de 35, 40, 45 e 50°C..... | 128 |
| Tabela 2.15. | Conteúdo de umidade (%) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu a 40°C.....                                             | 131 |
| Tabela 2.16. | Conteúdo de umidade (%) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau a 40°C..                                     | 131 |
| Tabela 2.17. | Conteúdo de gordura (%) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu a 40°C.....                                             | 132 |
| Tabela 2.18. | Conteúdo de gordura (%) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau a 40°C.....                                  | 133 |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 2.19. | Distribuição do tamanho das partículas ( $\mu\text{m}$ ) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu a 40°C.....                                                                                                                                                          | 134 |
| Tabela 2.20. | Distribuição do tamanho das partículas e viscosidade plástica de 139 Casson (Pa.s) das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau a 40°C.....                                                                                                                                                             | 135 |
| Tabela 2.21. | Viscosidade das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau a 40°C.....                                                                                                                                                                                                                                         | 137 |
| Tabela 2.22. | Composição percentual de ácidos graxos (AG) das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau.....                                                                                                                                                                                                                | 138 |
| Tabela 2.23. | Composição de triacilgliceróis das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau.....                                                                                                                                                                                                                             | 139 |
| Tabela 2.24. | Teor de fósforo, fosfolípidios e viscosidade das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau a 40°C.....                                                                                                                                                                                                        | 141 |
| Tabela 3.1.  | Características organolépticas e físico-químicas da manteiga de cacau da CARGILL FOODS.....                                                                                                                                                                                                                    | 159 |
| Tabela 3.2.  | Composição do leite Ninho – NESTLÉ.....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 160 |
| Tabela 3.3.  | Especificações da lecitina de soja CHOCOLEC da BUNGE ALIMENTOS S.A.....                                                                                                                                                                                                                                        | 160 |
| Tabela 3.4.  | Ingredientes utilizados para as formulações $F_0$ (chocolate ao leite), $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) e $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 162 |
| Tabela 3.5.  | Variáveis independentes do Planejamento Experimental em seus diferentes níveis para a Formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                               | 168 |
| Tabela 3.6.  | Variáveis independentes do Planejamento Experimental em seus diferentes níveis para a Formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                           | 168 |

|              |                                                                                                                                                                                                                             |     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 3.7.  | Variáveis independentes do Planejamento Experimental em seus diferentes níveis para a Formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....      | 168 |
| Tabela 3.8.  | Planejamento Experimental para a Formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                 | 169 |
| Tabela 3.9.  | Planejamento Experimental para a Formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                             | 169 |
| Tabela 3.10. | Planejamento Experimental para a Formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                           | 170 |
| Tabela 3.11. | Programa desenvolvido em reômetro programável BROOKFIELD.....                                                                                                                                                               | 171 |
| Tabela 3.12. | Valores obtidos de viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento dos experimentos da Formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                     | 179 |
| Tabela 3.13. | Valores obtidos de viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento dos experimentos da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 181 |
| Tabela 3.14. | Valores obtidos de viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento dos experimentos de $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....          | 183 |
| Tabela 3.15. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                 | 186 |
| Tabela 3.16. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo brilho dos produtos                                    |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                                                      | 187 |
| Tabela 3.17. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                         | 189 |
| Tabela 3.18. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....   | 189 |
| Tabela 3.19. | Análise de variância do modelo ajustado para o atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                | 191 |
| Tabela 3.20. | Modelo ajustado e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do atributo sensorial <i>fat bloom</i> da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                  | 193 |
| Tabela 3.21. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                       | 196 |
| Tabela 3.22. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite)..... | 197 |
| Tabela 3.23. | Análise de variância do modelo ajustado para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                              | 197 |
| Tabela 3.24. | Modelo ajustado e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do atributo sensorial presença de bolhas da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                | 199 |
| Tabela 3.25. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                     | 202 |
| Tabela 3.26. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e                                                                                                                                                                                                    |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                           | 202 |
| Tabela 3.27. | Valores obtidos para o parâmetro $L^*$ e para as coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor dos experimentos de temperagem da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                           | 204 |
| Tabela 3.28. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do parâmetro $L^*$ e das coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite)..... | 205 |
| Tabela 3.29. | Análise de variância do modelo ajustado para o parâmetro $L^*$ e para as coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                          | 208 |
| Tabela 3.30. | Modelos ajustados e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o parâmetro $L^*$ e para as coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                | 209 |
| Tabela 3.31. | Valores obtidos para a força de ruptura dos experimentos da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                                                         | 214 |
| Tabela 3.32. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                         | 214 |
| Tabela 3.33. | Análise de variância do modelo ajustado para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                          | 215 |
| Tabela 3.34. | Modelos ajustados e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a força de ruptura da formulação $F_0$ (chocolate ao                                                                                                                                                                                            |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | leite).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 217 |
| Tabela 3.35. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                 | 220 |
| Tabela 3.36. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo brilho dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....           | 220 |
| Tabela 3.37. | Análise de variância do modelo ajustado para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                        | 222 |
| Tabela 3.38. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                       | 223 |
| Tabela 3.39. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 224 |
| Tabela 3.40. | Análise de variância do modelo ajustado para o atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                              | 225 |
| Tabela 3.41. | Modelo ajustado e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) do atributo sensorial <i>fat bloom</i> da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao                                                                                                                                                                                                          |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e<br>gordura de cupuaçu).....                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 227 |
| Tabela 3.42. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo<br>presença de bolhas dos produtos temperados da formulação<br>F <sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de<br>substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                               | 229 |
| Tabela 3.43. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e<br>coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura<br>( $T_c$ ) de cristalização do atributo presença de bolhas dos<br>produtos temperados da formulação F <sub>50</sub> (produto análogo ao<br>chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e<br>gordura de cupuaçu).....   | 230 |
| Tabela 3.44. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo<br>qualidade do moldado dos produtos temperados da<br>formulação F <sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com<br>50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de<br>cupuaçu).....                                                                                                          | 231 |
| Tabela 3.45. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e<br>coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura<br>( $T_c$ ) de cristalização do atributo qualidade do moldado dos<br>produtos temperados da formulação F <sub>50</sub> (produto análogo ao<br>chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e<br>gordura de cupuaçu)..... | 231 |
| Tabela 3.46. | Análise de variância do modelo ajustado para o atributo<br>qualidade do moldado dos produtos temperados da<br>formulação F <sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com<br>50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de<br>cupuaçu).....                                                                                                                 | 233 |
| Tabela 3.47. | Modelo ajustado e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) do atributo<br>sensorial qualidade do moldado da formulação F <sub>50</sub> (produto<br>análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de                                                                                                                                                                     |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |     |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 233 |
| Tabela 3.48. | Valores obtidos para o parâmetro $L^*$ e para as coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor dos experimentos de temperagem da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                           | 237 |
| Tabela 3.49. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do parâmetro $L^*$ e das coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 238 |
| Tabela 3.50. | Análise de variância do modelo ajustado para o parâmetro $L^*$ e para as coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                          | 240 |
| Tabela 3.51. | Valores obtidos para a força de ruptura dos experimentos da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                                                                                                         | 242 |
| Tabela 3.52. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                         | 242 |
| Tabela 3.53. | Análise de variância do modelo ajustado para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                                                                          | 243 |
| Tabela 3.54. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |
|--------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | brilho dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                                                                                | 244 |
| Tabela 3.55. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo brilho dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....           | 245 |
| Tabela 3.56. | Análise de variância do modelo ajustado para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                        | 246 |
| Tabela 3.57. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                       | 247 |
| Tabela 3.58. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 247 |
| Tabela 3.59. | Análise de variância do modelo ajustado para o atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                              | 249 |
| Tabela 3.60. | Modelo ajustado e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) do atributo sensorial <i>fat bloom</i> da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                   | 249 |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |     |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabela 3.61. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação F <sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                         | 253 |
| Tabela 3.62. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação F <sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....   | 253 |
| Tabela 3.63. | Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F <sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                       | 254 |
| Tabela 3.64. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F <sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 255 |
| Tabela 3.65. | Análise de variância do modelo ajustado para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F <sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                              | 256 |
| Tabela 3.66. | Valores do parâmetro L* e das coordenadas cromáticas a* e b* da análise de cor dos experimentos de temperagem da formulação F <sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                     | 257 |
| Tabela 3.67. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do parâmetro $L^*$ e das coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....           | 258 |
| Tabela 3.68. | Análise de variância do modelo ajustado para o parâmetro $L^*$ e para as coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                         | 259 |
| Tabela 3.69. | Valores obtidos para a força de ruptura dos experimentos da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                                                                                                        | 260 |
| Tabela 3.70. | Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....        | 261 |
| Tabela 3.71. | Comportamento térmico das formulações $F_0$ (chocolate ao leite), $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) e $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                            | 262 |
| Tabela 3.72. | Médias dos resultados obtidos do teste de aceitação dos produtos das formulações $F_0$ (chocolate ao leite), $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) e $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 265 |
| Tabela 3.73. | Resultados da análise instrumental de cor dos experimentos 1                                                                                                                                                                                                                                                                                        |     |

( $T_c=28^{\circ}\text{C}$  e  $t_c=5\text{min}$ ), 11 ( $T_c=29,5^{\circ}\text{C}$  e  $t_c=10\text{min}$ ) e 8 ( $T_c=27,4^{\circ}\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) da temperagem das formulações  $F_0$  (chocolate ao leite),  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) e  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu), respectivamente..... 268

## Índice de Figuras

|             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1. | Frutos do cupuaçu (MÜLLER <i>et al.</i> , 1995).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 9  |
| Figura 1.2. | Fluxograma do aproveitamento dos frutos do cupuaçuzeiro (VENTURIERI, 1993; NAZARÉ, 1996, LOPES, 2000).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 17 |
| Figura 1.3. | Fluxograma de obtenção do <i>liquor</i> de cacau (MINIFIE, 1985; MEURSING, 1994).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 18 |
| Figura 1.4. | Influência do conteúdo de gordura nos parâmetros de Casson de dois chocolates ao leite com 0,25% de lecitina. (1) Chocolate fino com 5,7% de partículas > 20 µm; (2) moderadamente refinado com 16% de partículas > 20 µm (CHEVALLEY, 1994).....                                                                                                                                                                | 27 |
| Figura 1.5. | Influência da temperatura nos parâmetros de Casson de dois chocolates ao leite. (1) 34% de gordura, sem lecitina; (2) 30% de gordura, 0,15% de lecitina (CHEVALLEY, 1994).....                                                                                                                                                                                                                                  | 28 |
| Figura 1.6. | Influência da temperatura nos parâmetros de Casson de dois chocolates amargos. (1) 34% de gordura, sem lecitina; (2) 30% de gordura, 0,15% de lecitina (CHEVALLEY, 1994).....                                                                                                                                                                                                                                   | 28 |
| Figura 1.7. | Redução da viscosidade de chocolate amargo pela adição de lecitina e pela adição de lípides ativos sintéticos. A viscosidade aparente foi determinada a uma taxa de cisalhamento de 15 <sup>-1</sup> à 50°C; viscosidade aparente inicial antes da adição: 19,5 Pa.s. (1) Lecitina de soja; (2) fosfolipídio YN; (3) diplamitato de sacarose; (4) poliricinoleato de poliglicerol (PGPR) (CHEVALLEY, 1994)..... | 30 |
| Figura 1.8. | Influência da lecitina de soja nos parâmetros de Casson de dois chocolates amargo. (1) 33,5% de gordura, 1,1% de umidade; (2) 39,5% de gordura, 0,8% de umidade (CHEVALLEY,                                                                                                                                                                                                                                     |    |

|              |                                                                                                                                                                                          |    |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
|              | 1994).....                                                                                                                                                                               | 32 |
| Figura 1.9.  | Curvas de cristalização de seis manteigas de cacau cristalizadas sob condições dinâmicas a 26,5°C (CHASERI & DIMICK, 1995b).....                                                         | 40 |
| Figura 1.10. | Fluxograma das etapas de processamento do chocolate.....                                                                                                                                 | 42 |
| Figura 1.11. | Seqüência de temperagem do chocolate ao leite (TALBOT, 1994).....                                                                                                                        | 47 |
| Figura 1.12. | Princípio básico da temperagem contínua (3-STU) (CEBULA <i>et al.</i> , 1991).....                                                                                                       | 59 |
| Figura 1.13. | Unidade de temperagem de 3 estágios (3-STU) (CEBULA <i>et al.</i> , 1991).....                                                                                                           | 59 |
| Figura 1.14. | Temperímetro (BERTINI, 1996).....                                                                                                                                                        | 61 |
| Figura 1.15. | Interpretação da curva de solidificação (BERTINI, 1996).....                                                                                                                             | 62 |
| Figura 1.16. | Variação das curvas de solidificação (BERTINI, 1996).....                                                                                                                                | 62 |
| Figura 1.17. | Curvas típicas obtidas pelo termímetro (TALBOLT, 1994).....                                                                                                                              | 63 |
| Figura 2.1.  | Fluxograma do processo de obtenção, fermentação e secagem das sementes de cupuaçu e de cacau.....                                                                                        | 84 |
| Figura 2.2.  | Esquema da caixa de fermentação T-60 (GRIMALDI, 1978).....                                                                                                                               | 85 |
| Figura 2.3.  | Fluxograma do processo de obtenção dos <i>nibs</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                                                                            | 87 |
| Figura 2.4.  | Fluxograma do processo de obtenção das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                                                              | 88 |
| Figura 2.5.  | Reograma de Casson segundo a OICC (1973).....                                                                                                                                            | 92 |
| Figura 2.6.  | Montagem do cilindro de aço inox para a prensagem das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau para a obtenção da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau, respectivamente..... | 94 |
| Figura 2.7.  | Perfil de temperatura durante o processo fermentativo das                                                                                                                                |    |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | sementes de cupuaçu e de cacau.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 98  |
| Figura 2.8.  | Sementes não fermentadas de cupuaçu (lado esquerdo) e de cacau (lado direito).....                                                                                                                                                                                                                                                            | 103 |
| Figura 2.9.  | Amêndoas de cupuaçu (lado esquerdo) e de cacau (lado direito).....                                                                                                                                                                                                                                                                            | 103 |
| Figura 2.10. | Cotilédones das sementes não fermentadas de cupuaçu (lado esquerdo) e de cacau (lado direito).....                                                                                                                                                                                                                                            | 105 |
| Figura 2.11. | Cotilédones das amêndoas de cupuaçu (lado esquerdo) e de cacau (lado direito).....                                                                                                                                                                                                                                                            | 105 |
| Figura 2.12. | Amêndoas de cupuaçu logo após sua passagem pelo moinho de facas.....                                                                                                                                                                                                                                                                          | 109 |
| Figura 2.13. | <i>Nibs</i> de cupuaçu.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 109 |
| Figura 2.14. | <i>Nibs</i> de cupuaçu torrados.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 113 |
| Figura 2.15. | Perfil de temperatura durante a torração dos <i>nibs</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                                                                                                                                                                                                                           | 115 |
| Figura 2.16  | Representação de sólidos de cor no CIELAB das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                                                                                                                                                                                                            | 125 |
| Figura 2.17. | Influência da temperatura na viscosidade plástica de Casson das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                                                                                                                                                                                          | 129 |
| Figura 2.18. | Influência da temperatura no limite de escoamento das amostras de <i>liquor</i> de cupuaçu e de cacau.....                                                                                                                                                                                                                                    | 130 |
| Figura 2.19. | Comportamento reológico das gorduras de cupuaçu e de cacau a 40°C.....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 137 |
| Figura 2.20. | Traçado cromatográfico dos triacilglicerois da gordura de cupuaçu.....                                                                                                                                                                                                                                                                        | 140 |
| Figura 3.1.  | Seqüência do processo de temperagem das formulações F <sub>0</sub> (chocolate ao leite), F <sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) e F <sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 163 |
| Figura 3.2.  | Mini-temperadeira TABLE TOP TEMPER (Gebr. Dedy                                                                                                                                                                                                                                                                                                |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |     |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | Gmbh).....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 165 |
| Figura 3.3.  | Visão geral da mini-temperadeira TABLE TOP TEMPER (Gebr. Dedy Gmbh) em operação.....                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 165 |
| Figura 3.4.  | Ficha do teste triangular.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 173 |
| Figura 3.5.  | Ficha de avaliação dos atributos dos produtos obtidos dos experimentos de temperagem das formulações $F_0$ (chocolate ao leite), $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) e $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 173 |
| Figura 3.6.  | Ficha utilizada para o teste de aceitação.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 174 |
| Figura 3.7.  | Curva força x tempo, obtida em texturômetro TA-XT2i.....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 176 |
| Figura 3.8.  | Superfícies de resposta e de contorno para o atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                                                                            | 193 |
| Figura 3.9.  | Superfícies de resposta e de contorno para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                                                                          | 199 |
| Figura 3.10. | Superfícies de resposta e de contorno para o parâmetro $L^*$ da análise de cor dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                                                                    | 209 |
| Figura 3.11. | Superfícies de resposta e de contorno para a coordenada cromática $a^*$ da análise de cor dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                                                         | 211 |
| Figura 3.12. | Superfícies de resposta e de contorno para a coordenada cromática $b^*$ da análise de cor dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                                                         | 211 |
| Figura 3.13. | Superfícies de resposta e de contorno para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação $F_0$ (chocolate ao leite).....                                                                                                                                                                                                                                     | 217 |
| Figura 3.14. | Superfícies de resposta e de contorno para o atributo <i>fat bloom</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....                                                                            | 227 |
| Figura 3.15. | Superfícies de resposta e de contorno para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu)..... | 235 |
| Figura 3.16. | Superfícies de resposta e de contorno para o atributo <i>fat bloom</i> dos produtos temperados da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu).....   | 251 |
| Figura 3.17. | Histograma das médias dos resultados obtidos do teste de aceitação dos produtos das formulações $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ .....                                                                                                   | 266 |
| Figura 3.18. | Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo cor dos produtos $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ .....                                                                                       | 267 |
| Figura 3.19. | Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo aroma dos produtos $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ .....                                                                                     | 269 |
| Figura 3.20. | Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo sabor dos produtos $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ .....                                                                                     | 270 |
| Figura 3.21. | Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo textura dos produtos $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ .....                                                                                   | 271 |
| Figura 3.22. | Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota da aceitação global dos produtos $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ .....                                                                                   | 272 |
| Figura 3.23. | Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota da atitude de compra dos produtos $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ .....                                                                                  | 273 |

|             |                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura A.1. | Histograma da distribuição do tamanho das partículas do <i>liquor</i> de cupuaçu LF1 (proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco..... | 287 |
| Figura A.2. | Curva de frequência acumulada do <i>liquor</i> de cupuaçu LF1 (proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco.....                        | 287 |
| Figura A.3. | Histograma da distribuição do tamanho das partículas do <i>liquor</i> de cupuaçu LF2 (proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco..... | 288 |
| Figura A.4. | Curva de frequência acumulada do <i>liquor</i> de cupuaçu LF2 (proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco.....                        | 288 |
| Figura A.5. | Histograma da distribuição do tamanho das partículas do <i>liquor</i> de cupuaçu LF3 (proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco..... | 289 |
| Figura A.6. | Curva de frequência acumulada do <i>liquor</i> de cupuaçu LF3 (proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco.....                        | 289 |
| Figura A.7. | Histograma da distribuição do tamanho das partículas do <i>liquor</i> de cacau LFC (proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau) desengordurado e seco.....     | 290 |
| Figura A.8. | Curva de frequência acumulada do <i>liquor</i> de cacau LFC (proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau) desengordurado e seco.....                            | 290 |
| Figura B.1. | Termograma obtido em DSC para o experimento 1 ( $T_c=28^{\circ}\text{C}$ e $t_c=5\text{min}$ ) da formulação $F_0$ (Chocolate ao leite) – 1ª repetição.....                         | 291 |
| Figura B.2. | Termograma obtido em DSC para o experimento 1 ( $T_c=28^{\circ}\text{C}$ e                                                                                                          |     |

|              |                                                                                                                                                                                                                                                      |     |
|--------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
|              | $t_c=5\text{min}$ ) da formulação $F_0$ (Chocolate ao leite) – 2º repetição.....                                                                                                                                                                     | 291 |
| Figura B.3.  | Termograma obtido em DSC para o experimento 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$ e $t_c=7,5\text{min}$ ) da formulação $F_0$ (Chocolate ao leite) – 1º repetição.....                                                                                        | 292 |
| Figura B.4.  | Termograma obtido em DSC para o experimento 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$ e $t_c=7,5\text{min}$ ) da formulação $F_0$ (Chocolate ao leite) – 2º repetição.....                                                                                        | 292 |
| Figura B.5.  | Termograma obtido em DSC para o experimento 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$ e $t_c=10\text{min}$ ) da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) – 1º repetição.....    | 293 |
| Figura B.6.  | Termograma obtido em DSC para o experimento 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$ e $t_c=10\text{min}$ ) da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) – 2º repetição.....    | 293 |
| Figura B.7.  | Termograma obtido em DSC para o experimento 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$ e $t_c=4\text{min}$ ) da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) – 1º repetição.....        | 294 |
| Figura B.8.  | Termograma obtido em DSC para o experimento 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$ e $t_c=4\text{min}$ ) da formulação $F_{50}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) – 2º repetição.....        | 294 |
| Figura B.9.  | Termograma obtido em DSC para o experimento 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$ e $t_c=1,75\text{min}$ ) da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) – 1º repetição..... | 295 |
| Figura B.10. | Termograma obtido em DSC para o experimento 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$ e $t_c=1,75\text{min}$ ) da formulação $F_{100}$ (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de <i>liquor</i> e gordura de cupuaçu) – 2º repetição..... | 295 |

- Figura B.11. Termograma obtido em DSC para o experimento 2 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 1º repetição..... 296
- Figura B.12. Termograma obtido em DSC para o experimento 2 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 2º repetição..... 296

## Resumo

Visando contribuir com a manutenção de um ecossistema mais equilibrado, pesquisadores têm se empenhado em propor alternativas para subprodutos e descartes industriais. Aliado a este enfoque, o aproveitamento de uma rica fonte de nutrientes justifica as recentes pesquisas com as sementes de cupuaçu. O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) é um fruto pertencente à região amazônica cuja comercialização, na forma de polpa congelada, encontra-se em plena expansão em todo território nacional, e em fase de introdução no mercado exterior. Suas sementes que correspondem a 20% do fruto e com incipiente aproveitamento industrial, vêm despertando o interesse de pesquisadores cientes do grande potencial econômico desta matéria-prima com características sensoriais semelhantes à de outro *Theobroma*, o cacau. Recentes pesquisas indicam que sob processo semelhante ao utilizado para as sementes de cacau é possível obter *liquor* de cupuaçu, que pode ser utilizado na elaboração de bolo, sorvete, biscoito e como ingrediente de produtos análogos ao chocolate e achocolatados. Este trabalho teve dois objetivos principais: estudar o processo de industrialização e caracterização física, química e físico-química do *liquor* de cupuaçu e de cacau; e estudar o processamento tecnológico do chocolate e de produtos análogos elaborados com *liquor* e gordura de cupuaçu, otimizando o processo de temperagem. Para a obtenção do *liquor* de cupuaçu e de cacau, as sementes de ambas as espécies foram fermentadas, secas e descascadas em moinho para a obtenção de seus *nibs*, os quais foram torrados, moídos e refinados, obtendo-se três amostras de *liquor* de cupuaçu (LF1, LF2 e LF3), pertencentes a diferentes lotes de sementes fermentadas de cupuaçu, e uma amostra de *liquor* de cacau (LFC). Determinou-se a composição centesimal de cada amostra e, as análises de pH, acidez titulável e cor. Seu estudo reológico foi realizado em reômetro programável BROOKFIELD, assim como o de suas respectivas gorduras. Concluída esta etapa, foram elaboradas três formulações: uma de chocolate ao leite (Formulação F<sub>0</sub>), e duas de produtos análogos com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu (Formulação F<sub>50</sub>) e outra com 100% de substituição

desses mesmos ingredientes (Formulação F<sub>100</sub>). Para a avaliação do processo de temperagem, realizou-se um planejamento experimental fatorial completo 2<sup>2</sup>, com dois níveis (-1, +1), três pontos centrais e dois pontos axiais (- $\alpha$ , + $\alpha$ ), resultando em 11 experimentos, tendo como variáveis independentes a temperatura de cristalização e o tempo de cristalização, cujos máximos e mínimos (- $\alpha$ , + $\alpha$ ) foram de 27,4 a 31,6°C para as três formulações e de 4 a 11 min para F<sub>0</sub>, de 3 a 10 min para F<sub>50</sub> e de 0,7 a 2,9 min para F<sub>100</sub>. As variáveis dependentes foram: descrição por provadores selecionados dos atributos sensoriais brilho, *fat bloom*, presença de bolhas e moldação; análises instrumentais de cor (L\*, a\* e b\*) e força de ruptura (textura). A análise dos resultados foi feita através da Metodologia de Superfície de Resposta. As amostras de *liquor* de cupuaçu se apresentaram como rica fonte de gordura vegetal (63,93 a 66,51%), superior a do *liquor* de cacau (54,20%). Entretanto, seu teor de proteínas (8,95 a 10,31%) e de carboidratos (14,07 a 15,54%) ficaram abaixo deste (12,27% de proteínas e 24,23% de carboidratos). Os *liquor* de cupuaçu e de cacau sofreram significativa redução de viscosidade plástica de Casson com o aumento de temperatura de 35 para 50°C, apresentado o *liquor* de cacau viscosidade inferior ao do *liquor* de cupuaçu em todas as temperaturas. O tamanho das partículas e o teor de fosfolipídios presentes nas gorduras de cada *liquor* influenciaram significativamente nos valores de viscosidade plástica das amostras, onde para tamanho de partículas maiores, e baixo teor de fosfolipídios, a viscosidade plástica foi maior. Tanto a gordura de cupuaçu como a manteiga de cacau apresentou a 40°C comportamento newtoniano. Os efeitos da variação de tempo e temperatura de cristalização do processo de temperagem da formulação F<sub>0</sub> não foram significativos nos atributos brilho e moldação, não gerando modelos preditivos. Para os atributos *fat bloom* e presença de bolhas e para as análises de cor e força de ruptura seus modelos mostraram boa capacidade preditiva, onde para o atributo *fat bloom* os experimentos 1 (T<sub>c</sub>=28°C e t<sub>c</sub>=5min) e 11 (T<sub>c</sub>=29,5°C e t<sub>c</sub>=11min) ficaram dentro da região ótima, ou seja, aquela onde há produtos sem *fat bloom*. Os experimentos dos pontos centrais 5, 6 e 7 (T<sub>c</sub>=29,5°C e t<sub>c</sub>=7,5min) ficaram na fronteira desta. Para a formulação F<sub>50</sub> os modelos para os atributos *fat*

*bloom* e moldação mostraram capacidade preditiva, estando o experimento 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=10\text{min}$ ) dentro da região ótima para o atributo *fat bloom*. Somente o modelo do atributo *fat bloom* da formulação  $F_{100}$  apresentou-se preditivo, no entanto nenhum experimento do processo de temperagem desta formulação atingiu a região ótima, sendo o experimento 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) o mais próximo desta.

## Abstract

With the aim of contributing to the maintenance of a more balanced ecosystem, researchers have put their efforts into proposing alternatives for the use of industrial by-products and waste. Combining to this focus the use of a rich source of nutrients justifies recent research on the cupuassu seed. Cupuassu (*Theobroma grandiflorum* Schum) is a fruit that belongs to the Amazon region, the commercialization of which, in the form of frozen pulp, is in full expansion throughout the Brazilian territory, and in an introductory phase in the external market. Its seeds that correspond to 20% of the fruit and have incipient industrial use, are calling the attention of researchers aware of the great economic potential of this raw-material with sensory characteristics similar to those of another *Theobroma*, cocoa. Recent research indicates that when submitted to processing similar to that used for cocoa seeds it is possible to obtain cupuassu *liquor*, that can be used to produce cakes, ice-creams, cookies and as an ingredient in products analogue to chocolate (chocolate analogues) and chocolate beverages. This work had two main objectives: to study the production process and characterize physically, chemically and physical-chemically cupuassu and cocoa *liquors*; and to study the technological processing of chocolate and chocolate analogue products prepared with cupuassu *liquor* and fat, optimizing the tempering process. For the production of cupuassu and cocoa *liquors*, the seeds of both species were fermented, dried and hulled in a mill to obtain their *nibs*, which were toasted, ground and refined, yielding three samples of cupuassu *liquor* (LF1, LF2 and LF3), belonging to different lots of fermented cupuassu seeds, and one sample of cocoa *liquor* (LFC). The centesimal composition of each sample was determined and analyses of pH, titrable acidity and color were carried out. Rheological essays of the *liquors* and respective fats were made using a programmable BROOKFIELD rheometer. When this step was concluded, three formulations were elaborated: one of milk chocolate (Formulation F<sub>0</sub>), and two of analogue products (one with 50% substitution with cupuassu *liquor* and fat (Formulation F<sub>50</sub>) and another with 100% substitution with these same ingredients (Formulation F<sub>100</sub>)). To evaluate the

tempering process, a  $2^2$  complete factorial experimental design was used, of two levels (-1, +1), three central points (0) and two axial points ( $-\alpha$ ,  $+\alpha$ ), resulting in 11 experiments, having as independent variables: crystallization time and temperature, the maximum and minimum values ( $-\alpha$ ,  $+\alpha$ ) of which were of 27.4 to 31.6°C for the three formulations and of 4 to 11 min for  $F_0$ , of 3 to 10 min for  $F_{50}$  and of 0.7 to 2.9 min for  $F_{100}$ . The dependent values were: description by selected panelists of the sensory attributes shine and fat bloom, presence of bubbles and molding; instrumental analyses of color ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ) and rupture force (texture). The analysis of the results was carried out using the Response Surface Methodology. The samples of cupuassu *liquor* appeared as a rich source of vegetable fat (63.93 to 66.51%), superior to cocoa *liquor* (54.20%). However, its contents of protein (8.95 to 10.31%) and of carbohydrates (14.07 to 15.54%) were below those for cocoa (12.27% protein and 24.23% carbohydrates). Cupuassu and cocoa *liquors* had their Casson plastic viscosities significantly reduced, around 60 to 83%, when temperature was increased from 35 to 50°C, having cocoa *liquor* lower viscosities than cupuassu *liquor* at all temperatures. The particle size of the samples of cupuassu and cocoa *liquors* and the quantities of phospholipids present in their fats significantly influenced their values of plastic viscosity, where for greater particle sizes and lower phospholipid contents, plastic viscosity was higher. Both cupuassu fat and cocoa butter presented Newtonian behavior at 40°C. The effects of the variation of crystallization time and temperature of the tempering process of Formulation  $F_0$  were not significant for the attributes shine and molding, not generating predictive models. For the attributes fat bloom and presence of bubbles, and for the analyses of color and rupture force, the models showed a good predictive capacity, where for the attribute fat bloom, experiments 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  and  $t_c=5\text{min}$ ) and 11 ( $T_c=29.5^\circ\text{C}$  and  $t_c=11\text{min}$ ) were within the optimal region, that is, where there are products without fat bloom. The experiments of the central points 5, 6 and 7 ( $T_c=29.5^\circ\text{C}$  and  $t_c=7.5\text{min}$ ) were on the border of this region. For Formulation  $F_{50}$ , the models for the attributes fat bloom and molding were predictive, being experiment 11 ( $T_c=29.5^\circ\text{C}$  and  $t_c=10\text{min}$ ) within the optimal region for fat bloom. For Formulation  $F_{100}$ , the model for fat bloom was the only one that

was predictive, however none of the experiments of the tempering process carried out with this formulation reached the optimal region, being experiment 8 ( $T_c=27.4^{\circ}\text{C}$  and  $t_c=1.75\text{min}$ ) the closest to it.

## Introdução

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) é uma das mais importantes espécies do gênero *Theobroma*. Seu cultivo tem significativa importância econômica e social para a região amazônica, despontando hoje como a mais promissora cultura para exploração comercial, tanto nacional como internacional, com grande potencial de aproveitamento pela indústria alimentícia (EMBRAPA, 1999).

A produção de cupuaçu apresentou crescimento nos últimos cinco anos, saltando de 10 milhões de frutos colhidos em 1998 para 21,4 milhões em 2000, no Pará, seu maior produtor (NA ROTA, 2001).

Do fruto somente a sua polpa é aproveitada, entretanto, como o cupuaçu é do mesmo gênero do cacau (*Theobroma*), muitas pesquisas vêm sendo realizadas com o objetivo de aproveitar suas sementes, que correspondem a 20% do fruto, na elaboração de produtos análogos aos oriundos das sementes de cacau, seguindo-se o mesmo processamento tecnológico deste. Dentre os produtos tem-se o *liquor* de cupuaçu, que é semelhante ao *liquor* de cacau.

O *liquor* de cacau é um sistema disperso natural que consiste em partículas de cacau e manteiga de cacau, sendo produzido como ingrediente para a formulação do chocolate ou para a extração da manteiga de cacau (FANG *et al.*, 1995).

Assim como o chocolate, o *liquor* de cacau possui comportamento não-newtoniano, utilizando o modelo de Casson para a medição de suas propriedades reológicas, onde a OICC (1973) o adotou como modelo oficial para a medição da viscosidade plástica e limite de escoamento do chocolate.

A viscosidade plástica de Casson é a quantidade de força a ser aplicada para manter constante o fluxo de massa fluida e o limite de escoamento é a quantidade de força que deve ser aplicada para a massa fluida começar a escoar (CHEVALLEY, 1974; TANERI, 1976; CHEVALLEY, 1994).

Há vários fatores que afetam a viscosidade do *liquor* de cacau. O aumento do teor de umidade e do tamanho das partículas eleva a viscosidade do *liquor*, enquanto que o aumento do teor de gordura e da temperatura ocasiona redução de viscosidade (CHEVALLEY, 1974; TANERI, 1976; CHEVALLEY, 1994; GILABERT-ESCRIVÁ, 1997).

O *liquor* de cupuaçu também é um fluido não-newtoniano e, assim como o *liquor* de cacau, há necessidade de se conhecer seu exato comportamento reológico para sua possível aplicação industrial na elaboração de diversos produtos alimentícios.

A manteiga de cacau, extraída do *liquor* de cacau, é um dos mais significativos ingredientes presentes na fabricação de chocolate, chegando a contribuir com cerca de 30 a 40% no peso do produto final. No chocolate ela representa a fase contínua, responsável pela dispersão das partículas sólidas de cacau, açúcar e leite (GUNNERDAL, 1994; CHAISERI & DIMICK, 1995a; LIPP & ANKLAM, 1998).

A manteiga de cacau é composta basicamente por triglicerídios (aproximadamente 98%), restando diglicerídios, monoglicerídios e ácidos graxos livres, além de componentes minoritários solubilizados, tais como esteróis e tocoferóis. Três principais ácidos graxos são encontrados na composição da manteiga de cacau: ácido palmítico (C16:0), ácido esteárico (C18:0) e ácido oléico (C18:1). Praticamente todo o ácido oléico encontra-se esterificado na posição central da molécula de glicerol, enquanto os ácidos saturados são mais encontrados na posição 1 e 3. Esta particularidade faz com que a manteiga de

cacau apresente três principais triglicerídios simétricos, POP (1,3-Dipalmito-2-óleo triacilglicerol), POS (1-Palmito-2-óleo-3-estearo triacilglicerol) e SOS (1,3-Diestearo-2-óleo triacilglicerol), os quais, somados, podem representar mais de 75% da composição em triglicerídios da gordura, ou cerca de 90% do total dos triglicerídios monoinsaturados. Em razão dessa simetria, a manteiga de cacau cristaliza-se em uma alta ordem estrutural, responsável pelas suas propriedades únicas de fusão e cristalização bem definidas, similares aos de uma substância pura (NESARETNAN, 1992; ROSSEL, 1992; GUNNERDAL, 1994; LIPP & ANKLAM, 1998 citado por LUCAS, 2001).

O polimorfismo da manteiga de cacau é do tipo monotrópico, ou seja, existe uma forma cristalina mais estável com ponto de fusão mais alto e calor latente mais baixo e, ao se transformar na forma mais estável, o processo é irreversível (TALBOT, 1994). Segundo HARTMAN & ESTEVES (1982), o polimorfismo resulta nos diferentes modos possíveis de empacotamento molecular.

Há na literatura diversas nomenclaturas para a manteiga de cacau, sendo que uma das mais adotadas é a de WILLE & LUTTON (1966), onde esta se apresenta com seis formas cristalinas denominadas de formas I, II, III, IV, V e VI. Segundo TALBOT (1994), a forma V é a obtida em um chocolate bem temperado. Em armazenagem prolongada, ela pode se transformar bem lentamente para a forma VI, mudança que freqüentemente é acompanhada pela formação de *fat bloom* (aparência esbranquiçada no chocolate que resulta da recristalização da gordura fundida durante as oscilações de temperatura de estocagem).

Para a gordura de cupuaçu, de acordo com LUCAS (2001), esta apresenta comportamento polimórfico aproximado ao da manteiga de cacau. Segundo o referido autor, para ambos os casos, os maiores valores obtidos de entalpia de fusão foram para as Formas IV e V, revelando a preferência de cristalização das duas gorduras nessas formas cristalinas quando submetidas ao mesmo processo de temperagem. A faixa de fusão para a gordura de cupuaçu,

realizada em calorímetro de varredura diferencial (DSC), foi de 26,8 a 31,7°C, valores esses muito próximos aos da manteiga de cacau para a fusão da Forma V (24,4°C a 31,5°C).

SILVA (1988) verificou que é possível substituir até 10% de manteiga de cacau por gordura de cupuaçu, sem afetar significativamente o padrão do ponto de fusão estabelecido para a manteiga de cacau. LUCCAS (2001), estudando o fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate, concluiu que a gordura de cupuaçu modificada pode ser utilizada com sucesso na fabricação de chocolate, contribuindo com até 5% com base no peso total da formulação, sem alterar as características físicas e sensoriais do produto.

O chocolate é uma dispersão de finas partículas de pó de cacau e açúcar em uma fase contínua da manteiga de cacau, podendo conter outras substâncias permitidas pela legislação, como aromatizantes e estabilizantes. No chocolate ao leite e chocolate branco há também sólidos de leite, sendo que este último não apresenta em sua formulação pó de cacau. Ele é um produto de alto valor calórico, onde em 100 gramas de chocolate há aproximadamente 550 quilocalorias. Seu processo de fabricação consiste em diversas etapas, que são: mistura, refino, conchagem, temperagem, moldagem, resfriamento, desmoldagem e embalagem. Destas, a temperagem ou pré-cristalização influencia diretamente nas propriedades sensoriais do chocolate. (LOISEL *et al.*, 1997a; VISSOTTO *et al.*, 1999; KATTENBERG, 2000).

O processo de temperagem faz com que a gordura presente no produto seja submetida a tratamentos térmicos e mecânicos para se cristalizar na forma cristalina mais estável. Seu objetivo é permitir uma rápida solidificação da massa de chocolate no molde, maior contração de volume, consistência final ideal (*snap*), brilho e evitar a formação do *fat bloom* durante armazenagem. Os parâmetros do processo são: tempo de cristalização, devendo este ser o suficiente para que

ocorra a formação e a multiplicação dos cristais estáveis; velocidade de agitação, para proporcionar boa transferência de calor e massa no produto, permitindo a distribuição dos cristais na massa; e temperatura, que afeta o subresfriamento que é a força propulsora de cristalização (HARTEL, 1991; NELSON, 1994; TALBOT, 1994; LAWLER & DIMICK, 1998).

Um dos fatores que mais afeta o processo de temperagem é a formulação do produto. No caso do chocolate ao leite (que apresenta gordura de leite em sua formulação) seu regime de temperagem requer temperaturas mais baixas e tempos mais longos para se obter produto bem temperado, diferentemente do chocolate amargo que não apresenta gordura de leite em sua formulação. Isto ocorre devido à influência das moléculas de gordura do leite na formação da grade do cristal da manteiga de cacau. A incorporação de triacilgliceróis da gordura de leite dentro da estrutura da manteiga de cacau retarda o futuro crescimento desses cristais. O exato efeito da composição nos processos de cristalização não é claramente entendido devido à complexidade das interações que ocorrem (HARTEL, 1991).

## Objetivos

- Estudar o processo de industrialização do *liquor* de cupuaçu e o de cacau.
- Fazer a caracterização física, química e físico-química do *liquor* de cupuaçu e o de cacau.
- Estudar e otimizar o processo de temperagem do chocolate ao leite e de produtos análogos elaborados com *liquor* e gordura de cupuaçu.
- Fazer a avaliação sensorial do chocolate ao leite e de produtos análogos elaborados com *liquor* e gordura de cupuaçu.

## CAPÍTULO I - Revisão Bibliográfica

### 1. CUPUAÇU

O cupuaçu pertence à família *Sterculiaceae*, cuja denominação binominal é *Theobroma grandiflorum* Schum, sendo um dos mais importantes frutos tipicamente amazônico (CALZAVARA *et al.*, 1984). É encontrado espontaneamente nas matas de terra firme e várzea alta, na parte sul e leste do Pará, abrangendo as áreas do médio Tapajós, Rios Xingu e Guamá, alcançando o nordeste do Maranhão, principalmente nos Rios Turiaçu e Pindaré. Está distribuído por toda a Bacia Amazônica e parte do Maranhão e, ocasionalmente, em outros países como Colômbia, Venezuela, Equador e a Costa Rica (SOUZA *et al.*, 1996).

Com relação aos grupos, tem-se: cupuaçu redondo cujo fruto possui extremidades arredondadas, sendo a mais comum na região; cupuaçu mamorana, no qual os frutos apresentam-se com a extremidade comprida parecendo um bico ou ponta, produzindo frutos de maior tamanho e peso, o qual vegeta espontaneamente ao longo dos rios; e cupuaçu mamau, sendo a variedade encontrada na localidade Pacajás, município de Cametá, no rio Tocantins-PA, cuja característica do fruto é não possuir sementes (CALZAVARA, 1970, mencionado por CALZAVARA *et al.*, 1984).

Em cultivos racionais, o porte do cupuaçuzeiro varia de 4 a 8 m de altura, atingindo até 18 m. O fruto é do tipo drupáceo (que tem bagas), de forma alongada e com as extremidades arredondadas. A casca (epicarpo) é rígida e lenhosa, recoberta por uma camada com aspecto de pó ferrugíneo que, quando raspada, expõe a epiderme (pele) de coloração verde. A casca também é constituída do meso-endocarpo (camada mais interior), de cor branco-amarelada, com aproximadamente 7 mm de espessura. O comprimento dos frutos varia de 12

a 25 cm, com diâmetro de cerca de 12 cm e peso, segundo o tipo, pode alcançar até 4 Kg (MÜLLER *et al.*, 1995).

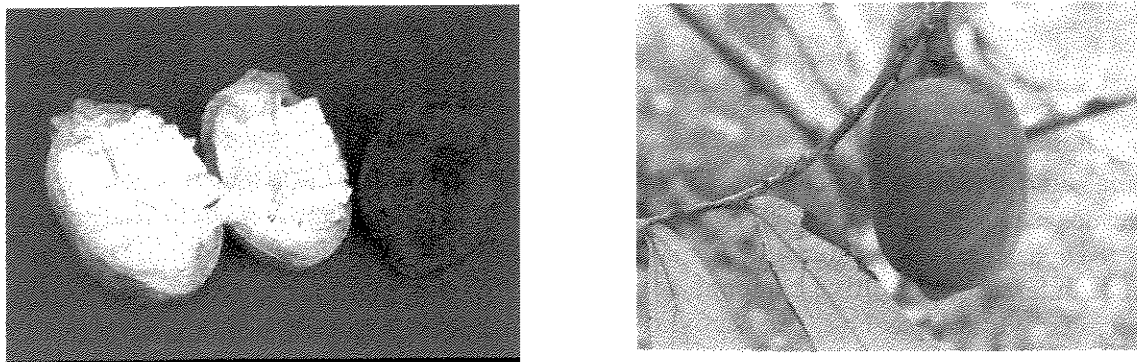
As sementes, cujo número médio é de aproximadamente 32 unidades (podendo variar de: 9 a 62 unidades) por fruto, são superpostas em cinco fileiras verticais e envolvidas por uma polpa branco-amarelada, delicadamente fibrosa, de sabor acidulado e de cheiro agradável. Essas sementes têm dimensões variáveis, com médias de 2,6 cm de comprimento, 2,3 cm de largura e 0,9 cm de espessura (MÜLLER *et al.*, 1995).

Recomenda-se seu cultivo em regiões que são de clima subúmido ao superúmido, com chuvas anuais superiores a 1800 mm, bem distribuídas, e com temperatura média anual superior a 22°C. Prefere solos de terra firme, profundos, com boa retenção d'água e boa fertilidade, aceitando, entretanto, os de baixa fertilidade, porém com boa constituição física. Também se tem produzido bem em solos de várzea alta, desde que não sujeito a cheias prolongadas, o que lhe é prejudicial (CALZAVARA, 1987).

A floração ocorre de junho a setembro e a frutificação de novembro a maio, com pico de janeiro a março. A produção inicia no quarto ano, com média de 8 frutos/planta, cresce no quinto ano, para 10 a 15 frutos/planta, e tende a se estabilizar, do sétimo ao oitavo ano, com 25 a 40 frutos/planta (SOUZA *et al.*, 1996). Os frutos estão no ponto de colheita aproximadamente aos 4 e 4,5 meses após floração. A colheita é feita, normalmente, recolhendo-se os frutos que caem espontaneamente maduros. A maturação do fruto é facilmente reconhecível pelo cheiro agradável e característico que exala (CALZAVARA, 1987).

O maior valor da espécie está no fruto, cujo endocarpo carnosos (polpa comestível) é espesso, possuindo sabor ácido bastante agradável, cheiro intenso e característico, sendo consumido na forma de sucos, sorvetes, licores, néctar e doces em geral. Provavelmente devido as suas características especiais de sabor

e aroma, seu consumo, antes restrito a região norte, vem conquistando novos mercados no Brasil e exterior. A Figura 1.1 mostra o fruto do cupuaçu (CALZAVARA, 1987; VENTURIERE, 1993).



**Figura 1.1.** Fruto do cupuaçu (MÜLLER *et al.*, 1995).

Seu beneficiamento consiste na retirada da polpa que envolve as sementes, podendo esta tarefa ser feita manualmente, com auxílio de tesoura, operação geralmente realizada nas indústrias caseiras e sorveterias; e de modo mecanizado, onde o início do processamento é manual, com quebra da casca e retirada da polpa mais as sementes, sendo posteriormente colocadas em máquina despulpadeira apropriada (CALZAVARA, 1987).

O método industrial hoje mais utilizado para a conservação da polpa é o congelamento. A conservação da polpa também pode ser obtida através de outros métodos, dentre os quais destacam-se o calor e o abaixamento da atividade de água. A conservação por tratamento térmico (pasteurização) vem sendo estudada no Departamento de Engenharia Química – DEQ, da Universidade Federal do Pará – UFPA, objetivando a otimização dos parâmetros do processo e a determinação da vida-de-prateleira do produto. Polpas de cupuaçu conservadas por abaixamento da atividade de água têm sido desenvolvidas através de secagem em *spray drier* e liofilização, tanto no DEQ da UFPA, quanto na EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) – CAPTU (Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido) (RIBEIRO, 1997).

Segundo RODRIGUES & SANTANA (1997), a Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu – Pará (CAMTA) exportou em 1996 (Safrá 1995/1996) 24 t de polpa de cupuaçu para São Paulo, 18 t para Brasília e 9 t para São Luís. Várias outras cidades brasileiras como Curitiba, Goiânia, Recife, Salvador, Fortaleza, Campo Grande, Rio de Janeiro, Palmas e Imperatriz vêm mantendo contrato comercial com os estados produtores.

Com relação ao mercado internacional, há registros de exportação de 7,3 t de polpa de cupuaçu em 1991 para Cultura Survival, que a utilizou na composição do sorvete denominado *Rainforest Crunch*, com castanha-do-Brasil proveniente dos seringueiros do Acre (HOMMA, 1996). Assim como a exportação através da CAMTA de 4 t de polpa para os Estados Unidos (VENTURIERI, 1993).

De fato, a produção de cupuaçu apresentou crescimento nos últimos cinco anos, saltando de 10 milhões de frutos colhidos em 1998 para 21,4 milhões em 2000, no Estado do Pará que é seu maior produtor (NA ROTA, 2001).

Além das características intrínsecas da fruta, um outro fator que vem propiciando o interesse de outros países pelo cupuaçu, é o atual modismo por consumo de produtos proveniente de regiões exóticas do mundo, principalmente a região amazônica. O Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA) tem recebido pedidos de consulta por parte de empresas dos Estados Unidos, Inglaterra, Japão e Suécia, interessadas em adquirir grandes quantidades de polpa, com vistas à sua industrialização para seus respectivos mercados. A França, através do seu órgão de cooperação técnica, tem em curso um projeto de estudos tecnológicos para processamento de frutos amazônicos direcionado para as preferências dos consumidores europeus. Entre as frutas a serem estudadas está o cupuaçu (VENTURIERI, 1993).

Atualmente, a comercialização da polpa está apoiada principalmente na produção proveniente do extrativismo e semi-extrativismo. Entretanto, tem-se

desenvolvido seu cultivo racional, onde são encontradas culturas de cupuaçu por toda a bacia amazônica e norte do Maranhão, chegando a atingir o Estado de São Paulo, encontrando-se também alguns indivíduos no Estado do Rio de Janeiro. Dentre os maiores produtores temos os estados do Pará, Amazonas, Acre e Rondônia (CALZAVARA *et al.*, 1984; VENTURIERI, 1993; RODRIGUES, 1996).

Além da exigência da demanda, um outro fator para incentivar o cultivo racional de cupuaçu é que este auxiliaria na preservação da floresta nas áreas desmatadas e também, na forma de cultivo sustentável, propiciando a sobrevivência dos nativos da região com a possibilidade de fonte atrativa de renda.

Embora a industrialização dessa fruta esteja atualmente baseada no beneficiamento da polpa, sabemos que um grande potencial de aproveitamento reside em suas sementes. Devido o cupuaçu ser do mesmo gênero do cacau (*Theobroma*), tem despertado interesse no aproveitamento de suas sementes para o desenvolvimento de produtos análogos ao chocolate e produtos achocolatados. Sabe-se que a partir de suas sementes fermentadas e secas, pode-se produzir o *liquor* de cupuaçu com características físicas, químicas, nutricionais e sensoriais semelhantes ao *liquor* de cacau. Além disso, a gordura extraída das sementes de cupuaçu pode ter inúmeras aplicações nas áreas alimentícia, farmacêutica e química.

As Tabelas 1.1, 1.2, 1.3 e 1.4 mostram o rendimento do fruto de cupuaçu, as análises físico-químicas comparativas de sementes e amêndoas de cupuaçu e de cacau, a análise comparativa da composição de ácidos graxos das gorduras das sementes de cupuaçu e de cacau e algumas características químicas e físicas das gorduras das sementes de cupuaçu e de cacau, respectivamente.

**Tabela 1.1.** Rendimento do fruto de cupuaçu.

|                |     |
|----------------|-----|
| <b>Polpa</b>   | 35% |
| <b>Casca</b>   | 45% |
| <b>Semente</b> | 20% |

Fonte: NAZARÉ *et al.*, 1990.

**Tabela 1.2.** Composição físico-química das sementes e amêndoas de cupuaçu e de cacau.

| <b>Compostos</b>    | <b>Cupuaçu (%)</b> |                  | <b>Cacau (%)</b> |                  |
|---------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|
|                     | <b>Semente*</b>    | <b>Amêndoa**</b> | <b>Semente*</b>  | <b>Amêndoa**</b> |
| Umidade             | 5,87               | 5,35             | 6,92             | 6,07             |
| Proteína            | 9,82               | 9,80             | 13,45            | 11,49            |
| Lipídios            | 60,25              | 63,13            | 51,82            | 53,59            |
| Fibras              | 4,12               | 3,31             | 6,22             | 4,77             |
| Cinzas              | 2,35               | 2,32             | 2,12             | 2,05             |
| Outros compostos*** | 17,59              | 16,09            | 19,47            | 22,03            |
| Energia (kcal/100g) | 651,89             | 671,73           | 598,06           | 616,39           |

\*Sementes secas não fermentadas.

\*\*Amêndoas (sementes fermentadas e secas).

\*\*\*Calculado por diferença e representa compostos como carboidratos, ácidos, taninos, alcalóides, etc.

Fonte: LOPES (2000).

**Tabela 1.3.** Composição de ácidos graxos das sementes de cupuaçu e de cacau.

| <b>Ácidos Graxos</b> | <b>Cupuaçu</b> | <b>Cacau</b> |
|----------------------|----------------|--------------|
| Mirístico (C14:0)    | Traços         | Traços       |
| Palmitico (C16:0)    | 11,5           | 28,1         |
| Estearico (C18:0)    | 31,8           | 33,4         |
| Oléico (C18:1)       | 40,3           | 35,6         |
| Linoléico (C18:2)    | 5,6            | 2,6          |
| Araquídico           | 9,8            | 0,2          |
| Linolênico (C18:3)   | 1,0            | 0,0          |

Fonte: BERBERT (1981).

**Tabela 1.4.** Algumas características químicas e físicas das gorduras das sementes de cupuaçu e de cacau.

| <b>Características</b>  | <b>Cupuaçu</b> | <b>Cacau</b> |
|-------------------------|----------------|--------------|
| Ponto de fusão          | 32,0           | 32,0         |
| Índice de iodo          | 46,8           | 35,1         |
| Teor de gordura (%)     | 60,5           | 56,0         |
| Resistência à fusão     |                |              |
| % amostra sólida a 22°C | 72,0           | 76,5         |
| % amostra sólida a 26°C | 19,8           | 24,0         |

Fonte: BERBERT (1981).

ARAGÃO (1992) estudou as mudanças físicas e químicas das sementes de cupuaçu durante o processo fermentativo. As sementes foram fermentadas durante sete dias com revolvimentos diários, utilizando caixa de madeira (40cmx40cmx60cm). Avaliações no período fermentativo mostraram que, a temperatura máxima de 40°C foi atingida no segundo dia, decrescendo e estabilizando até o final. Mudanças de coloração interna e externa da testa e cotilédones, perda de rigidez dos cotilédones e redução do resíduo de polpa foram as principais alterações visíveis durante a fermentação. Após a fermentação, as amêndoas foram torradas a 150°C por 30 minutos, e foi observado que os cotilédones apresentaram sabor e cor característicos de amêndoas de cacau torradas. As análises químicas dos cotilédones fermentado e torrado apresentaram a seguinte composição: 2,43% de umidade, 56,2% de gordura, 4,22% de fibras, 2,18% de cinzas, 10,56% de proteínas, 24,19% de carboidratos e 640,73 Kcal de energia.

VASCONCELOS (1999) estudou as transformações físico-químicas ocorridas durante a fermentação das sementes de cupuaçu, com o objetivo de avaliar as condições do processo fermentativo para o desenvolvimento de matéria prima destinada à elaboração de produtos análogos ao chocolate. O autor utilizou uma caixa de madeira, denominada T60, com dimensões de 190cm x 120cm x 60cm de altura e espaço entre as tábuas de fundo de 0,2 cm para escoamento dos líquidos gerados durante o processo fermentativo, construída de acordo com

GRIMALDI (1978). A fermentação durou 7 dias, com revolvimentos no 2º, 4º e 6º dias. Após 3 dias a massa atingiu temperatura máxima de 48°C, reduzindo para 43 e 45°C e mantendo-se constante até o término do processo. O autor concluiu que a metodologia utilizada na fermentação das sementes de cupuaçu mostrou-se adequada para a obtenção de matéria prima destinada a elaboração de produtos similares ao chocolate.

QUEIROZ (1999) estudou a etapa de torração para as amêndoas de cupuaçu com o objetivo de determinar, através de análise sensorial, as melhores condições para o desenvolvimento de sabor, avaliando a possibilidade de utilização dessas como matéria-prima na elaboração de produtos similares aos chocolates, coberturas e congêneres, aproveitando um material que vem sendo subutilizado. A autora concluiu que os resultados obtidos indicaram que o cupuaçu é uma matéria-prima com características peculiares de sabor, que podem contribuir na obtenção de produtos análogos aos achocolatados, diferenciados e de boa qualidade em misturas com o cacau.

SILVA (1988) verificou que é possível substituir até 10% de manteiga de cacau por gordura de cupuaçu, sem afetar significativamente o padrão do ponto de fusão estabelecido para a manteiga de cacau.

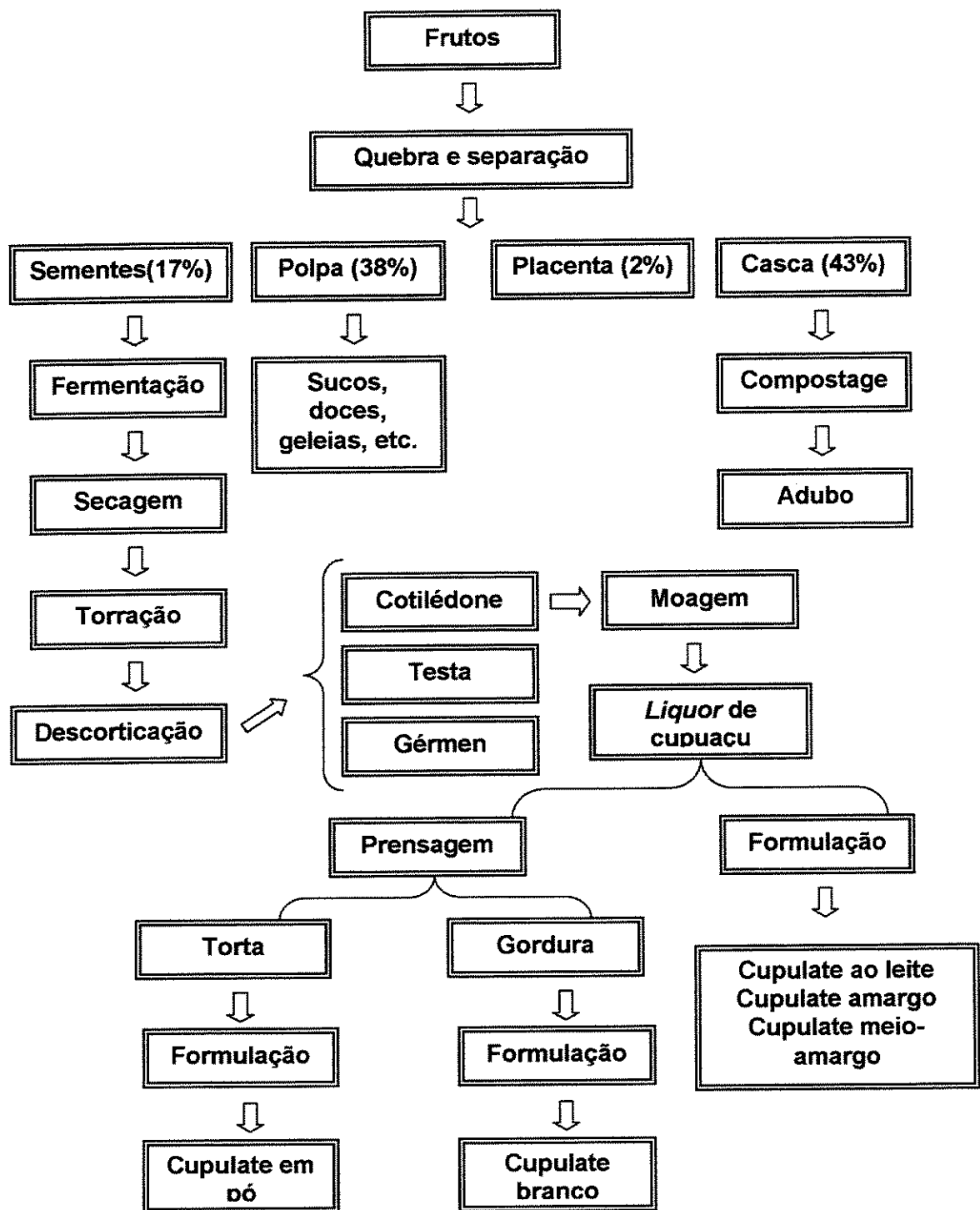
LUCCAS (2001) estudou o fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate e, concluiu que estas podem ser utilizadas com sucesso na fabricação de chocolate, contribuindo com até 5% com base no peso total da formulação, sem alterar as características físicas e sensoriais do produto.

LOPES (2000) avaliou a influência das etapas de fermentação e torração na qualidade protéica de cacau e cupuaçu através de ensaio biológico NPR (*Net Protein Ratio*), utilizando ratos *Wistar*. O processo fermentativo teve duração de sete dias e a torração foi feita à 150°C em diferentes tempos (40, 42, 44 e 46 min,

para as amêndoas de cacau e; 40, 45, 50 e 55 min, para as amêndoas de cupuaçu). O autor concluiu que as amêndoas torradas promoveram maior aumento no crescimento dos animais do que as sementes *in natura* e que as proteínas do cupuaçu, nas diversas etapas de processamento, apresentou valor biológico significativamente superior às proteínas do cacau. Finalmente, apesar da autoclavagem para a inativação de valores antinutricionais não ter sido otimizada, as proteínas do cupuaçu, e não as do cacau, registraram uma queda no valor biológico com o processo de fermentação. Por outro lado, o processo otimizado de torração resultou no melhoramento significativo da qualidade biológica das proteínas do cupuaçu, possivelmente pelo aumento na digestibilidade proporcionada pelo tratamento térmico utilizado.

NAZARÉ *et al.* (1990) estudaram as sementes de cupuaçu com a finalidade de desenvolver um produto com características nutritivas e organolépticas semelhantes ao chocolate, o qual denominaram “cupulate”. Foram utilizadas formulações análogas ao chocolate, onde o *liquor* e manteiga de cacau foram substituídos por *liquor* e gordura de cupuaçu, os quais foram moldados na forma de tabletes meio amargo, ao leite e branco. Além desses, foi possível o preparo do cupulate em pó. Os produtos em tabletes (meio amargo, ao leite e branco), preparados com as sementes de cupuaçu, foram submetidos a testes sensoriais, não apresentando diferenças significativas quando comparados com os dos mesmos tipos de produtos preparados com as sementes de cacau. Considerando as variáveis que influenciaram mais diretamente na aceitação ou não dos produtos pelo consumidor, tais como sabor, cor e odor, e não havendo diferença significativa pela análise estatística dos dados entre os produtos e tipos, os autores concluíram que as amêndoas de cupuaçu apresentaram potencial de emprego na obtenção de produtos similares ao chocolate.

O fluxograma dos diferentes tipos de produtos obtidos pelo cupuaçu pode ser observado na Figura 1.2.



**Figura 1.2.** Fluxograma do aproveitamento dos frutos do cupuaçuzeiro (VENTURIERI, 1993; NAZARÉ, 1996, LOPES, 2000).

## 2. LIQUOR DE CACAU

### 2.1. Obtenção do *liquor* de cacau

O *liquor* de cacau é um sistema disperso natural que consiste em partículas de cacau e manteiga de cacau, sendo produzido como ingrediente para a formulação do chocolate e para a extração da manteiga de cacau (FANG *et al.*, 1995).

Há vários caminhos para transformar as amêndoas de cacau em *liquor* de cacau ou massa de cacau, sendo o melhor caminho dependente de circunstâncias particulares de cada fabricante, assim como o tipo de ingrediente a que se destina (MINSON, 1992).

A Figura 1.3 dá uma visão geral de como se pode obter o *liquor* de cacau a partir das amêndoas de cacau.

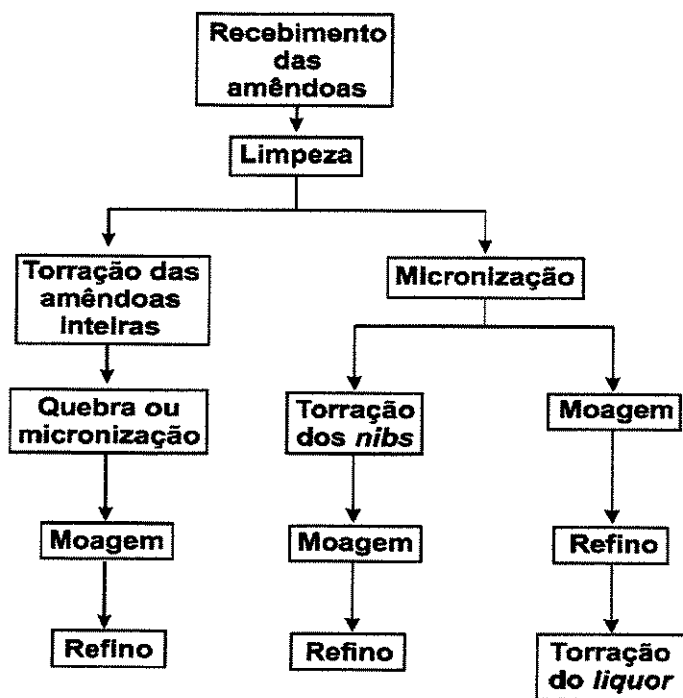


Figura 1.3. Fluxograma de obtenção do *liquor* de cacau (MINIFIE, 1985; MEURSING, 1994).

### 2.1.1. Limpeza

A primeira etapa de processamento das amêndoas de cacau para a obtenção do *liquor* é a limpeza. Quando as amêndoas (sementes fermentadas e secas) chegam de suas diferentes localidades, estas contêm uma grande variedade de materiais estranhos. Para tanto, torna-se essencial a completa remoção dessas impurezas para manter a qualidade do produto, assim como para proteger as máquinas de processamento. A limpeza é realizada por uma série de técnicas de remoção dos diferentes tipos de impurezas, tais como: peneiras, escovas, separadores por ar e magnéticos. A vibração e a aspiração destes equipamentos dependem das diferenças de densidade para separar pedras, poeira e cascas (KLEINERT, 1994).

### 2.1.2. Torração

A torração é um tratamento térmico fundamental na obtenção das características da qualidade do chocolate. As reações que ocorrem durante a torração são afetadas por fatores tais como: tempo, temperatura, conteúdo de água, pH e concentração dos precursores dos compostos aromáticos (BAUERMEISTER, 1981; PEZOA, 1989; MERMET *et al.*, 1992; ZAMALLOA, 1994).

Durante a torração ocorre (BAUERMEISTER, 1981; MERMET *et al.*, 1992):

- desenvolvimento de aroma típico de chocolate, principalmente pela reação de *Maillard*, a partir dos precursores formados durante a fermentação;
- desenvolvimento da cor típica do chocolate;
- redução dos teores de ácidos voláteis, principalmente ácido acético;
- inativação das enzimas capazes de degradar a manteiga de cacau;
- redução do teor de umidade das amêndoas, de 8% para 2%, aproximadamente;
- mudança da textura dos cotilédones (mais quebradiça).

Na torração três fases são importantes: aumento da temperatura do torrador, manutenção desta temperatura pelo tempo necessário para uma boa torração e um resfriamento rápido para interromper o tratamento térmico no momento desejado (PEZOA, 1989).

Os métodos mais comuns de torração são aqueles realizados nas amêndoas inteiras e nos *nibs* (fragmentos do cotilédone), tendo também a possibilidade de se torrar o *liquor* de cacau (KLEINERT, 1994).

Na torração de amêndoas inteiras encontram-se algumas desvantagens, tais como (MOHR, 1978; KLEINERT, 1994):

- consumo alto de energia;
- má condução de calor através do cotilédone, considerando ainda que a casca atua como isolante;
- migração da manteiga de cacau devido a diferença de tamanho;
- pouca remoção de voláteis indesejáveis.

Segundo MOHR (1978), a diferença de temperatura entre o centro e a superfície da amêndoa durante a torração das amêndoas inteiras pode chegar a 12°C. Para KLEINERT (1994) sua vantagem é que ocorre uma folga entre a casca e o cotilédone, facilitando a remoção da casca.

A maioria destes problemas próprios da torração das amêndoas inteiras poderia ser evitado ou reduzido realizando-se a torração dos *nibs*. Neste caso, necessita-se realizar o pré-tratamento térmico para facilitar a remoção das cascas que devem ser eliminadas. Sendo assim, o tamanho é mais uniforme, proporcionando transferência de calor mais eficiente, produto mais homogêneo, e menor perda de gordura por migração (HUFFMAN, 1992).

Pode-se também realizar a torração do *liquor* de cacau. Muitos desses torradores são contínuos e envolvem a passagem de uma camada delgada de

massa sobre a superfície quente. É desejável que se mantenha fluxo turbulento para evitar um sobreaquecimento localizado (KLEINERT, 1994). O equipamento de torração também pode ser usado para o tratamento do *liquor*, permitindo modificação de seu sabor (HUFFMAN, 1992). O tratamento térmico do *liquor* de cacau ou do *liquor* em combinação com outros ingredientes (como, por exemplo, o açúcar) pode produzir características peculiares de sabor e, possivelmente, reduzir o tempo de conchagem necessário (MINSON, 1992).

### 2.1.3. Quebra ou micronização

As amêndoas de cacau são normalmente quebradas enquanto elas ainda estão quentes, após pré-tratamento térmico ou após a torração das amêndoas inteiras. As cascas e, em certas circunstâncias, o gérmen, são separados o quanto possível das amêndoas quebradas. É crucial assegurar que os *nibs* de cacau estejam livres de impurezas para não prejudicar operações subsequentes. As amêndoas passam por rolos com dentes que as trituram, produzindo pedaços de *nibs* e cascas que serão separados pela ação combinada de peneiras e ar. O princípio de separação depende da diferença de densidade das cascas e dos *nibs* (KLEINERT, 1994).

### 2.1.4. Moagem

O *nib* de cacau é uma estrutura celular com aproximadamente 55% de gordura na forma sólida que fica armazenada entre as células. As paredes das células são rompidas durante a moagem e o calor da fricção liquefaz a gordura formando o *liquor* (MINIFIE, 1985). A moagem é realizada por uma série de moinhos e o tipo do processo depende da qualidade final requerida e do material a ser usado (MEURSING, 1994).

Segundo KUSTER (1984), mais estudos devem ser feitos para calcular não somente a granulometria dos *nibs*, mas também a distribuição do tamanho das

partículas, a estrutura, e a reologia do *liquor* de cacau. O autor também reportou que a cor e o sabor do *liquor* são decisivamente influenciados pelas altas temperaturas de moagem e, o desgaste intensivo das ferramentas tem um impacto negativo no produto final, devido a minerais, como por exemplo, partículas de ferro.

A moagem do *liquor* de cacau serve não somente como um método de redução do tamanho de partícula sólida, mas também para a liberação da manteiga de cacau das paredes das células dos *nibs*. O objetivo é abrir o máximo de células possível. O cálculo da distribuição do tamanho da partícula é, conseqüentemente, importante para determinar a percentagem exata dessas partículas e as finas partículas necessitam ser monitoradas (MINSON, 1992).

#### 2.1.5. Refino

A etapa de refino, que é conduzida logo após a moagem, tendo como objetivo obter *liquor* de cacau com distribuição granulométrica mais apropriada para a produção de chocolate de melhor qualidade. Um dos equipamentos mais utilizados é o refinador de 5 rolos (MINIFIE, 1985).

#### 2.1.6. Empacotamento e vida de prateleira

Quando o *liquor* de cacau tem que ser armazenado por um longo período de tempo ou transportado na forma sólida, este é normalmente ensacado e empacotado em caixas de papelão, pesando 30 kg. Na Europa e nos Estados Unidos geralmente o transporte se faz na forma líquida. O *liquor* apresenta uma vida-de-prateleira muito estável devido sua gordura possuir alto grau de saturação e seus sólidos conterem poderosos antioxidantes naturais (MEURSING, 1994).

## 2.2. Comportamento reológico do *liquor* de cacau

A contínua mudança na composição química e textura do *liquor* de cacau durante o processamento, resulta em grande variação de seu comportamento reológico (FANG *et al.*, 1995). No entanto, pouca informação está disponível sobre a sua viscosidade, a quase totalidade dos trabalhos consultados refere-se apenas ao comportamento reológico do chocolate.

De acordo com GILABERT-ESCRIVÁ (1997), o *liquor* de cacau, assim como o chocolate, é um fluido não-newtoniano, podendo-se por isso utilizar o modelo reológico do chocolate (modelo de Casson). No entanto, vale ressaltar que enquanto o *liquor* de cacau é constituído somente de partículas de cacau e manteiga de cacau, o chocolate fundido é uma suspensão de partículas de açúcar, cacau e/ou leite em uma fase de gordura contínua.

A viscosidade é uma propriedade física muito importante relacionada com a qualidade do produto final. Esta pode ser definida como a resistência ao escoamento ou também como atrito interno entre moléculas individuais num produto fluido. Seguindo a definição de Maxwell, a viscosidade é a força tangencial requerida para movimentar com velocidade constante uma placa em relação a uma outra num sistema de duas placas paralelas separadas por uma distância conhecida, contendo um fluido entre elas (KLEINERT, 1970).

O primeiro modelo usado para determinar a viscosidade do chocolate fundido foi o modelo de Bingham. STEINER (1958), mencionado por CHEVALLEY (1974), propôs o uso da equação de Casson para determinar a viscosidade do chocolate fundido. Em 1973, a *Office International du Cacao et du Chocolat* (OICC, 1973), adotou o modelo de Casson como método oficial para a determinação das propriedades reológicas do chocolate. Sendo assim, o chocolate fundido passou a ser caracterizado como fluido de Casson (VISSOTTO *et al.*, 1999).

O modelo de Casson é definido pela seguinte equação reológica de escoamento, para viscosímetros cilíndricos rotativos (VISSOTTO *et al.*, 1999).

$$\sqrt{D} = \frac{1}{\sqrt{\eta_{ca}}} (\sqrt{\tau} - \sqrt{\tau_{ca}}) \quad (1)$$

Onde:  $D$ : taxa de deformação ( $s^{-1}$ )  
 $\eta_{ca}$ : viscosidade plástica de Casson (Pa.s.)  
 $\tau$ : tensão de cisalhamento (Pa)  
 $\tau_{ca}$ : limite de escoamento de Casson (Pa)

A viscosidade plástica de Casson é a quantidade de força a ser aplicada para manter constante o fluxo de massa fluida, medida em Pa.s ou Poise. O limite de escoamento de Casson é a quantidade de força que deve ser aplicada para a massa fluida começar a escoar, medida em Pa ou Dinas/cm<sup>2</sup> (CHEVALLEY, 1974 e 1994).

A viscosidade do chocolate pode ser medida em reômetro rotativo de cilindros coaxiais, com pequeno espaço anular entre eles e com velocidades variáveis. O princípio da medida é o cisalhamento da substância nesse espaço que é formado entre o cilindro estacionário exterior e o rotativo interior, tornando-se necessário a inclusão da relação entre os raios dos cilindros interno e externo na equação (1), que passa a ser (CHEVALLEY, 1974 e 1994):

$$(1 + a)\sqrt{D_n} = \frac{1}{\sqrt{\eta_{ca}}} [(1 + a)\sqrt{\tau} - 2\sqrt{\tau_{ca}}] \quad (2)$$

Onde:  $D_n$ : taxa de deformação aparente ( $s^{-1}$ )  
 $a$ : quociente dos raios dos cilindros interno e externo  
 $\tau$ : tensão de cisalhamento na face externa do cilindro interno (Pa)

Os dados obtidos do reômetro são plotados de forma que o termo  $(1 + a)\sqrt{D_n}$  fique na ordenada e o termo  $(1 + a)\sqrt{\tau}$  fique na abscissa. Aos pontos

experimentais ajusta-se, por regressão linear, uma reta com inclinação igual a  $1/\eta_{CA}$  e interseção com a abcissa igual a  $2\sqrt{\tau_{CA}}$  (VISSOTTO, *et al.*, 1999).

A OICC recomenda que o raio não seja menor que 0,65%. Entretanto, nem sempre isto é possível na prática. É importante que as medidas não sejam realizadas com taxas de cisalhamento muito baixas, pois nem toda a massa está se movendo. A OICC recomenda também a calibração do equipamento com um fluido newtoniano a uma viscosidade menor que 2 Pa.s na temperatura de calibração ou um método alternativo qualquer recomendado pelo fabricante. A preparação da amostra também tem um papel importante (CHEVALLEY, 1994).

Deve-se tomar cuidado, também, com a tixotropia, que é um decréscimo na viscosidade causada por cisalhamento, pois isto pode acarretar erro adicional (CHEVALLEY, 1994). Segundo SEGUINE (1991), o ideal é pré-cisalhar o chocolate fundido.

### **2.2.1. Fatores que afetam a viscosidade**

Alguns fatores afetam a viscosidade do *liquor* de cacau, como: conteúdo de umidade, conteúdo gordura (manteiga de cacau), temperatura, distribuição do tamanho das partículas, adição de lecitina ou outro emulsificante, etc. No caso específico do chocolate, além desses, tem-se: tempo de conchagem, temperagem, tixotropia e vibração.

#### **2.2.1.1. Conteúdo de umidade**

O conteúdo de umidade altera a viscosidade do *liquor* de cacau, sendo esta alteração bastante complexa. A adição de umidade no *liquor* de cacau aumenta a viscosidade e a sua remoção tende a diminuí-la novamente. Contudo, esse efeito da umidade sobre a viscosidade não é uma reação perfeitamente reversível. Quanto mais alto o conteúdo de umidade no *liquor*, maior será a viscosidade do

*liquor* desidratado. Isso ocorre devido ao aumento residual na viscosidade sempre que a umidade cai para o mesmo valor após a água adicionada ao *liquor* ter sido evaporada (TANERI, 1976).

No chocolate, o aumento de viscosidade devido à adição de umidade pode ser explicado pela formação de camadas de xarope na superfície das partículas de açúcar, aumentando o atrito entre elas. Este atrito interno é reduzido pela adição de lecitina. Neste caso, os chocolates contendo lecitina podem tolerar níveis mais altos de umidade (HARRIS, 1968, mencionado por CHEVALLEY, 1994).

#### 2.2.1.2. Conteúdo de gordura

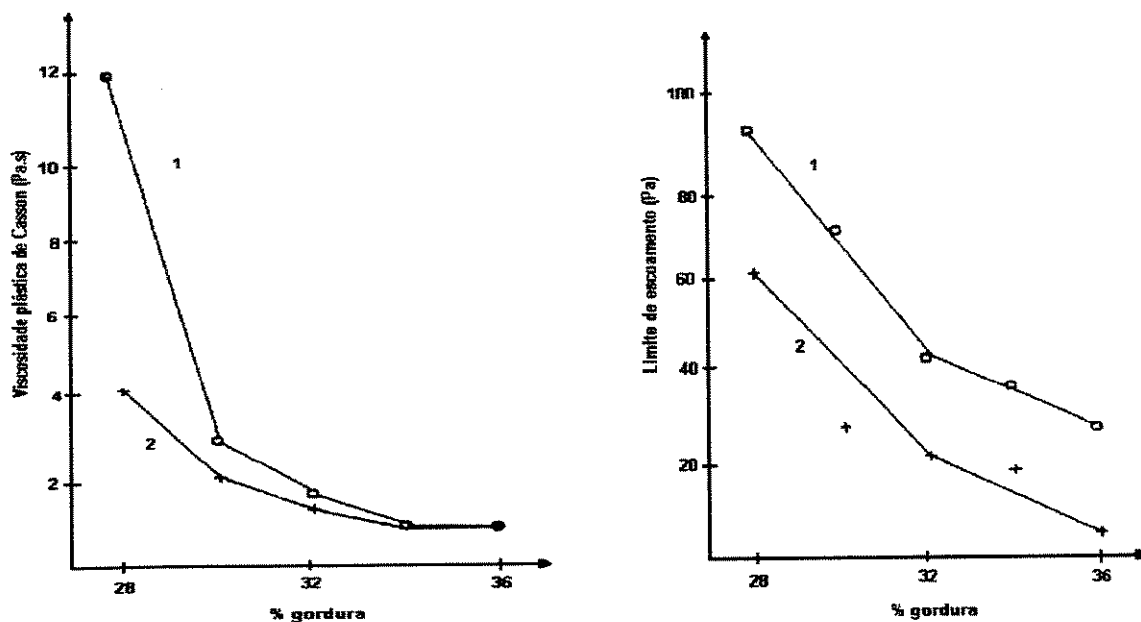
A viscosidade diminui com o aumento do conteúdo de gordura, como mostra a Tabela 1.5.

**Tabela 1.5.** Viscosidade plástica em função da porcentagem de gordura do *liquor* de cacau.

|                              |        |       |       |       |       |       |
|------------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| <b>Manteiga de cacau (%)</b> | 50,20  | 52,80 | 54,10 | 56,10 | 58,10 | 59,10 |
| <b>Viscosidade (P)</b>       | 115,50 | 65,80 | 49,95 | 32,50 | 21,20 | 17,32 |

Fonte: TANERI (1976).

FINCKE (1965), mencionado por CHEVALLEY (1994), mostrou que os parâmetros de Casson, viscosidade plástica ( $\eta_{ca}$ ) e limite de escoamento ( $\tau_{ca}$ ), decrescem quando gordura é adicionada em chocolate ao leite livre de lecitina. Na Figura 1.4 o decréscimo do  $\eta_{ca}$  e  $\tau_{ca}$  com o aumento do teor de gordura é plotado para dois chocolates ao leite (um mais refinado e outro moderadamente refinado), ambos contendo 0,25% de lecitina. Note que o decréscimo de viscosidade é maior para o chocolate mais refinado que para o chocolate menos refinado. Segundo HARBARD (1956) mencionado por CHEVALLEY (1994), a manteiga de cacau no chocolate está também associada com o tamanho da superfície das partículas.

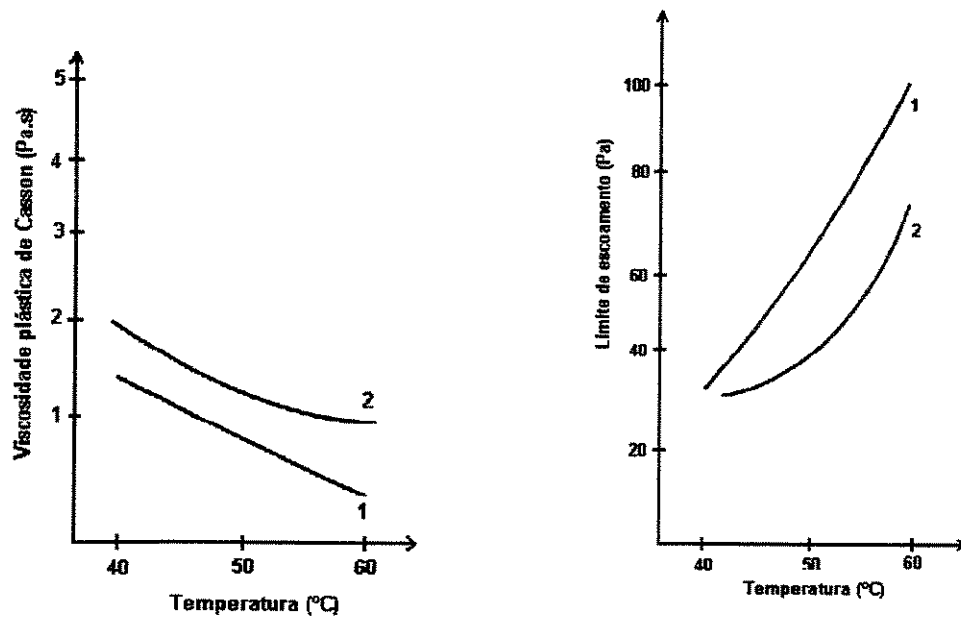


**Figura 1.4.** Influência do conteúdo de gordura nos parâmetros de Casson de dois chocolates ao leite com 0,25% de lecitina. (1) Chocolate bem refinado com 5,7% de partículas > 20  $\mu\text{m}$ ; (2) moderadamente refinado com 16% de partículas > 20  $\mu\text{m}$  (CHEVALLEY, 1994).

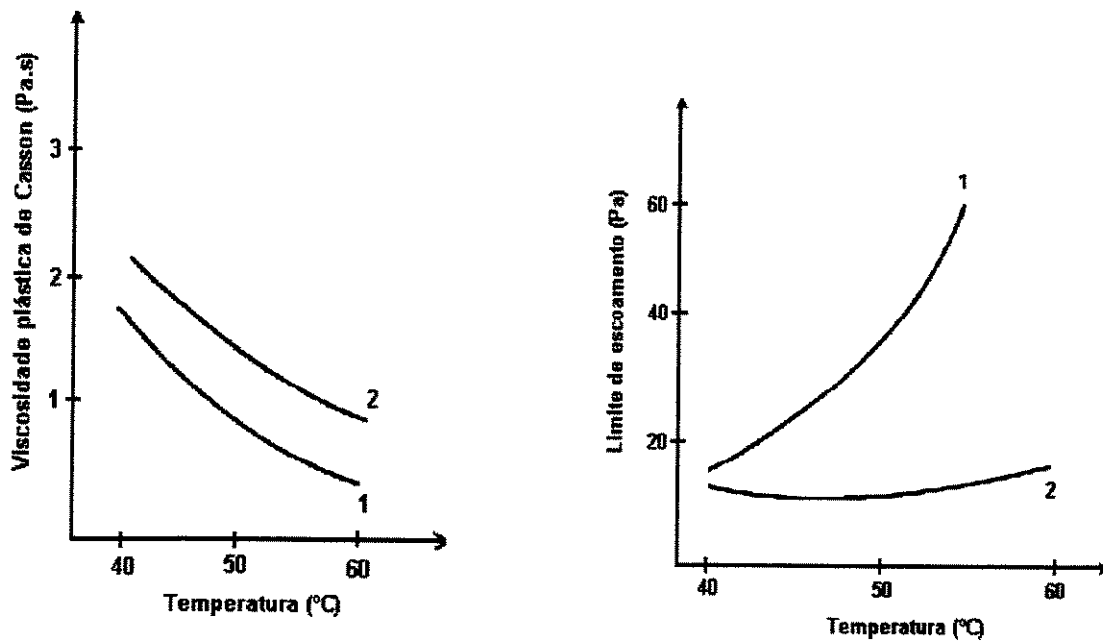
### 2.2.1.3. Temperatura

Um dos fatores que mais pode afetar o comportamento reológico de um material qualquer é a temperatura, especialmente dos materiais com alto teor de gordura, devendo ser mantida constante durante todas as medições (GILABERT-ESCRIVÁ, 1997).

Segundo ROSTAGNO (1973), mencionado por CHEVALLEY (1994), para os chocolates ao leite e amargo, quando a temperatura do chocolate aumenta, dois fenômenos são observados (Figuras 1.5 e 1.6): a viscosidade plástica de Casson decresce e o limite de escoamento deve aumentar, especialmente para chocolates sem lecitina.



**Figura 1.5.** Influência da temperatura nos parâmetros de Casson de dois chocolates ao leite. (1) 34% de gordura, sem lecitina; (2) 30% de gordura, 0,15% de lecitina (CHEVALLEY, 1994).



**Figura 1.6.** Influência da temperatura nos parâmetros de Casson de dois chocolates amargos. (1) 34% de gordura, sem lecitina; (2) 30% de gordura, 0,15% de lecitina (CHEVALLEY, 1994).

#### 2.2.1.4. Distribuição do tamanho das partículas

NIEDEK (1968,1970) e KOVACIK (1973), citados por CHEVALLEY (1974), estudaram a influência do tamanho das partículas na viscosidade e observaram que, quando o tamanho das partículas do *liquor* de cacau diminui, a viscosidade de Casson também decresce. De acordo com TANERI (1976), partículas grandes retêm em si manteiga de cacau e conseqüentemente, o produto adquire aparência viscosa. Enquanto que o mesmo produto com partículas menores fluirão com mais facilidade, aparentando menor viscosidade.

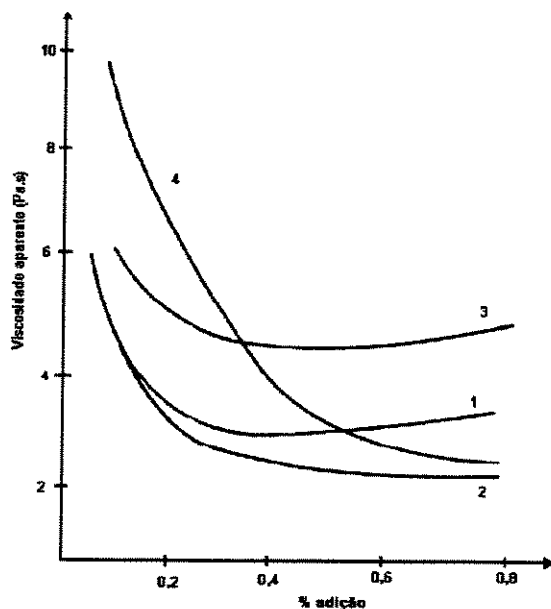
KLEINERT (1970), após repetidas passagem de um *liquor* de cacau em um moinho de 5 rolos, demonstrou claramente que a viscosidade foi gradualmente reduzida até depois de passar 3 vezes. Na quarta e quinta passada teve somente efeitos desprezíveis sobre a viscosidade. Para CAMPBELL (1973), citado por CHEVALLEY (1994), a redução da viscosidade durante o refino do *liquor* de cacau é devido à ruptura das células de gordura em partículas de cacau maiores que 12,5  $\mu\text{m}$ .

#### 2.2.1.5. Adição de lecitina ou outro emulsificante

O objetivo do uso de lecitina na produção de chocolate é a redução de viscosidade na massa de chocolate, sendo que pequenas quantidades adequadas desses lípides de superfície ativa produzem uma redução imediata (TANERI, 1976; CHEVALLEY, 1994).

A adição de 0,1-0,3% de lecitina de soja tem o mesmo efeito na redução da viscosidade que 10 vezes a quantidade de manteiga de cacau, sendo este fato de grande importância comercial (CHEVALLEY, 1994). Contudo, a lecitina não é um substituto da manteiga de cacau. Seu uso excessivo tem um efeito reverso, causando aumento de viscosidade além de sabor amargo ao produto, enquanto que a manteiga de cacau, invariavelmente, diminui a viscosidade (TANERI, 1976).

A lecitina de soja é um fosfolípídio natural, sendo a mais antiga e, provavelmente, o mais comum agente de superfície ativa empregada para a redução de viscosidade do chocolate. Outros agentes de superfície ativa têm sido desenvolvidos para o chocolate: um dos mais usados – especialmente na Grã Bretanha – é a lecitina sintética YN (obtida do óleo de colza parcialmente endurecido depois da glicerólise, fosforilação e neutralização). YN possui aroma suave e neutro, sendo mais eficiente que a lecitina de soja. Em níveis acima de 0,3% nenhum aumento de viscosidade ocorre, e tem um efeito mais forte no limite de escoamento que na viscosidade quando comparado a lecitina de soja. Outro agente de superfície ativa é o poliricinoleato de poliglicerol (PGPR), que tem a habilidade de reduzir ou cancelar o limite de escoamento do chocolate. Os efeitos de todos esses agentes são mostrados na Figura 1.7 e na Tabela 1.6 (CHEVALLEY, 1994).



**Figura 1.7.** Redução da viscosidade de chocolate amargo pela adição de lecitina e pela adição de lípides ativos sintéticos. A viscosidade aparente foi determinada a uma taxa de cisalhamento de  $15^{-1}$  à  $50^{\circ}\text{C}$ ; viscosidade aparente inicial antes da adição: 19,5 Pa.s. (1) Lecitina de soja; (2) fosfolípídio YN; (3) dipalmitato de sacarose; (4) poliricinoleato de poliglicerol (PGPR) (CHEVALLEY, 1994).

**Tabela 1.6.** Viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento de Casson do chocolate com adição de lípides de superfície ativa a 50°C.

| Adição (%)                     | Viscosidade plástica<br>(poise) | Limite de escoamento<br>(dinas/cm <sup>2</sup> ) |
|--------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------|
| 0,3 de lecitina de soja        | 6,1                             | 92                                               |
| 0,3 de YN                      | 10,3                            | 30                                               |
| 0,3 de dipalmitato de sacarose | 8,6                             | 166                                              |
| 0,3 de PGPR                    | 32,5                            | 25                                               |
| 0,8 de PGPR                    | 20,3                            | 0                                                |

Fonte: HARRIS (1968) citado por CHEVALLEY (1994)

A quantidade eficaz de agente de superfície ativa no chocolate está na faixa de 0,2 a 0,5% para a lecitina de soja e outras lecitinas vegetais, ou acima de 1% para o fosfolípido sintético YN. A lecitina de soja contém cerca de 65-70% de fosfolípidios ativos. Em países onde a legislação controla a quantidade de lecitina que deve ser adicionada, o conteúdo de fosfolípidios é algumas vezes especificado (MINIFIE, 1985)

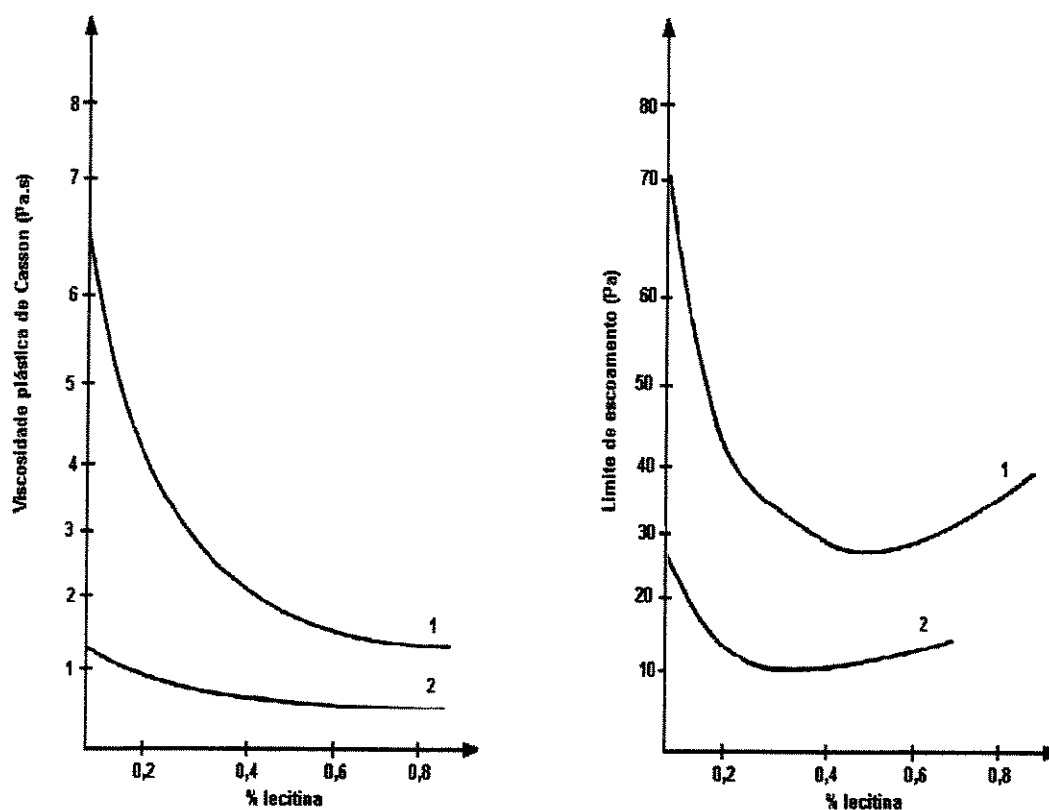
Estudos mostram que se o nível de lecitina excede 0,3-0,5% ocorre um aumento de viscosidade no chocolate. FINCKE (1965) mencionado por CHEVALLEY (1994), observou que um conteúdo de lecitina de soja maior que 0,3-0,5% aumentou somente o limite de escoamento (Figura 1.8). Por outro lado, o decréscimo nos parâmetros Casson é mais evidente quando o conteúdo de gordura não é tão alto.

Segundo ROSENSTEIN (1984), com relação à lecitina pode-se observar que:

- o nível ótimo de adição de lecitina varia com o tipo de chocolate;
- uma adição em excesso de lecitina influencia negativamente nas propriedades reológicas, passando a não influenciar notavelmente a viscosidade do produto;

- uma massa com maior conteúdo graxo necessita para atingir propriedades reológicas ideais, menor quantidade de lecitina que uma massa com menor conteúdo graxo.

De acordo com TANERI (1976), há autores que reivindicam a existência de pequena quantidade de lecitina presente nas sementes de cacau e, dependendo das condições de torração, parte desta lecitina pode ser destruída, causando um aumento na viscosidade.



**Figura 1.8.** Influência da lecitina de soja nos parâmetros de Casson de dois chocolates amargo. (1) 33,5% de gordura, 1,1% de umidade; (2) 39,5% de gordura, 0,8% de umidade (CHEVALLEY, 1994).

### 3. POLIMORFISMO DA MANTEIGA DE CACAU

Pode-se dizer que o chocolate é uma dispersão de finas partículas de pó de cacau e açúcar em uma fase contínua da manteiga de cacau, no caso do chocolate ao leite há também sólidos e gordura de leite. À temperatura ambiente, estas partículas são todas bloqueadas com a cristalização parcial da gordura que age como um cimento. Dessa maneira, as propriedades físicas e sensoriais do chocolate sólido dependem diretamente da cristalização da manteiga de cacau (LOISEL *et al.*, 1997a).

A manteiga de cacau é um dos ingredientes mais significativos presentes na fabricação do chocolate, contribuindo de 30-40% no peso do produto final (CHASERI & DIMICK, 1995a). Sua cor é amarelo-clara, quebradiça à temperatura abaixo de 26,7°C e, funde-se completamente a 35°C, com início de fusão ao redor de 30-32°C. A gordura totalmente líquida exibe uma marcante tendência ao super-resfriamento, fato de considerável importância no processamento do chocolate (BERNARD, 1989, mencionado por MINIM, 1996). De acordo com KLEINERT (1976), a cristalização da manteiga de cacau inicia-se durante a pré-cristalização ou temperagem da massa de chocolate.

O polimorfismo resulta dos diferentes modos possíveis de empacotamento molecular no cristal. Nos triglicerídeos podem ocorrer em três principais formas cristalinas, designadas por  $\alpha$ ,  $\beta'$  e  $\beta$ , que apresentam característicos pontos de fusão (HARTMAN & ESTEVES, 1982).

VAECK (1955) sugeriu que há quatro diferentes formas de cristalização para a manteiga de cacau no chocolate, com diferentes pontos de fusão, sugeridas nas seguintes formas:  $\alpha$  (23,5°C),  $\beta_{11}$  (28°C),  $\beta_1$  (33°C) e  $\beta$  (34,5°C). No entanto, segundo WILLE & LUTTON (1966), a manteiga de cacau pode possuir até seis formas cristalinas. As formas cristalinas da manteiga de cacau são designadas por letras romanas, entretanto, letras gregas também são utilizadas.

DUCKE (1964) verificou que os melhores chocolates apresentavam cristalização na forma  $\beta$ . A forma  $\beta$  é a mais estável a pequenas oscilações de temperatura e, quando presente em um chocolate, confere melhores características de cor, brilho, dureza, contração no molde e maior vida útil ao produto. Além disso, os cristais  $\beta$  fundem naturalmente à temperatura do corpo humano.

A Tabela 1.7 mostra as nomenclaturas e os pontos de fusão das formas cristalinas da manteiga de cacau, segundo diversos autores.

**Tabela 1.7.** Nomenclatura e ponto de fusão (°C) das formas cristalinas da manteiga de cacau, segundo diversos autores.

| VAECK<br>(1951) | VAECK<br>(1960) | DUCKE<br>(1964) | WILLE &<br>LUTTON<br>(1966) | CHAPMAN<br><i>et al.</i><br>(1971) | LOVEGREN<br><i>et al.</i><br>(1976) | DAVIS &<br>DIMICK<br>(1986) |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
| $\gamma$ 18.0   | $\gamma$ 17     | $\gamma$ 18.0   | I 17.3                      | I                                  | VI 13.0                             | I 13.1                      |
| $\alpha$ 23.5   | $\alpha$ 21-24  | $\alpha$ 23.5   | II 23.3                     | II                                 | V 20.0                              | II 17.7                     |
|                 |                 |                 | III 25.5                    | III                                | IV 23.0                             | III 22.4                    |
| $\beta''$ 28.0  | $\beta'$ 28     | $\beta''$ 28.0  | IV 27.3                     | IV 25.6                            | III 25.0                            | IV 26.4                     |
| $\beta$ 34.5    | $\beta$ 34-35   | $\beta'$ 33.0   | V 33.8                      | V 30.8                             | II 30.0                             | V 30.7                      |
|                 |                 | $\beta$ 34.4    | VI 36.3                     | VI 32.2                            | I 35.5                              | VI 33.8                     |

Fonte: DIMICK & DAVIS (1996).

Os pontos de fusão das formas cristalinas da manteiga de cacau são indicações de suas estabilidades (JOVANOVIC *et al.*, 1995).

De acordo com a nomenclatura de WILLE & LUTTON (1966), a Forma I é produzida por um rápido resfriamento a baixas temperaturas e, por ser bastante instável, rapidamente se transforma na Forma II. Esta forma também modificará rapidamente para as Formas III e IV. A Forma IV é a forma cristalina que geralmente é obtida quando o chocolate não temperado ou insuficientemente

temperado é resfriado em um túnel de resfriamento. Esta se transforma rapidamente (algumas vezes antes de ser conduzida ao túnel de resfriamento) na Forma V. As Formas V e VI são as formas mais estáveis da manteiga de cacau. A Forma V é produzida em um chocolate bem temperado. Em armazenagem prolongada, ela pode se transformar bem lentamente na Forma VI, mudança que freqüentemente é acompanhada pela formação de *fat bloom* (aparência esbranquiçada no chocolate que resulta da recristalização (superfície) da gordura fundida durante as oscilações de temperatura na estocagem) (TALBOT, 1994).

Diferentes autores já descreveram os procedimentos para a formação dos polimorfos da manteiga de cacau. Cada procedimento de formação do cristal requer método diferente de temperagem. Entretanto, há omissão quanto a taxa de resfriamento utilizada para a formação dos cristais, supondo que a temperatura de cristalização é a mais importante. Ou seja, geralmente há a temperatura de cristalização, mas não há taxa de resfriamento (LAWLER & DIMICK, 1998).

A manteiga de cacau possui um polimorfismo do tipo monotrópico, isto é, existe uma forma cristalina estável com ponto de fusão mais alto e calor latente mais baixo e, uma vez se transformando na forma cristalina mais estável, será irreversível. Tais formas cristalinas são caracterizadas pelas diferenças nas distâncias entre as cadeias glicéridicas e do ângulo de inclinação relativo ao plano do último grupo metil da cadeia (TALBOT, 1994).

Pode-se determinar as estruturas cristalinas da manteiga de cacau por Difração de Raio X e Espectroscopia de Infravermelho, e suas propriedades calorimétricas por Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC - *Differential Scanning Calorimetry*). As técnicas mais utilizadas para o estudo do polimorfismo em gorduras são: Difração de Raio X; Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC); Análise Térmica Diferencial (DTA); Infravermelho; Microscopia e; Ressonância Magnética Nuclear (RMN) (FEUGE *et al.*, 1962; BRACCO *et al.*, 1965; ROSSEL, 1986; TALBOT, 1994).

A calorimetria de varredura diferencial (DSC) é uma técnica onde a diferença de energia fornecida a uma substância e à referência é determinada em função da temperatura enquanto ambas são submetidas a um programa controlado de temperatura (MA *et al.*, 1990; SKOOG & LEARY, 1992, citado por NASSU, 1994).

O DSC fornece várias informações simultaneamente, tais como: determinação, através das curvas de fusão e cristalização, de parâmetros como temperatura (ponto final de fusão e inicial de cristalização, pico máximo e *onset*); entalpia de mudanças de fase, encontrando-se valores e perfis característicos para cada amostra, de acordo com sua composição de ácidos graxos. As curvas de DSC são influenciadas de forma significativa por fatores como amostragem, velocidade de aquecimento/resfriamento e temperagem da amostra (TIMMS, 1984).

De acordo com TIMMS (1984), os métodos de DSC e DTA, frequentemente utilizados para estudar o comportamento de fases de óleos e gorduras e suas misturas, são difíceis de interpretar sem os dados de Difração de Raio X. Essas duas técnicas são muito similares, incluindo a aparência das curvas obtidas, mas o princípio e a instrumentação são distintos. Segundo o mesmo autor, a técnica de Difração de Raio X do Pó, comumente utilizada, é um método essencialmente estático, isto é, opera à temperatura constante. Portanto, a amostra se apresentará no mesmo estado polimórfico durante a análise. Já o DTA e o DSC são métodos dinâmicos que permitem a observação do efeito da mudança de temperatura. Uma combinação dessas duas técnicas é o método de Difração de Raio X com Temperatura Controlada (powder x-ray diffraction), utilizando uma câmara DPT “*Diffraction Pattern with Temperature*” – Padrão de Difração com Temperatura Controlada.

CHAPMAN *et al.* (1971), estudaram o comportamento polimórfico e as propriedades térmicas da manteiga de cacau por meio de Difração de Raio X de

Temperatura Programada (DPT) e Calorimetria de Varredura Diferencial (DSC). Os dados obtidos das seis fases da manteiga de cacau estudadas pelos pesquisadores foram similares às de WILLE & LUTTON (1966). Porém, as temperaturas de transformações ou pontos de fusão das fases foram, no total, alguns graus abaixo. Verificaram também que um rápido resfriamento da manteiga de cacau líquida produziu a Forma I e que sob um lento aquecimento (0,5°C/min) transformou direto as Formas II, III e IV para a Forma V. Sendo que a Forma III pode ser produzida também diretamente do fundido ou pela transformação da Forma II. O mesmo acontece com a Forma IV, que pode ser produzida diretamente do líquido ou pela transformação da Forma III. Já a produção da Forma V diretamente do fundido foi extremamente lenta. Observaram que depois do resfriamento da manteiga de cacau líquida para 30°C, nenhum sólido foi produzido nesta temperatura durante 1 semana (10 mg em um recipiente de amostragem do DSC). A Forma VI tem somente sido produzida pela transformação da Forma V.

CHAPMAN *et al.* (1971) verificaram também, através de DSC, que um chocolate comercial apresenta-se com gordura na Forma V. Tal fato pode ser observado através de muitos sistemas de temperagem que envolveram temperaturas finais de 29-31°C antes do ajustamento, temperaturas estas acima do ponto de fusão de todos os polimorfos, exceto as Formas V e VI. Devido ao longo tempo requerido para produzir a Forma VI, constatou-se que o sólido presente no chocolate temperado esteja na Forma V.

A forma complexa do polimorfismo da manteiga de cacau é o resultado da composição de seus triglicerídeos (Tabela 1.8) (JOVANOVIĆ *et al.*, 1995). Além disso, a manteiga de cacau varia na composição de seus triglicerídeos dependendo de sua origem geográfica e também, dentro de uma mesma área geográfica (JEFFERY, 1991). CHAISERI & DIMICK (1989) investigaram estes aspectos e publicaram os seguintes dados (Tabelas 1.9 e 1.10):

**Tabela 1.8.** Composição de triglicerídeos da manteiga de cacau (%).

| Triglicerídeos | Composição (%) | Abreviações padrão para ácidos graxos |   |           |       |
|----------------|----------------|---------------------------------------|---|-----------|-------|
| POS            | 16.5-41.2      | A                                     | - | Aráquico  | C20:0 |
| SOS            | 22.6-28.8      | O                                     | - | Oléico    | C18:1 |
| POP            | 12.0-18.4      | S                                     | - | Esteárico | C18:0 |
| SOO            | 2.7-8.9        | L                                     | - | Linoleico | C18:2 |
| SLP            | 2.4-6.0        | P                                     | - | Palmitico | C16:0 |
| PLS            | 2.4-4.3        |                                       |   |           |       |
| POO            | 1.7-6.7        |                                       |   |           |       |
| SOA            | 0.9-2.9        |                                       |   |           |       |
| PLP            | 1.1-2.7        |                                       |   |           |       |
| SLS            | 0.9-2.7        |                                       |   |           |       |
| OOA            | 0.8-1.8        |                                       |   |           |       |
| PPS            | 0.4-1.2        |                                       |   |           |       |
| PSS            | 0.2-1.5        |                                       |   |           |       |
| POL            | 0.2-1.1        |                                       |   |           |       |
| OOO            | 0.2-1.0        |                                       |   |           |       |
| SSS            | Para 0.5       |                                       |   |           |       |

Fonte: JOVANOVIĆ *et al.* (1995).

**Tabela 1.9.** Composição de trigliceróis e percentagem da área do polimorfismo da II endoterma das manteigas de cacau classificadas por região.

| Região                     | Número de amostras | Triglicerol (%) <sup>a</sup> |      |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------|--------------------|------------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            |                    | PLP                          | POO  | PLS   | POP   | SOO   | SLS   | POS   | SOS   | SOA   |
| América do Sul             | 15                 | 1.1A                         | 3.4A | 3.5A  | 19.0A | 5.7A  | 2.8A  | 38.0A | 26.0A | 0.5A  |
| América do Norte e Central | 8                  | 1.0A                         | 2.7B | 3.3AB | 18.6A | 5.3AB | 2.7A  | 38.9B | 26.9A | 0.6AB |
| África                     | 17                 | 1.0A                         | 2.2C | 3.2B  | 18.4A | 4.7B  | 2.5A  | 39.1B | 28.2B | 0.6B  |
| Ásia                       | 24                 | 0.8B                         | 1.2D | 2.9C  | 18.6A | 2.9C  | 2.2AB | 40.0C | 30.8C | 0.8C  |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Fonte: CHAISERI & DIMICK (1989).

**Tabela 1.10.** Determinação da dureza da manteiga de cacau.

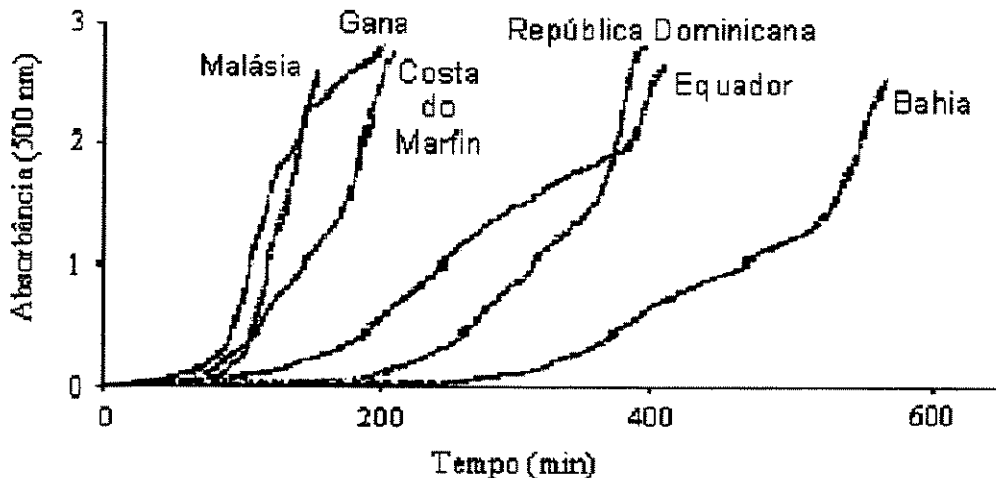
| Amostras             | p.f. (°C) | Conteúdo de gordura sólida (%) |      |      |      | Profundidade da penetração (mm) |
|----------------------|-----------|--------------------------------|------|------|------|---------------------------------|
|                      |           | 20°C                           | 25°C | 30°C | 35°C |                                 |
| Malásia              | 32.9      | 97.6                           | 96.2 | 91.3 | 43.1 | 1.8                             |
| Costa do Marfim      | 33.0      | 97.0                           | 94.7 | 88.5 | 30.3 | 2.0                             |
| Camarões             | 32.7      | 93.7                           | 90.3 | 84.2 | 34.3 | 2.5                             |
| Gana                 | 33.7      | 91.4                           | 91.2 | 88.4 | 56.9 | 2.6                             |
| Equador              | 32.8      | 97.3                           | 96.8 | 93.2 | 49.2 | 2.6                             |
| Bolívia              | 32.3      | 98.6                           | 95.4 | 89.7 | 35.1 | 3.0                             |
| China                | 32.2      | 96.7                           | 93.8 | 86.8 | 17.6 | 3.0                             |
| México               | 32.3      | 98.4                           | 95.7 | 89.6 | 27.9 | 3.2                             |
| Brasil               | 33.6      | 93.2                           | 90.6 | 86.9 | 50.2 | 3.2                             |
| República Dominicana | 32.4      | 97.8                           | 97.5 | 93.4 | 35.3 | 3.4                             |
| Colômbia             | 32.7      | 90.4                           | 87.2 | 82.0 | 42.9 | 4.0                             |
| Bahia                | 32.6      | 96.9                           | 95.7 | 91.6 | 37.9 | 4.6                             |

Fonte: CHAISERI & DIMICK (1989).

As informações contidas na Tabela 1.10 demonstram o efeito da variação de triglicerídeos na dureza e conseqüentemente, na temperabilidade (JEFFERY, 1991).

A Figura 1.9 mostra as diferentes curvas de cristalização obtidas de seis manteigas de cacau de diferentes origens, cristalizadas sob condições dinâmicas a 26,5°C, na qual depois de um período de incubação, a cristalização da manteiga de cacau sob tais condições dinâmicas ocorreu em dois estágios. O primeiro estágio envolveu a nucleação, crescimento dos cristais, agregação e sinterização. Os cristais desse estágio eram levemente ou não birrefringente e de forma irregular. O segundo estágio iniciou-se pela formação de esferulitas. O tempo de cristalização total dependeu da velocidade de crescimento dos cristais no primeiro estágio e o tempo em que a manteiga de cacau formou os cristais esferulíticos no

segundo estágio. Depois de formado os cristais esferulíticos, a velocidade de crescimento dos cristais foi rápida. (CHASERI & DIMICK, 1995b).



**Figura 1.9.** Curvas de cristalização de seis manteigas de cacau cristalizadas sob condições dinâmicas a 26,5°C (CHASERI & DIMICK, 1995b).

A manteiga de cacau influencia tanto nas propriedades do fluido como na transferência de calor da massa de chocolate. Durante a temperagem ela não é uma fase fixa, modificando-se constantemente, não somente em suas próprias propriedades, como uma função da temperatura, mas também em seu conteúdo.

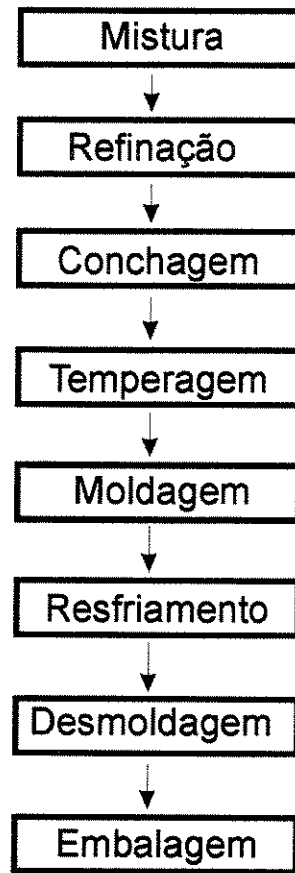
#### 4. PRODUÇÃO DE CHOCOLATE

Define-se chocolate como o produto obtido por processo de manufatura adequada, a partir da mistura dos ingredientes: massa de cacau (*liquor* de cacau), manteiga de cacau, açúcares, produtos lácteos e ingredientes opcionais de acordo com as normas e tipos desejados de chocolate (FAO, ICOO; citado por BARROCO & MENEZES, 1987).

O Brasil é considerado hoje o quinto maior país produtor de chocolate, depois de Estados Unidos, Alemanha, Reino Unido e França, respectivamente. Segundo dados fornecidos pela Associação Brasileira das Indústrias de Chocolates, Cacau, Balas e Derivados – ABICAB, a taxa média mundial de crescimento em volume na produção de chocolate é de 2% ao ano. Na América Latina, é prevista uma taxa de crescimento anual médio de 3,5% em volume para os anos de 1999 a 2003. O consumo *per capita* de chocolate no Brasil subiu de 1,45 kg/hab./ano, em 1991, para 1,93 kg/hab./ano, em 1999. Os valores apresentados são uma média de consumo em todo o País, variando de 0,5 kg/hab./ano nas regiões Norte e Nordeste até 3,0 kg/hab./ano na região Sul (ABICAB, 2000).

Basicamente há três tipos de chocolates, que são: chocolate amargo composto de açúcar, *liquor* de cacau, manteiga de cacau e emulsificante e; chocolate ao leite, que possui os mesmos ingredientes do chocolate amargo, acrescentando-se de leite em pó e; chocolate branco, não havendo em sua formulação *liquor* de cacau, apenas manteiga de cacau, leite em pó, açúcar e lecitina (MINIFIE, 1985).

Dentre as etapas de processamento do chocolate, tem-se: mistura, refino, conchagem, temperagem, moldagem, resfriamento, desmoldagem e embalagem (Figura 1.10).



**Figura 1.10.** Fluxograma das etapas de processamento do chocolate.

#### **4.1. Mistura**

Consiste em misturar os ingredientes do chocolate nas proporções corretas da formulação, até obtenção de massa homogênea. A mistura é realizada em misturadores encamisados, que mantém a temperatura entre 40 e 50°C, conferindo a plasticidade adequada da massa para ser trabalhada nas próximas etapas (MINIFIE, 1985).

O tempo de mistura depende do tipo de açúcar utilizado na formulação. Para açúcar cristal, o tempo de mistura é de 2 a 5 minutos, enquanto que para o açúcar moído, o tempo é maior, de 10 a 20 minutos, devido a maior área de superfície. O teor de gordura da mistura também depende do tipo de açúcar utilizado. Para açúcar cristal, o teor de gordura deve ser de 22 a 26%, enquanto

que para o açúcar moído é de 24 a 27%. Teores de gordura menores que 22% tornam a massa muito seca, a qual passa rápido pelo refinador e o produto pode ficar mal refinado. Por outro lado, teores maiores que 27% deixam a massa líquida, dificultando a passagem pelo refinador e diminuindo o rendimento do processo (ITAL, 1998).

#### **4.2. Refino**

É uma etapa de processo que interfere diretamente na textura final do chocolate, onde se realiza a redução de granulometria, de modo que 90% das partículas atinjam dimensões inferiores a 20  $\mu$  (KUSTER, 1991; NIEDIEK, 1994).

MINIFIE (1985) cita que um refino eficiente produz chocolate com partículas de no máximo 25  $\mu$ , não devendo reduzir abaixo de 15  $\mu$ , pois ocorre perda na eficiência do processamento (problemas com viscosidade) e na qualidade do produto final.

Há dois processos básicos de refino utilizados pelas indústrias de chocolate, que são: refino simples, partindo do açúcar pré-moído e; refino de processo duplo que utiliza pré-refinadeiras e refinadeiras, neste caso o açúcar utilizado é o cristal, não passando pelo processo prévio de moagem (ITAL, 1998).

O processo de refino duplo apresenta algumas vantagens em relação ao processo simples, como: menores tempos de mistura, menor percentagem de gordura no misturador, menores tempos de conchagem, ausência de sabor metálico no chocolate e, distribuição do granulométrica mais uniforme (ITAL, 1998):

### 4.3. Conchagem

A conchagem é um processo que resulta da conversão do pó refinado em uma suspensão fluida de partículas de açúcar, cacau e/ou leite em pó na fase líquida da manteiga de cacau e gordura do leite, se presente (LEY, 1994). Essa fluidez resulta de um processo relativamente simples de re-liquefação da pasta refinada (READE, 1978, mencionado por HOSKIN & DIMICK, 1980).

SOMMER (1974), citado por HOSKIN & DIMICK (1980), afirma que o melhoramento da fluidez durante a conchagem é inicialmente causada por uma mudança na estrutura que deve ser explicada como um efeito da homogeneização sobre o material. A liquefação da massa ocorre com mudança estrutural, como uma consequência da redução da interação sólido/sólido.

O principal objetivo da conchagem é o desenvolvimento de sabor e textura. Para tanto, a conchagem não deve ser estudada isoladamente, pois os processos que são iniciados durante a fermentação e a torração são concluídos durante este processo (LEY, 1994).

Durante a conchagem ocorre transformações físicas e químicas, dentre as quais, tem-se (HOSKIN & DIMICK (1980); LEY, 1994):

- perda de umidade;
- remoção de voláteis indesejados;
- redução da viscosidade;
- pequeno arredondamento das partículas;
- completa dispersão dos sólidos na gordura fluida;
- reação de *Maillard*;
- desenvolvimento de sabor;
- na maioria das conchas modernas ocorre a dispersão de agregados formados em processo anterior ou no próprio processo de conchagem.

A umidade da massa de chocolate é reduzida de 1,6% até 0,6-0,8%. Aproximadamente 30% de ácido acético e acima de 50% de aldeídos com baixo ponto de ebulição são volatilizados (LEY, 1994).

O tempo de conchagem depende da formulação do produto que se deseja obter e do tipo de equipamento, podendo variar de 6 a 96 horas. Quanto à temperatura, para o chocolate ao leite, a temperatura do processo pode variar entre 40 e 60°C e para o chocolate amargo entre 40 a 80°C (MINIFIE, 1985; LEY, 1994).

A conchagem pode ser dividida em três fases, que são (LEY, 1994):

Fase seca - onde ocorre o cisalhamento, a evaporação da umidade e a eliminação de substâncias voláteis indesejáveis.

Fase pastosa - na qual há o desenvolvimento de sabor por meio de cisalhamento e de aquecimento, eliminação de umidade e homogeneização.

Fase líquida - onde ocorre o cisalhamento e a homogeneização por meio de agitação intensa.

#### **4.4. Processo de Temperagem**

O processo de temperagem do chocolate é essencialmente uma cristalização controlada onde, por meio de tratamentos térmicos e mecânicos, se produz uma percentagem específica de cristais na forma cristalina mais estável da manteiga de cacau, de maneira que mantenha o produto com fluidez adequada para a moldagem e garanta a indução de total cristalização naquela forma estável durante o processo de resfriamento da massa (HARTEL, 1991).

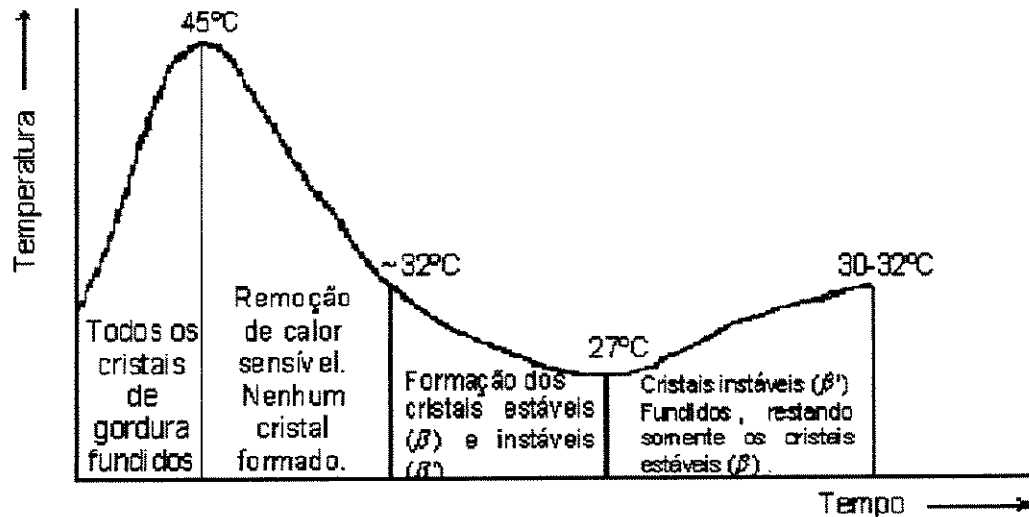
Como foi visto anteriormente, as gorduras podem se cristalizar em diferentes formas cristalinas, e cada uma delas com um determinado ponto de fusão e volume físico da massa sólida. Essas formas são produzidas de acordo com as condições de processamento empregadas. Formas cristalinas com baixo

ponto de fusão são menos estáveis e tendem a se transformar em formas mais estáveis com pontos de fusão mais altos. Estas transformações resultam em um empacotamento dos cristais de gordura e, conseqüentemente, um decréscimo de seu volume, havendo uma contração da gordura, ocasionando uma mudança na aparência física. A velocidade que as mudanças polimórficas ocorrem dependem da estabilidade relativa das formas cristalinas e das temperaturas a que são submetidas (TALBOT, 1994).

Segundo CHAPMAN *et al.* (1971), para a fabricação de chocolate, sabe-se que as formas cristalinas com suas respectivas estabilidades não são suficientes para indicar as condições práticas de temperagem, resfriamento e armazenagem. Informações sobre as possíveis transformações e velocidade de transformações a várias temperaturas são também requeridas.

A temperagem ou pré-cristalização inicia-se com o aquecimento do chocolate até que ocorra a fusão completa da gordura. Isto pode ser alcançado com temperaturas na faixa de 40-45°C, não havendo necessidade de temperaturas mais altas, não só devido aos custos, mas, principalmente, relacionado a problemas técnicos. O chocolate fundido é, então, resfriado sob agitação lenta para induzir a cristalização. Nesse ponto, tanto as formas estáveis como parte das instáveis, se cristalizam. Em seguida, realiza-se um novo aquecimento para que somente as formas cristalinas instáveis sejam fundidas. Este aquecimento influencia positivamente na fluidez da massa, facilitando as etapas posteriores de moldagem ou recobrimento, e varia conforme o tipo de chocolate que se está trabalhando (TALBOT, 1994).

Para melhor visualizar o que ocorre durante este processo, a Figura 1.11 mostra a sequência de temperagem do chocolate ao leite.



**Figura 1.11.** Sequência de temperagem do chocolate ao leite (TALBOT, 1994)

Na temperagem ocorre a cristalização de cerca de 2-4% da gordura presente na mistura, sendo esta a causa do aumento de viscosidade das massas de chocolates. Como regra geral, pode-se dizer que uma massa de chocolate temperado tem o dobro da viscosidade quando comparada a uma massa derretida. Porém, durante o resfriamento, a cristalização continua ocorrendo de tal forma que, ao final, após a passagem pelo túnel de resfriamento, teremos cerca de 75% de cristais (ITAL, 1998).

#### 4.4.1. Objetivo da temperagem

A temperagem tem como objetivos:

- permitir uma rápida solidificação da massa de chocolate no molde;
- maior contração de volume;
- consistência final ideal (*snap*);
- brilho
- evitar a formação do *fat bloom* no resfriamento e na armazenagem.

Segundo LOISEL *et al.* (1997b) o *fat bloom* é um defeito físico que aparece durante a armazenagem do chocolate, resultando na formação de grandes cristais de gordura na superfície do produto, dando uma aparência esbranquiçada. Seu mecanismo de formação não é claramente entendido, embora esteja relacionado com as formas cristalinas da manteiga de cacau. Estudando diversos trabalhos de diferentes pesquisadores, eles concluíram que geralmente o *fat bloom* é considerado como a migração da fração líquida da gordura dentro da matriz do chocolate e sua gradual recristalização não controlada na superfície. Esta recristalização é caracterizada ou acompanhada por uma transição polimórfica para outra mais estável.

#### **4.4.2. Parâmetros do processo de temperagem**

Dentre os parâmetros mais importantes que devem ser considerados durante a temperagem de um chocolate, destacam-se: tempo, velocidade de agitação e temperatura (HARTEL, 1991).

##### **4.4.2.1. Tempo de residência ou tempo de cristalização**

O tempo deve ser suficiente para que haja a formação e a multiplicação dos cristais estáveis formados, permitindo o amadurecimento dos cristais (HARTEL, 1991). O tempo de retenção pode variar muito, dependendo do tipo de equipamento (temperadeira) e, principalmente, da formulação do produto. Segundo NELSON (1994), quando o chocolate é adequadamente temperado em um período de tempo maior, ocorre somente formação de cristais de ponto de fusão mais alto, ou seja, de cristais estáveis. Com isso, torna-se possível aumentar a temperatura sem perder qualquer cristal. Como a temperatura aumenta, a viscosidade diminui. Portanto, as vantagens de se utilizar tempo longo de temperagem são:

- boa timbragem decorativa, especialmente nos chocolates de alto teor de gordura de leite que requerem tempo extra durante a temperagem;

- quando aditivos resistentes ao *bloom* são fornecidos em uma cobertura, o tempo é essencial para introduzir núcleo estável em quantidades suficientes para assegurar uma alta temperatura de cobertura;
- o fluxo melhora em temperaturas mais altas;
- um chocolate “maduro” com núcleo estável não é facilmente afetado pelas condições adversas, tais como temperatura ambiente alta e temperatura do centro variando;
- grande massa de chocolate bem-semeado é mantida a uma alta temperatura, mas abaixo do ponto de fusão do núcleo estável, e sendo bem agitado, permanece muito estável sobre longo período de tempo;
- a cobertura a alta temperatura contém somente cristais estáveis, com resfriamento correto e boas características de cor e brilho;
- melhor forma e contorno, produzindo chocolates de melhor qualidade;
- chocolate com maior resistência ao calor é produzido, aumentando a vida-de-prateleira;
- melhor contração é obtida nas plantas de moldagem;
- melhor dureza e resistência ao calor resultam em menores defeitos manuais durante a embalagem.
- 

#### 4.4.2.2. Velocidade de agitação

As velocidades de agitação ou taxa de cisalhamento afetam a mistura e as taxas de transferência de calor e massa em uma máquina de temperagem. Portanto, há limites para a quantidade de cisalhamento que pode ser aplicada para o chocolate nas fases de temperagem. Muito cisalhamento produzirá calor e o possível rompimento dos cristais uma vez formados; pouco cisalhamento ocasionará uma insuficiente transferência de calor e massa dentro do produto. A taxa de cisalhamento em temperadeira é uma função do tipo da máquina e da velocidade/*design* dos elementos do misturador (NELSON, 1994; HARTEL, 1991).

#### 4.4.2.3. Temperatura

A temperatura em que a cristalização ocorre pode ter um grande impacto nas velocidades relativas de nucleação e crescimento dos cristais. Essa temperatura afeta diretamente o subresfriamento (ou a diferença entre a temperatura atual e o ponto de fusão do sistema) que, no caso das gorduras, é a força propulsora de cristalização. Por isso, para que a manteiga de cacau se cristalice, esta deve ser resfriada abaixo do seu ponto de fusão. Logo, nos sistemas de gorduras, aumentando-se o subresfriamento, geralmente, aumenta-se a velocidade de cristalização. Sendo que nos sistemas de gorduras, a temperatura de cristalização tem uma complicação adicional, já que muitas gorduras cristalizam em diferentes formas cristalinas, dependendo da temperatura (HARTEL, 1991).

Somente com o subresfriamento é que ocorre a formação do núcleo de cristalização e a estabilidade do núcleo é uma função da sua solubilidade, sendo esta dependente do tamanho do núcleo a uma dada temperatura. A taxa de crescimento é diretamente proporcional ao subresfriamento e varia inversamente com a viscosidade, desde que a difusão molecular seja reduzida com o aumento da viscosidade do fundido (LAWLER & DIMICK, 1998).

O rápido resfriamento favorece mais a nucleação que o crescimento dos cristais. Desse modo, haverá uma distribuição homogênea de pequenos cristais na massa. Isto é a situação ideal para um chocolate bem temperado. Contudo, a nucleação é inibida quando o resfriamento é tão rápido que a solução passa além do ponto de transição do vidro para um sólido amorfo. A velocidade ótima de resfriamento depende da formulação e das propriedades de textura desejada. Isto é usualmente determinado pelo método de tentativas e erros (HARTEL, 1991).

#### **4.4.3. Fatores que afetam o processo de temperagem**

Pode-se dizer que para a obtenção de um chocolate bem temperado, alguns fatores são de extrema importância, dentre eles tem-se: velocidades relativas de nucleação e crescimento dos cristais; taxas de transferência de calor e massa; formulação; e condições de armazenagem (HARTEL, 1991).

##### **4.4.3.1. Velocidades relativas de nucleação e crescimento**

Para que um chocolate esteja bem temperado, este tem que possuir micro-cristais bem distribuídos, pois a presença destes confere ao produto final uma estrutura mais compacta e fina; melhor característica de quebra; brilho; boa contração no molde; boa distribuição e transmissão de aromas; e retardamento no aparecimento do *fat bloom*. Já os que contêm cristais muito grandes originarão produto final com consistência porosa; pouca contração no molde; distribuição e transmissão insuficiente de aroma; e maior risco de aparecimento de *fat bloom*. Portanto, é importante que seja favorecido a formação dos cristais (nucleação) sobre o crescimento (ITAL, 1998).

##### **4.4.3.2. Taxas de transferência de calor e massa**

Para uma boa transferência de calor e massa dentro do produto, é necessário que seja empregado durante a temperagem uma adequada taxa de cisalhamento (HARTEL, 1991).

##### **4.4.3.3. Formulação**

Existem diferentes tipos de formulações para o chocolate e cada uma pode influenciar significativamente no processo de temperagem. Portanto, definir as melhores condições para uma determinada formulação requer estudo aprofundado, de forma a ajustar os parâmetros do processo.

O chocolate ao leite requer regime de temperagem significativamente diferente do chocolate amargo para se obter produto bem temperado. Isto é devido à influência das moléculas de gordura do leite na formação da grade do cristal da manteiga de cacau. A incorporação de triacilglicerois da gordura de leite dentro da estrutura da manteiga de cacau retarda o futuro crescimento desses cristais. O exato efeito dessa interação nos processos de cristalização não é claramente entendido devido a sua complexidade (HARTEL, 1991).

A gordura de leite contribui para o sabor e textura do chocolate ao leite, além de possuir custo menor que da manteiga de cacau, prevenindo na formação de *fat bloom*. Ela possui velocidade de cristalização mais lenta e pontos de fusão menores que as formas cristalinas da manteiga de cacau. Portanto, os chocolates que contém concentrações mais altas de gordura de leite, requerem durante a temperagem temperaturas mais baixas e tempos mais longos (REDDY *et al.* 1996).

A temperatura em que ocorre a cristalização da gordura de leite influencia na sua firmeza ou estabilidade, na sua conformação cristalina e na sua percentagem de gordura sólida (FOLEY & BRADY, 1984 citado por LAWER & DIMICK, 1998). Para MULDER (1984), a variabilidade da dureza na gordura de leite resulta de diferentes tratamentos térmicos. A gordura menos sólida resulta quando esta é resfriada lentamente. TIMMS (1980) diz que isto é melhor compreendido considerando a presença de três frações de gordura de leite. As frações são cuidadosamente definidas como frações de alto, médio e baixo ponto de fusão (HMF, MMF e LMF, respectivamente).

O chocolate ao leite tem uma proporção de gordura animal que dá um efeito eutético lucrativo por um lado (resistência ao *bloom*) e contrariamente no outro (ponto de fusão menor, maciez, maior vagarosidade para temperar e completar a cristalização no túnel de resfriamento). Efeitos eutéticos favorecem menores pontos de fusão e, conseqüentemente, menor temperatura para a

formação do cristal. Por essa razão, mais tempo é necessário para o crescimento do cristal. Desse modo, o efeito prático da mistura da manteiga de cacau com outras gorduras (neste caso a gordura de leite) é que as temperaturas e tempos de retenção nas máquinas de temperagem devem variar conforme a formulação (NELSON, 1994).

Segundo TIMMS (1980), o aumento da concentração de gordura de leite em substituição a manteiga de cacau no chocolate ao leite modifica os parâmetros físicos e o seu processamento, como: ponto de fusão, dureza e o grau de temperagem. O comportamento do sistema de mistura de gorduras (manteiga de cacau e gordura de leite) pode ser explicado estudando as mudanças no polimorfismo, interações eutéticas e solubilidade das mesmas.

De acordo com os estudos de CHAPMAN *et al.* (1971), o comportamento polimórfico da mistura manteiga de cacau e gordura de leite (30% da gordura total) é muito similar ao da manteiga de cacau. Seus pontos de fusão em todas as fases foram menores e a velocidade de transformação de cada polímorfo para um próximo de ponto de fusão mais alto foi mais lenta, comparado ao da manteiga de cacau pura. Além disso, a transformação da Forma V para a Forma VI também foi mais lenta; a manteiga de cacau armazenada por 5 meses a temperatura ambiente (23°C) mostrou consideravelmente mais a Forma VI que a mistura manteiga de cacau e gordura de leite depois de 8 meses a temperatura similar. Através deste experimento, pôde-se observar que a adição de gordura de leite na manteiga de cacau retarda a formação do *fat bloom*. A habilidade da manteiga de cacau para dissolver 30% de gordura de leite sem alterar significativamente seu polimorfismo é surpreendente, considerando a natureza muito complexa dos triacilgliceróis da gordura animal. E a gordura de leite possui os polímeros  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\beta'$ , que tendem a fazê-la mais compatível com a manteiga de cacau.

REDDY *et al.* (1996) procuraram ajustar as melhores condições de temperagem do chocolate ao leite para cada percentagem de substituição de

manteiga de cacau por gordura de leite desidratada e suas frações. Observou-se que o grau do temperado depende do tempo e da temperatura de cristalização, e que o mesmo pode ser medido por calorimetria de varredura diferencial, que se mostrou uma ferramenta analítica rápida e eficiente. Os autores concluíram que conforme a formulação e composição das gorduras foi possível ajustar as condições de processo, de forma a obter um produto bem temperado.

Outro ingrediente comumente utilizado na indústria de chocolate é a lecitina, que serve para diminuir a viscosidade do chocolate. A viscosidade do chocolate aumenta durante a temperagem devido a formação dos cristais e é determinada pelo grau de temperagem, isto é, pela proporção de manteiga de cacau que se solidificou (SCHREMMER, 1980; MINIFIE, 1985; SONDERGAARD, 1987).

O controle da viscosidade durante o processo de temperagem é indispensável para padronização do processo e do produto final. A espessura da camada de chocolate nos bombons, tempo de acomodação nos moldes, precisão de reprodução da estampa dos moldes e a saída de ar da massa, dependem diretamente da viscosidade. É muito importante para a indústria controlar este parâmetro, de modo a manter alta qualidade, reduzir gastos e estabelecer condições de processo, principalmente aqueles relacionados com bombeamento e vazão.

#### 4.4.3.4. Condições de armazenagem

Sabe-se que as duas mais importantes variáveis de armazenagem são a temperatura e a umidade relativa, como relacionadas à transferência de calor e massa. Estes fatores afetam a mobilidade relativa das moléculas dentro do produto, podendo causar mudanças na distribuição do tamanho dos cristais. O aumento da temperatura de armazenagem resulta no aumento da mobilidade molecular, permitindo mudanças na estrutura do cristal, podendo ocorrer à

formação do *fat bloom*. Além disso, o armazenamento de chocolates em condições úmidas pode ocasionar a formação do *sugar bloom*, que é caracterizado por apresentar uma cor acinzentada na superfície do chocolate de aparência semelhante ao *fat bloom*, porém se difere por ser uma camada rugosa irregular e não gordurosa, não sendo removido facilmente com os dedos e, quando observado em microscópio, são vistos pequenos cristais de açúcar. Este fato ocorre devido a condensação da umidade no produto frio, pois a umidade solubiliza o açúcar que se separa da massa e volta a cristalizar na superfície do produto (HARTEL, 1991; ITAL, 1998).

Para se evitar tais problemas durante o armazenamento do chocolate, a sala de armazenamento dos produtos que saem do túnel de resfriamento não deve estar com temperatura maior que 20°C e nem inferior a 12°C, para não ocorrer inibição no processo de formação dos cristais estáveis de gordura, pois estes continuam em processo de formação mesmo após o resfriamento do produto (ITAL, 1998).

O resfriamento tem como objetivo retirar o calor que está sendo naturalmente gerado pela formação dos cristais. A definição das melhores condições de um resfriamento depende de diversos fatores, principalmente da composição do chocolate e, sobretudo da proporção de manteiga de cacau. Como regra geral, pode-se dizer que o resfriamento deve ser feito em três etapas: com temperaturas maiores no início e fim do túnel e mais baixa no meio. Deve-se ainda estar atento para que a diferença de temperatura entre a saída do túnel e o ambiente não seja muito grande, para se evitar condensação de umidade sobre o produto, o que levará ao aparecimento do *sugar bloom* (ITAL, 1998).

#### **4.4.4. Métodos empregados para temperar ou pré-cristalizar o chocolate**

Dentre os métodos utilizados para temperar ou pré-cristalizar o chocolate, temos: processo manual, processo em batelada e processo contínuo.

#### 4.4.4.1. Processo manual

A temperagem manual normalmente é feita usando-se mesas de mármore. Neste caso, pode-se colocar no mármore apenas 2/3 do chocolate fundido (45°C) e, com a ajuda de uma espátula, espalhar e movimentar a massa até se alcançar às temperaturas desejadas. O chocolate temperado deve então ser adicionado ao chocolate não temperado (1/3 restante) e bem misturado, até se garantir uniformidade de temperatura. Caso seja de interesse, todo o chocolate a ser utilizado pode ser colocado no mármore e temperado de uma só vez (ITAL, 1998).

Uma outra forma de agilizar o processo manual é inocular cristais estáveis na massa de chocolate fundida, que servirão também como germes de cristalização na forma mais estável. Este método consiste em adicionar pequenos pedaços (raspas) de chocolate na massa que já está derretida. O ideal é se resfriar a massa fundida até cerca de 31-32°C e aí então adicionar as raspar, homogeneizando bem para garantir uniformidade do processo. É importante que as raspas sejam obtidas de chocolates que não apresentam nenhum indício de estarem sem cristais  $\beta$  estáveis (usar produtos com ausência de *fat bloom*) (ITAL, 1998).

#### 4.4.4.2. Processo em Batelada

O equipamento utilizado para temperar o chocolate denomina-se temperadeira, sendo esta utilizada nos processos em batelada e contínuos. A diferença de ambos está na alimentação. No primeiro processo (batelada), o equipamento necessita ser descarregado e carregado a cada lote.

Há no mercado diversos tipos de temperadeiras, e um dos problemas básicos relacionados com o projeto desse tipo de equipamento é a otimização da transferência de calor durante a pre-cristalização. Isso significa que a proporção ótima de superfície de transferência de calor e fluxo de massa de chocolate tem

que ser escolhida. A remoção contínua de massa cristalizada da superfície resfriada é necessária para que haja uma eficiente transferência de calor (NELSON, 1994; JOVANOVIĆ *et al.* 1995).

Segundo CEBULA *et al.*, (1991), na temperagem em batelada, a massa de chocolate é agitada e a cristalização procede-se isotermicamente. Uma temperatura é escolhida abaixo do ponto de fusão dos cristais estáveis, dando a força propulsora para a formação das sementes de cristais. A temperatura fica acima do ponto de cristalização da formação dos cristais instáveis. Por essa razão, durante o processo batelada, as sementes de cristais são formadas diretamente para o estado estável proveniente do líquido subresfriado. O tempo levado para encontrar um bom estado do temperado é chamado de "tempo de temperagem batelada". Este tempo é um indicador da propensão do chocolate para ser temperado e, freqüentemente, é levado como uma marca da performance de temperagem.

#### 4.4.4.3. Processo Contínuo

A alimentação da temperadeira deve ser contínua, estando o chocolate completamente livre de cristais de manteiga de cacau. A temperatura ideal de alimentação é de 45°C, podendo utilizar 40°C. Na temperadeira a massa de chocolate é agitada para promover homogeneização e a criação de micro-cristais. Nos processos contínuos os problemas de encrustamento são praticamente inexistentes (NELSON, 1994; TALBOLT, 1994).

Temperadeiras mais modernas possuem as chamadas zonas de retenção, quase na saída do equipamento, as quais promovem a maturação dos cristais estáveis formados. O tempo de permanência da massa nas zonas de retenção pode variar de 12 a 20 minutos. Outras configurações de equipamentos chegam a temperar o chocolate em apenas 5 minutos, sendo utilizadas acopladas a sistemas de recobrimento, pois a viscosidade da massa neste caso é

relativamente menor. Normalmente, na saída das temperadeiras, tem-se um leve aquecimento da massa de chocolates para fusão dos cristais instáveis que ainda possam estar presentes (ITAL, 1998).

CEBULA *et al.* (1991) mostra uma técnica de temperagem contínua empregada no Laboratório *Unilever Colworth e Lodders Crocklaan*, que é uma planta de escala piloto contendo três estágios de unidades de temperagem (3-STU) (Figura 1.12). O chocolate é bombeado para dentro de uma série de trocadores de calor, cada qual com uma temperatura específica. É necessário que a temperatura da água de resfriamento ou aquecimento seja controlada. No primeiro estágio, o calor sensível é removido do chocolate, reduzindo sua temperatura de 40°C para cerca de 27°C. No segundo estágio um subresfriamento é mantido para promover a nucleação e iniciar o primeiro estágio de crescimento das sementes de cristais. A viscosidade aumenta com o aumento do conteúdo de gordura sólida e, então, a temperatura é elevada para cerca de 29°C no terceiro estágio para afastar este efeito. Neste ponto, a velocidade de desenvolvimento dos cristais estáveis aumenta pela formação de cristais instáveis. Em adição, no terceiro estágio, o favorecimento da cristalização de cristais instáveis é suspenso, ocorrendo a fusão do excesso de cristais instáveis. O restante dos cristais estáveis são "amadurecidos". Dois exemplos de perfis de temperatura (um com a linha cheia e o outro com a linha pontilhada) do chocolate em 3-STU são mostrados na Figura 1.13.

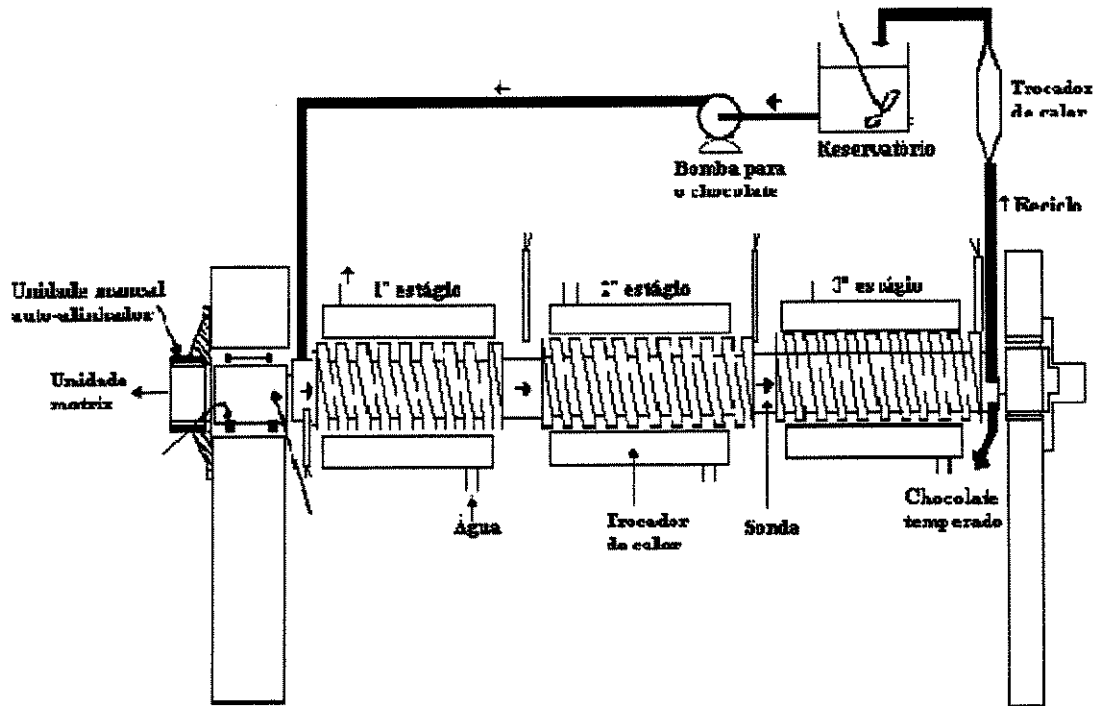


Figura 1.12. Princípio básico da temperagem contínua (3-STU) (CEBULA *et al.*, 1991).

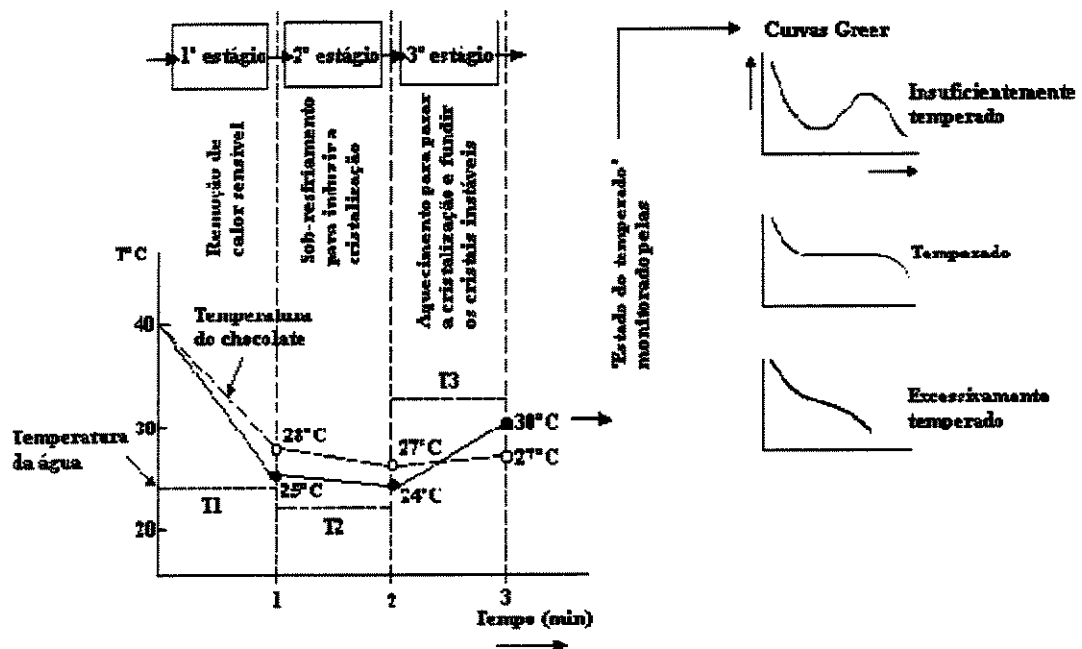


Figura 1.13. Unidade de temperagem de 3 estágios (3-STU) (CEBULA *et al.*, 1991).

#### 4.4.4.4. Efeito da sementeira dos cristais de gordura sobre a cinética de cristalização da gordura presente no chocolate

Para a produção do chocolate, emprega-se em escala industrial a temperagem ou pré-cristalização da massa de chocolate, que consiste no processo de resfriamento/reaquecimento, onde o chocolate fundido é primeiramente resfriado em torno de 26-27°C e novamente aquecido para 30-31°C, como já foi visto anteriormente. Em seguida, passa-se para o resfriamento, que utiliza temperaturas por volta de 8-15°C para produzir o produto final. Não esquecendo que a temperagem está relacionada com o controle polimórfico da manteiga de cacau. No entanto, atualmente, tem-se utilizado uma nova técnica para cristalização da gordura da massa de chocolate, que consiste na sementeira dos cristais de gordura na cristalização do chocolate, onde há duas propostas: analisar o mecanismo de cristalização nos processos de temperagem e; substituir o procedimento de temperagem por técnica de sementeira mais simples (HACHIYA *et al.*, 1989).

No procedimento de sementeira, os cristais de gordura com temperaturas acima de 34°C (ponto de fusão da manteiga de cacau) são adicionados ao chocolate fundido, sendo em seguida diretamente resfriado a temperatura de produção (8-15°C), sem o procedimento de pré-cristalização. Contudo, este método não tem sido muito utilizado devido a duas grandes dificuldades, que são: produção em escala industrial de cristais de semente em pó de pequenas dimensões e seleção das sementes. Há, no entanto, outras dificuldades neste processo que estão relacionadas com: as sementes e seu comportamento polimórfico; a dimensão e concentração das sementes, a temperatura ótima para a sementeira; a influência na cinética de cristalização e; as propriedades físicas envolvendo o *fat bloom*. Com estas considerações, resolvendo estes problemas, grandes progressos nas pesquisas das propriedades físicas das gorduras sólidas poderão ocorrer (HACHIYA *et al.*, 1989).

#### 4.4.5. Medidas do grau de temperagem

Embora tradicionalmente técnicos experientes possam garantir a temperagem adequada através da sensação do resfriamento da massa de chocolate nos lábios, métodos instrumentais de controle científicos são usados nas indústrias de chocolate, que são os temperímetros (NELSON, 1994).

Os temperímetros não medem a qualidade do temperado, mas quantificam o processo de crescimento dos cristais para um produto de formulação idêntica na mesma localização de uma linha de produção (ALLEN, 1995). Eles consistem em medir a curva de solidificação (ou resfriamento) do chocolate temperado (Figura 1.14). São retiradas amostras do produto, onde estas são conduzidas para um tubo de teste que é imerso em um banho de água e gelo. Com a ajuda de um termômetro e um termógrafo, as curvas de resfriamento são registradas; a direção das curvas é notoriamente condicionada pelo nível de pré-cristalização do produto (BERTINI, 1996).

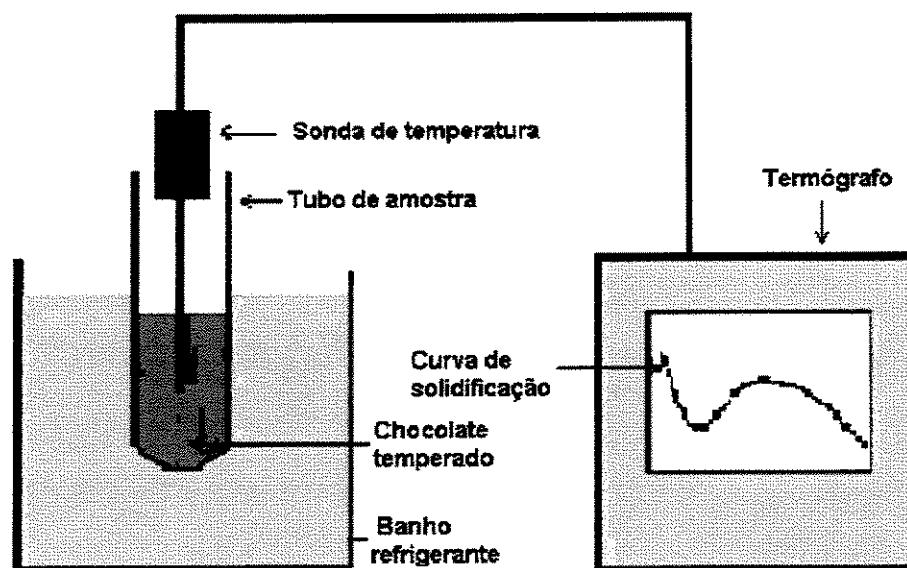
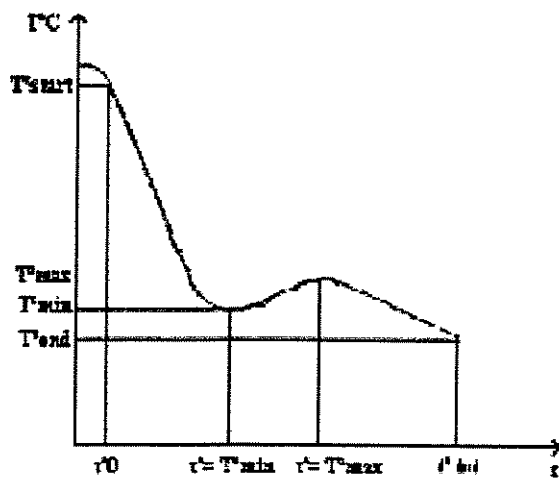


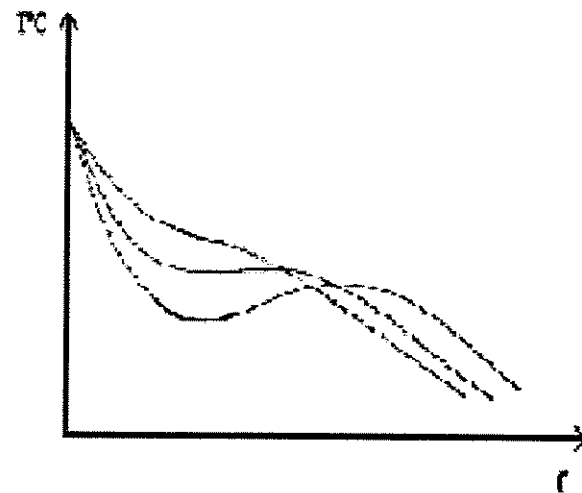
Figura 1.14. Temperímetro (BERTINI, 1996).

A interpretação da curva obtida (Figura 1.15) é, normalmente, depositada para o operador da linha ou uma pessoa responsável pelo controle de qualidade do produto (BERTINI, 1996).

Importância particular é dada a variação na direção das curvas causada pela quantidade de calor latente de cristalização desenvolvido durante a solidificação, sendo possível identificar uma inclinação que é correlacionada com as características de temperagem do produto (Figura 1.16) (BERTINI, 1996).

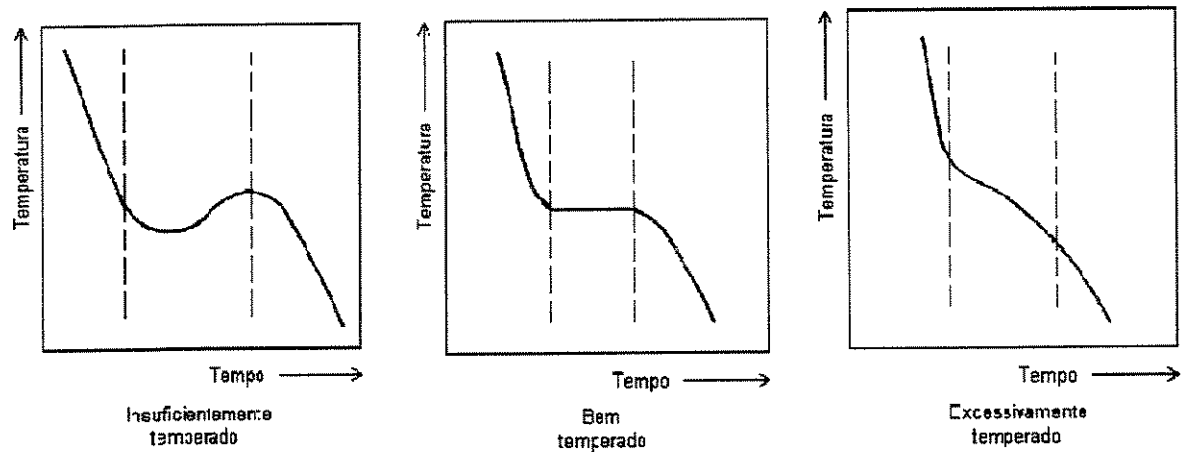


**Figura 1.15.** Interpretação da curva de solidificação (BERTINI, 1996).



**Figura 1.16.** Variação das curvas de solidificação (BERTINI, 1996).

A Figura 1.17 ilustra os graus de cristalização que foram desenvolvidos durante o processo de temperagem. Estes diagramas mostram as curvas relacionadas a três graus de temperado - insuficientemente temperado, bem temperado e excessivamente temperado. Todas obtidas pelo temperímetro. As curvas podem ser analisadas em três partes.



**Figura 1.17.** Curvas típicas obtidas pelo temperímetro (TALBOLT, 1994).

A primeira parte é similar em todos os casos, e registra simplesmente o resfriamento do chocolate líquido, ocorrendo sua solidificação. A segunda parte é a mais importante na definição do estado do temperado, sendo, por essa razão, a que mostra a maior diferença entre as três curvas. Como a gordura se solidifica, ela libera calor de cristalização, que é mostrado na curva como uma mudança na inclinação. Se a gordura é insuficientemente temperada (isto é, há um número insuficiente de cristais estáveis que foram produzidos na temperagem para induzir o favorecimento da cristalização estável na massa), rapidamente uma grande quantidade de calor é liberada quando o chocolate se solidifica. A quantidade de calor liberada é maior que a velocidade de resfriamento controlada e, conseqüentemente, durante a segunda parte da curva do temperado, a temperatura aumenta. Ao contrário, se a gordura é excessivamente temperada, mais que sua cristalização já tenha ocorrido antes da medida da curva do temperado, haverá menor cristalização durante o teste e, conseqüentemente, menor calor produzido pela sua cristalização. Desse modo, a inclinação da curva muda, havendo insuficiente calor produzido para causar aumento de temperatura. Em um chocolate perfeitamente temperado, a quantidade de calor produzido pela cristalização é balanceada pela quantidade de calor que está sendo removido pelo banho de água e gelo e, um altiplano é observado na curva do temperado. A terceira parte é similar em todos os casos e mostra o favorecimento da redução de temperatura com o frio do banho de água e gelo (NELSON, 1994).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução nº482 de 23 de setembro de 1999. Óleos e gordura vegetal modificados. Brasília, DF, 1999. Anexo 17, 35p.
- ALLEN, P.G. Chocolate temper measurement. Manufacturing Confectioner; 75(5):91-95, 1995.
- ARAGÃO, C.G. Mudanças físicas e químicas da semente do cupuaçu (*Theobroma Grandiflorum* Schum) durante o processo fermentativo. Manaus, 1992. 115p. Dissertação (Mestrado). Fundação Universidade do Amazonas.
- BARROCO, H.E. & MENEZES, J.A.S. Aspectos Físicos, Econômicos e Políticos dos Chocolates Brasileiro; 1976-84. Série Estudos Econômicos; nº10, 1987.
- BAUERMEISTER, P. Cocoa liquor roasting. The Manufacturing and confectioner, 10:43-45, 1981.
- BERBERT, P.R.F. Determinação do teor de ácidos graxos e características físicas das gorduras das sementes do *Theobroma grandiflorum* L. e do *Theobroma bicolor* L. e comparação com a gordura do *Theobroma cacao* L. Revista Theobroma, 11(2): 91:98. 1981
- BERTINI, A. Beta-trace device innovates on-line measurement of tempering. Candy Industry; 161(10):38-41, 1996.
- BRACCO, G.F.; SCHUBIGER, G.F.; EGLI, R.H. A study of the physical properties of chocolate IV. The measurement of the degree of temper of chocolates and couvertures. Rev. Int. Choc., Zurich, v.20, n.7. p.1-4, 1965.

- CALZAVARA, B.B.G. Cupuaçuzeiro. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1987. 6p. (EMBRAPA-CPATU. Recomendações Básicas, 1).
- CALZAVARA, B.B.G.; MÜLLER, C.H. & KAHWAGE, O.N.C. Fruticultura tropical: o cupuaçuzeiro, cultivo, beneficiamento e utilização do fruto. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1984. 101p. (EMBRAPA-CPATU, Documentos, 32).
- CEBULA, D.J.; DILLEY, K.M. & SMITH, K.W. Continuous Tempering Studies on Model Confectionary Systems. *Manufacturing Confectioner*; 71(5):131-136, 1991.
- CHASERI, S. & DIMICK, P.S. Lipid and Hardness Characteristics of Cocoa Butters from Different Geographic Regions. *Journal of the American Oil Chemists'-Society*; 66(11), 1989.
- CHASERI, S. & DIMICK, P.S. Dynamic Crystallization of Cocoa Butter. I. Characterization of Simple Lipids in Rapid- and Slow-Nucleating Cocoa Butters and Their Seed Crystals. *Journal of the American Oil Chemists' Society*; 72(12):1491-1496, 1995a.
- CHASERI, S. & DIMICK, P.S. Dynamic Crystallization of Cocoa Butter. II. Morphological, Thermal, and Chemical Characteristics During Crystal Growth. *Journal of the American Oil Chemists' Society*; 72(12):1497-1504, 1995b.
- CHAPMAN, G.M; AKEHURTS, E.E & WRIGHT, W.B. Cocoa Butter and Confectionery fats. Studies using Programmed Temperature X-Ray Diffraction and Differential Scanning Calorimetry. *Journal of the American Oil Chemists' Society*; 48(12):824-830, 1971.
- CHEVALLEY, J. Rheology of chocolate. *Journal of Texture Studies*. v.6, n.1, p.177-196, Boston, Jan., 1974.

- CHEVALLEY, j. Chocolate flow properties. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.139-155, 1994.
- DIMICK, P.S. & DAVIS, T.R. Solidification of Cocoa Butter. Manufacturing Confectioner; 66(6): 123-126, 128, 1996.
- DUCKE, W. Pennsylvanian Manufacturing Confectioner's Association Conference, 1964.
- EMBRAPA. Cadeia produtiva do cupuaçu no Amazonas. Manaus, 1999. 35p. (Série agronegócios).
- FANG, T.N.; TIU, C.; WU, X. & DONG, S. Rheological behaviour of cocoa dispersions. Journal of Texture Studies. n.26, p.203-215, 1995.
- FEUGE, R.O.; LANDMANN, W.; MITCHAM, D. & LOVEGREN, N.V. Tempering triglycerides by mechanical working. J. Am. Oil Chem. Soc., Champaign. V.39, n.7, p.310-313, 1962.
- GILABERT-ESCRIVÁ, M.V. Comparação das propriedades reológicas da massa de cacau torrada convencionalmente e por microondas. Campinas, 1997. 88p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP.
- GRIMALDI, J. Les possibilités D'amélioration des techniques D'ecabossage et de fermentation dans le processus artisanal de la préparation du cacao. Café, Cacao, Thé. v.22: p.306-316, 1978.
- GUNNERDAL, J. Cocoa butter alternatives in confectionary production. Agro-Food-Industry, Milano, v.3/4, p.28-32, 1994.

- HACHIYA, I., KOYANO, T. and SATO, K. Seeding Effects on Solidification Behavior of Cocoa Butter and Dark Chocolate. I. Kinetics of Solidification. JAOCS, v.66, n. 12, Dec. 1989, p. 1757-1762.
- HARTEL, R.W. Crystallization process. The Manufacturing Confectioner. v.71, n.8, p.61-66, 1991.
- HARTMAN, L. & ESTEVES, W. Tecnologia de Óleos e Gorduras Vegetais. Série Tecnologia Agroindustrial, Governo do Estado de São Paulo, Secretaria da Indústria, Comércio, Ciência e Tecnologia, Coordenadoria da Indústria e Comércio, 1982.
- HOMMA, A.K.O. Cupuaçu: potencialidades e mercado, algumas especulações: In: I Workshop sobre culturas de cupuaçu e pupunha. De 25 a 29 de março de 1996, p.85-90, Manaus-AM.
- HOSKIN, J.M. & DIMICK, P.S. Observations of chocolate during conching by scanning electron microscopy and viscometry. Journal of Food Science. 45 p. 1541-1545. 1980.
- HUFFMAN, P. Chocolate Flavor: Practical Guide for the User. The Manufacturing Confectioner, v. 72, n. 4, p. 65-67, Apr., 1992. Glen Rock, NJ.
- ITAL. Desenvolvimento de recheios para bombons: ingredientes e parâmetros de controle. Campinas. Novembro, 1998. Instituto de Tecnologia de Alimentos.
- JEFFERY, M.S. The Effect of Cocoa Butter Origin, Milk Fat and Lecithin Levels on the Temperability of Cocoa Butter Systems. Manufacturing Confectioner, 71(6):76-82, 1991.

- JOVANOVIĆ, O.; KARLOVIĆ, D. & JAKOVLJEVIĆ, J. Chocolate Pre-Crystallization: A Review. Acta Alimentaria. 24(3):225-239, 1995.
- KATTENBERG, H. Nutritional functions of cocoa and chocolate. Manufacturing Confectioner, Chicago, n.2, p.33-37, 2000.
- KLEINERT, J. Ver. Int. Choc. (1970) 274-280, 306-323.
- KLEINERT, J. Tempering and Organoleptics. CCB-Review for Chocolate, Confectionery and Bakery; 1(2):3-7, 1976.
- KLEINERT, J. Cleaning, roasting and winnowing In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.55-69, 1994.
- KUSTER, W. Liquor Grinding. The Manufacturing Confectioner, 64(8): 47-55, 1984.
- KUSTER, W. Particle Size. The Manufacturing Confectioner. p.57-60, 1991.
- LAWLER, P.J. & DIMICK, P.S. Crystallization and polymorphism of fats. In: Food Lipids, Chemistry, Nutrition and Biotechnology, Marcel Dekker, Inc., New York, 816p., 1998.
- LEY, D. Conching. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.117-138, 1994.
- LIPP, M.; ANKLAM, E. Review of cocoa butter and alternatives fats for use in chocolate – part A. compositional data. Food Chemistry, Oxford, v.62, n.1, p.73-97, 1998.

- LOISEL, C.; KELLER, G.; LECQ, G.; LAUNAY, B. and OLLIVON, M. Tempering of Chocolate in a Scraped Surface Heat Exchanger. Journal of Food Science. 62(4):773-780, 1997a.
- LOISEL, C.; LECQ, G.; PONCHEL, G.; KELLER, G. and OLLIVON, M. Fat Bloom and Chocolate Structure Studied by Mercury Porosimetry. Journal of Food Science; 62(4):781-788, 1997b.
- LOPES, A.S. Estudo químico e nutricional das amêndoas de cacau (*Theobroma cacao* L.) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) em função do processamento. Campinas. 2000. 112p. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- LUCCAS, V. Fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate. Campinas, 2001. 195p. Dissertação (Doutorado). Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- MERMET, G.; CROS, E.; GERGES, G. Etude preliminaire de L'optimisation des parametres de torração du cacao. Café, Cacao, Thé. 36(4):285-290, 1992.
- MEURSING, E.H. Cocoa mass, cocoa butter, cocoa powder. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.70-82, 1994.
- MINIFIE, B.W. Chocolate, cocoa and confectionary: science and tecnology. 3. Ed. Na AVI Book published by Van Nostrand Reinold, 940p. New York, 1985.

MINIM, V.P.R. Metodologia para Determinação de Sucedâneos da Manteiga de Cacau em Chocolate. Campinas: 1996. 207p. Dissertação (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos - Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

MINSON, E. Chocolate Manufacture – Beans Through Liquor Production. The Manufacturing Confectioner, Nov. 1992, p.61-67.

MOHR, W. In MEILI, M. Etudes des Correlations entre le Comportement Technologique des Substances Aromatiques et Leurs Propriétés Physico-chimiques. Compiègne 1978. Thèse Docteur – Université de Technologie de Compiègne.

MULDER, H. Melting and Solidification of Milk Fat. Neth. Milk Dairy J. 7:149-176 (1953). Quoted in R.E. Timms, Phase behaviour of Fats and their Mixtures. Prog. Lipid Res. 23:1, 1984.

MÜLLER, C.H.; FIGUEIRÊDO, F.J.C; NASCIMENTO, W.M.O.; GALVÃO, E.U.P.; STEIN, R.L.B.; SILVA, A.B.; RODRIGUES, J.E.L.F.; CARVALHO, J.E.U; NUNES, A.M.L.; NAZARÉ, R.F.R. & BARBOSA, W.C. A cultura do cupuaçu. Brasília: EMBRAPA-CPATU. 1995. 61p. (EMBRAPA-SPI, Coleção Plantar, 24).

NA ROTA do açaí chega o cupuaçu. Gazeta Mercantil. p.1, São Paulo. 14 fev. 2001.

NASSU, R.T. Estudo do comportamento térmico de óleos e gorduras por calorimetria de varredura diferencial (DSC). Campinas, 1994. 94p. Dissertação (Mestrado) FEA-UNICAMP.

NAZARÉ, R.F.R.; BARBOSA, W.C.; VIÉGAS, R.M.F. Processamento das sementes de cupuaçu para a obtenção de cupulate. Belém: EMBRAPA-CPATU. 1990. 38p. (EMBRAPA-CPATU. Boletim de Pesquisa, 108).

NELSON, R.B. Pumps and tempering. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.167-209, 1994.

NIEDIEK, E.A. Particle size reduction. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.83-99, 1994.

OICC. Analytical methods of the Office International du Cacao et du Chocolat. [S.l.], 1973. P. 8b.

PEZOA, G.N.H. Contribution a L'étude D'un Capteur por Controler en Continu Procède de Torréfaction. Londres, 1989, 170p. These (Docteur) – Université de Technologie de Compiègne.

QUEIROZ, M.B. Avaliação do Estudo da Torração de Amêndoas de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). Dissertação (Mestrado). Campinas, 1999. 109p. Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP.

REDDY, S.Y.; FULL, N.; DIMICK, P.S. and ZIEGLER, G.R. Tempering Method for Chocolate Containing Milk-Fat Fractions. Journal of the American Oil Chemists'-Society; 73(6):723-727, 1996.

RIBEIRO, C.C. Perspectiva de Utilização Tecnológica da Polpa de Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum). Seminário Internacional sobre Pimentado-reino e Cupuaçu, 1. 1996, p.193-197. Belém-PA. Anais Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental/IICA, 1997. 440p. (EMBRAPA Amazônia Oriental. Documentos, 891).

- RODRIGUES, D.M. Aspectos da Produção e da Comercialização do Cupuaçu (Theobroma Grandiflorum Schum) na Região Norte. Belém. Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, 1996. 43p. Monografia (Especialização em Horticultura) - FCAP.
- RODRIGUES, D.M & SANTANA, A.C. Aspectos da produção e da comercialização do cupuaçu (Theobroma grandiflorum, Schum) no Estado do Pará. Seminário Internacional sobre Pimenta-do-reino e Cupuaçu, 1. 1996, Belém-PA. Anais Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental/IICA, 1997. p.351-360. (EMBRAPA Amazônia Oriental. Documentos, 891).
- ROSENSTEIN, J. Cacao y Chocolate. In: MEINERS, A.; KREITEN, K.; JOIKE, H., eds. – Silesia Confeterie, Neuss: Silesia-Essenzfabrik G. Hanke KG., 1984. V. 2, p. 670-798. [Manual nº3].
- ROSSEL, J.B. Classical analysis of oils and fats. In: HAMILTON, R.J.; ROSSEL, J.B., eds. Analysis of oils and fats. London: Elsevier Applied Science, p.1-90, 1986.
- SCHREMMER, H. New Technical Development - Microcrystal Tempering Machine, SOLLTEMPER MST 600-4000. Confectionery Production; 46(11):480-482, 1980.
- SEGUINE, E.S. Tempering - The Inside Story. Manufacturing Confectioner, 71(5):117-125, 1991.
- SILVA, W.G. Gordura de Cupuaçu, Sucedâneo da Manteiga de Cacau. São Paulo, 1988. Dissertação (Doutorado). Faculdade de Ciências de Farmacêuticas - Universidade de São Paulo (USP).

- SONDERGAARD, C. Emulsifiers for stabilizing chocolate and related products. Brabrand: Grindsted, 1987. 10p. (Grindsted Technical Paper, TP 304-1e).
- SOUZA, A.G.C.; SOUSA, N.R.; SILVA, S.E.L.; NUNES, C.D.M.; CANTO, A.C.C. & CRUZ, L.A.A. Fruteiras da Amazônia. Coleção Biblioteca Botânica Brasileira, Serviço de Produção de Informação - SPI, v.1, p. 100-102, Brasília. (EMBRAPA), 1996.
- TALBOT, G. Chocolate temper. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.242-257, 1994.
- TANERI, C.E. Chocolate Liquors: Factors Affecting Viscosity. The Manufacturing Confectioner, March, 1976, p. 45-55.
- TIMMS, R.E. The phase behaviour and polymorphism of milkfat, milkfat fractions and fully hardened milkfat. Australian Journal Dairy Tech. n.35, p.47-53, 1980.
- TIMMS, R.E. Phase behaviour of fats and their mixtures. Progress in Lipid Research. 23: 1-38, 1984.
- VAECK, S. Zucker und Süßwaren, 718. Manuf. Conf. P.35-74. 1955.
- VASCONCELOS, M.A.M. Transformações físicas e químicas durante a fermentação de amêndoas do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum). Campinas, 1999. 114p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- VENTURIERI, G.A. Cupuaçu: a espécie, sua cultura, usos e processamento. Belém: Clube do Cupu. 1993. 108p.

VISSOTTO, F.Z; LUCCAS, V.; BRAGAGNOLO, N.; TURATTI, N.; GRIMALDI, R.; FIGUEIREDO, M.S. Caracterização físico-química e reológica de chocolates comerciais tipo cobertura elaborados com gorduras alternativas. Brazilian Journal of Food Technology, 2(1,2):139-148, 1999.

WILLE, L.R. & LUTTON, S.E. Polymorphism of Cocoa Butter. Journal of the American Oil Chemists'-Society; 43:491-496, 1966.

ZAMALLOA, C.W.A. Caracterização físico-química e avaliação de metil pirazinas no desenvolvimento do sabor, em dez cultivares de cacau (theobroma cacao L) produzidos no Estado de São Paulo. Campinas, 1994. 121p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

## CAPÍTULO II - Estudo do *liquor* de cupuaçu e de cacau

### Resumo

Neste trabalho foi estudado o processo de obtenção e caracterização física, química e físico-química do *liquor* de cupuaçu e de cacau, obtidos a partir de frutos colhidos na mesma região e submetidos às mesmas condições de fermentação, secagem e processamento. As amêndoas de cada espécie foram quebradas em moinho de facas e descascadas para a obtenção dos *nibs*. Estes foram torrados em torrador elétrico rotativo, a 150°C por 40 minutos, moídos e refinados em moinho de cilindros. Produziu-se assim, três amostras de *liquor* de cupuaçu (LF1, LF2 e LF3, provenientes dos diferentes lotes de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) e uma de *liquor* de cacau (LFC). Determinou-se nestas, a composição centesimal, pH, acidez titulável, cor por espectrofotômetro, distribuição do tamanho das partículas por foto-sedimentômetro LUMOSSED e medições de suas propriedades reológicas em reômetro programável BROOKFIELD. Com relação às sementes fermentadas e secas de cupuaçu e de cacau, estas foram classificadas como Tipo I (superior), segundo CONCEX (1968). O *liquor* de cupuaçu apresentou aparência semelhante ao *liquor* de cacau e teor médio de gordura de 65,40%, superior ao encontrado para o cacau de 54,20%. Entretanto, este último apresentou teores de proteínas (12,27%) e de carboidratos (24,23%) maiores que os teores médios de 9,51% e 15,93%, respectivamente, do cupuaçu. Com relação aos parâmetros da análise de cor, o *liquor* de cupuaçu diferiu significativamente ( $p \leq 0,05$ ) do *liquor* de cacau, apresentando valor de  $L^*$  (42,28 a 43,03) mais baixo que o do *liquor* de cacau (44,67), e com intensidade de vermelho ( $a^* = 6,50$  a 7,57) e de amarelo ( $b^* = 8,62$  a 9,32) superior a de LFC ( $a^* = 4,85$  e  $b^* = 7,10$ ). Para a faixa de temperatura estudada (35 a 50°C), o *liquor* de cupuaçu apresentou viscosidade plástica superior a do *liquor* de cacau. Embora a viscosidade sofra influência com o conteúdo de umidade e de gordura, estes não foram fatores determinantes nos

valores da viscosidade plástica de Casson das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau; entretanto o tamanho das partículas afetou de modo que, as amostras com tamanhos de partículas maiores, apresentaram valores de viscosidade plástica mais elevados. Na busca de melhores elucidações para as diferenças de viscosidade entre as amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau, extraiu-se suas gorduras e, determinou-se seus teores de fosfolipídios. Assim, foi concluído que, além do tamanho das partículas, os teores de fosfolipídios também influenciaram na viscosidade do *liquor*, onde a menor quantidade de fosfolipídios proporcionou maior viscosidade ao produto.

## Abstract

In this work, the production process and physical, chemical and physical-chemical characterization of cupuassu and cocoa *liquors*, obtained from fruits harvested in the same region and submitted to the same fermentation, drying and processing conditions, were studied. The nuts of each species were broken in a knife mill and hulled to obtain the nibs. These were toasted in an electric rotative toaster, at 150°C for 40 minutes, ground and refined in a cylinder mill. Thus, three samples of cupuassu *liquor* (LF1, LF2 and LF3, from the different lots of fermented and dried cupuassu seeds) and one of cocoa *liquor* (LFC) were obtained in this manner. Centesimal composition, pH, titrable acidity, color by spectrophotometer, particle size distribution by LUMOSSED photo-sedimentometer and rheological properties in a programmable BROOKFIELD rheometer were determined for these samples. With respect to the fermented and dried cupuassu and cocoa seeds, these were classified as Type I (superior), according to CONCEX (1968). The cupuassu *liquor* was similar in appearance to cocoa *liquor* and had an average fat content of 65.40%, superior to that found for cocoa of 54.20%. Nevertheless, cocoa presented higher protein (12.27%) and carbohydrate (24.23%) contents than the average contents of 9.51% and 15.93%, respectively, found for cupuassu. With respect to the parameters of the analysis of color, cupuassu *liquor* was significantly different ( $p \leq 0,05$ ) to cocoa *liquor*, presenting an  $L^*$  value (42.28 to 43.03) lower than that for cocoa *liquor* (44.67), and with intensities of the color red ( $a^* = 6.50$  to 7.57) and of the color yellow ( $b^* = 8.62$  to 9.32) above those for LFC ( $a^* = 4.85$  and  $b^* = 7.10$ ). In the temperature range studied (35 to 50°C), cupuassu *liquor* presented greater plastic viscosity than cocoa *liquor*. Although viscosity is influenced by moisture and fat contents, these were not determinant factors in the values of Casson plastic viscosity of the samples of cupuassu and cocoa *liquors*; however, particle size did affect these values, in a way that the samples with greater particle sizes presented higher plastic viscosity values. Searching other reasons for the differences in viscosity among the samples of cupuassu and cocoa *liquors*, their fats were extracted and their phospholipid contents determined. Thus,

it was possible to conclude that, apart from the particle size, phospholipid contents also influenced the viscosities of the *liquors*, where the lower quantities of phospholipids corresponded to more viscous products.

## 1. INTRODUÇÃO

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) é um dos mais importantes frutos tipicamente amazônico. Seu beneficiamento consiste na retirada da polpa que envolve as sementes, apresentando esta sabor ácido bastante agradável, de aroma intenso e característico, destinada a produção de sucos, sorvetes, licores, néctar e doces em geral (CALZAVARA *et al.*, 1984; CALZAVARA, 1987; VENTURIERI, 1993).

A produção de cupuaçu tem crescido bastante devido ao aumento da comercialização de sua polpa no mercado nacional e internacional. No Brasil, nos últimos cinco anos, sua produção saltou para 10 milhões em 2000, no Estado do Pará, seu maior produtor (NA ROTA, 2001). No mercado internacional há registro de exportação de 4 toneladas para os Estados Unidos e 7,3 toneladas para a Cultura Survival (VENTURIERI, 1993; HOMMA, 1996).

Embora a industrialização dessa fruta esteja totalmente baseada no beneficiamento de sua polpa, pesquisas têm demonstrado um grande potencial de aproveitamento em suas sementes, que correspondem a 20% do fruto. Dessas sementes, pode-se obter produtos semelhantes aos oriundos das sementes de cacau (*Theobroma grandiflorum* L.), seguindo as mesmas etapas de pré-processamento e processamento, conforme o produto desejado.

O aproveitamento das sementes de cupuaçu na obtenção de novos produtos pode proporcionar maior demanda deste fruto, tornando-se necessário o aumento de sua produção. A grande vantagem é que a necessidade de se ampliar seu cultivo racional possibilita nova fonte de renda para os nativos da região amazônica, além de poder auxiliar na preservação da floresta com seu plantio nas áreas desmatadas.

Dentre os produtos obtidos pelas sementes de cupuaçu tem-se o *liquor* de cupuaçu, semelhante ao *liquor* de cacau que é um dos ingredientes da formulação do chocolate. O *liquor* de cupuaçu pode ser empregado na produção de produtos similares ao chocolate e achocolatados, sorvetes, bolos, biscoitos, etc.

O *liquor* de cacau ou massa de cacau é um sistema disperso natural que consiste em partículas de cacau e manteiga de cacau (FANG *et al.*, 1995). Em geral, ele é obtido pela torração das sementes fermentadas e secas de cacau (amêndoas) ou de seus *nibs* (fragmentos do cotilédono), podendo se torrar também o *liquor*. Caso seja realizada a torração das amêndoas, estas serão em seguida descascadas para a obtenção dos seus *nibs*. O processo seguinte ao da torração é o da moagem dos *nibs*, onde se produz o *liquor* de cacau. Dependendo a que se destina o *liquor*, se é para a fabricação de chocolate ou para a extração da manteiga de cacau, este passa por processo de refino (MOHR, 1978; KUSTER, 1984; MINIFIE, 1985; MINSON, 1992; HUFFMAN, 1992; KLEINERT, 1994; MEURSING, 1994).

A contínua mudança na composição química e textura do *liquor* de cacau durante o processamento do chocolate resulta em grande variação de seu comportamento reológico (FANG *et al.*, 1995).

Assim como o chocolate, o *liquor* de cacau é um fluido não-newtoniano, onde o conhecimento de sua viscosidade plástica e limite de escoamento são importantes no dimensionamento de tubulações e sistemas de bombeamento empregados para o seu transporte na planta. No entanto, há na literatura poucos trabalhos relacionados ao comportamento reológico do *liquor* de cacau, a sua grande maioria refere-se ao chocolate. Já para o *liquor* de cupuaçu, não se têm publicações por ser um produto novo.

Para a determinação dos parâmetros reológicos do *liquor* de cacau, pode-se utilizar o modelo de Casson, que em 1973 a *Office International du Cacao et du*

*chocolat* (OICC, 1973) o adotou como modelo oficial para a medição da viscosidade plástica e limite de escoamento do chocolate (GILABER-ESCRIVÁ, 1997).

Dentre os fatores que afetam a viscosidade plástica de Casson do *liquor* de cacau, tem-se: temperatura, conteúdo de umidade, conteúdo de gordura, tamanho das partículas e adição de lecitina. Quanto maior o conteúdo de umidade e o tamanho das partículas do *liquor* de cacau maior será a sua viscosidade plástica de Casson. Aumentando-se o conteúdo de gordura e a temperatura diminui-se a viscosidade, o mesmo ocorrendo com a adição de lecitina (CHEVALLEY, 1974; TANERI, 1976; CHEVALLEY, 1994; GILABERT-ESCRIVÁ, 1997).

Este trabalho teve como objetivo o estudo da obtenção e a caracterização física, química e físico-química do *liquor* de cupuaçu e de cacau, fazendo-se comparação entre os resultados obtidos das diferentes amostras de *liquor* de cupuaçu e entre as amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material

#### 2.1.1. Sementes de cupuaçu e de cacau

As sementes de cupuaçu (“redondo”) e de cacau (“forastero”), safra 1999, foram coletadas, fermentadas e secas na Cooperativa Agrícola Mista de Tomé-Açu (CAMTA), localizada em Tomé-Açu, no Estado do Pará.

#### 2.1.2. Equipamentos

- Balança analítica MICRONAL, modelo AB204;
- Balança semi-analítica GEHAKA, modelo BG 4000;
- Banho termostático BROOKFIELD, modelo TC-5000;
- Banho termostático POLYSCIENCE, modelo 9000;
- Bloco digestor de proteínas TECHNICON, modelo BD – 40;
- Cromatógrafo gasoso PERKIN ELMER 8420;
- Cromatógrafo líquido de alta eficiência PERKIN ELMER Series 10;
- Destilador de nitrogênio TECNAL, modelo TE – 036;
- Detector de índice de refração SICON ANALYTIC;
- Digestor de fibras FANEN, modelo 170/3;
- Espectrofotômetro de bancada HUNTERLAB, modelo ColorQUEST II;
- Espectrofotômetro UV visível PERKIN ELMER  $\lambda$ 20;
- Estufa FANEN, modelo 315-SE;
- Extrator de gordura (tipo SOXHLET) TECNAL, modelo SEBELIN TE 188;
- Foto-sedimentômetro LUMOSSED, Anton Par;
- Granutest PRODUTEST;
- Integrador HEWELWTT PACKARD – HP 3395;

- Medidor de umidade de cacau, modelo HYGRON;
- Moinho de cilindros PILON;
- Moinho de facas ICMA, tipo Rietz;
- Mufla FORNITEC, modelo 1961;
- Multiprocessador BRAUN;
- Multivolume picnômetro 1305, modelo MICROMERITICS;
- pHmetro MICRONAL, modelo B374;
- Prensa hidráulica, capacidade de 60 kgf/cm<sup>2</sup>;
- Reômetro programável BROOKFIELD, modelo RVDVIII;
- Torrador elétrico PROBAT / WERKE, tipo PRE 1 Z;
- Outros equipamentos e materiais comuns de laboratório e planta piloto.

### **2.1.3. Reagentes**

Os reagentes utilizados em todas as análises apresentaram grau de pureza PA, de diferentes procedências: Merck, Sigma, Grupo Química e outros.

## **2.2. Métodos**

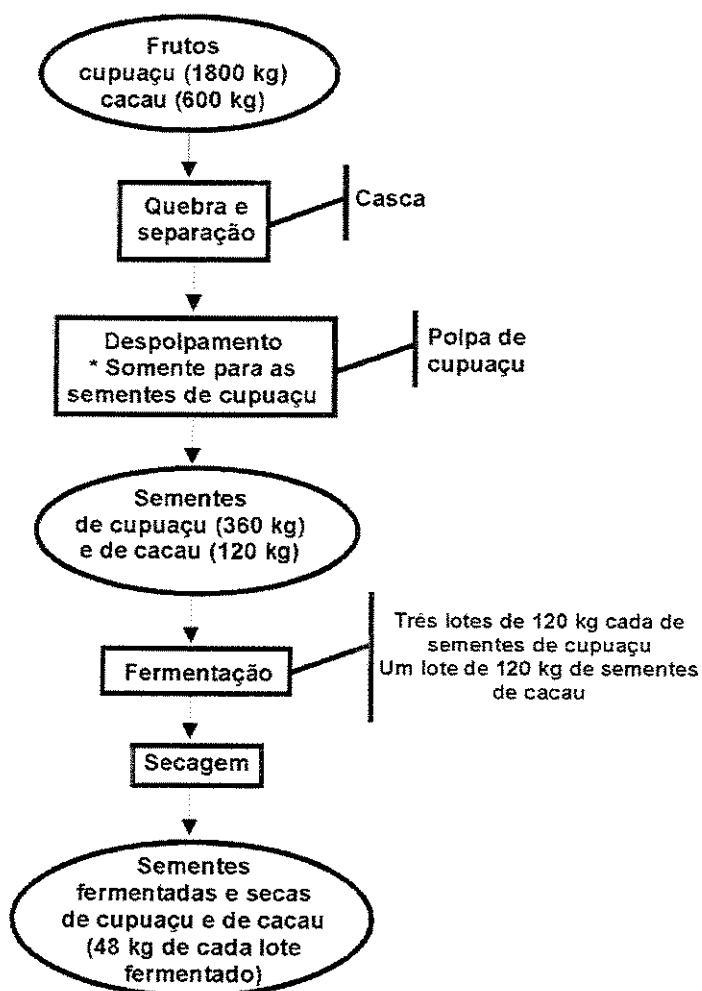
### **2.2.1. Processamento das matérias-primas**

#### **2.2.1.1. Obtenção das sementes de cupuaçu e de cacau**

Para a obtenção das sementes de cupuaçu e de cacau, foram utilizados cerca de 1800 kg de frutos de cupuaçu e 600 kg de frutos de cacau, conforme fluxograma da Figura 2.1.

Após a quebra do fruto de cupuaçu com o auxílio de um cutelo, suas sementes foram retiradas para serem despulpadas mecanicamente, restando cerca de 5% da polpa, quantidade esta suficiente para a realização da etapa de

fermentação. A retirada da polpa foi realizada devido à mesma ser utilizada na elaboração de produtos alimentícios diversos. Já as sementes de cacau foram conduzidas para a fermentação sem a remoção de sua polpa, uma vez que a mesma não é de interesse primordial para a indústria alimentícia.



**Figura 2.1.** Fluxograma do processo de obtenção, fermentação e secagem das sementes de cupuaçu e de cacau.

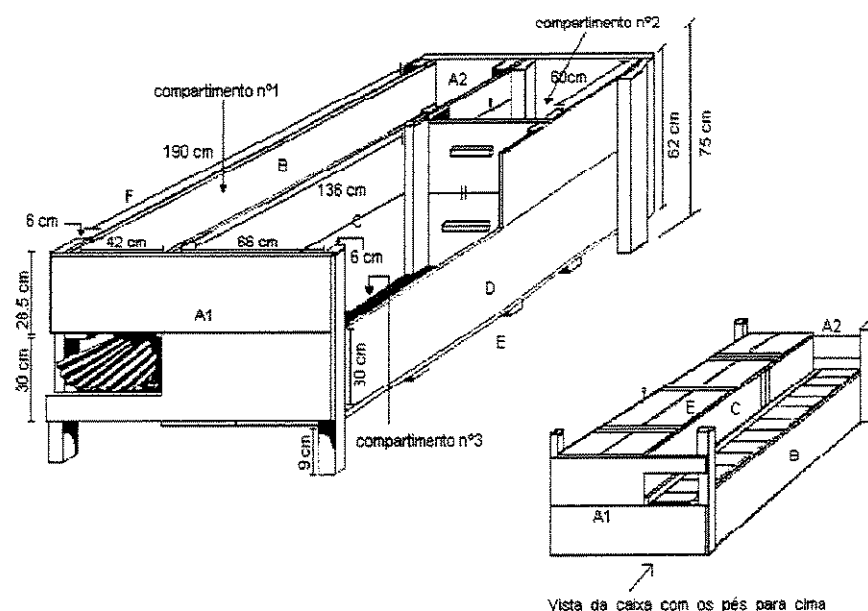
#### 2.2.1.2. Fermentação e secagem das sementes de cupuaçu e de cacau

A fermentação das sementes de cupuaçu e de cacau foi realizada em caixa de madeira, denominada T-60 (190cm x 120cm x 60cm), com espaço entre as tábuas de fundo de 0,2 cm para o escoamento dos líquidos gerados durante o processo fermentativo. A caixa possui três compartimentos com forma e volume

adequados para o processo e capacidade de 160 kg de sementes, devendo ser colocada sob abrigo de chuva e sol (Figura 2.2). A metodologia do processo fermentativo foi descrita por GRIMALDI (1978) e adaptada por VASCONCELOS (1999).

Inicialmente as sementes foram colocadas no primeiro compartimento da caixa, juntamente com folhas picadas de bananeira para proporcionar a inoculação dos microrganismos existentes na superfície destas folhas, e cobertas com sacos de aniagem para auxiliar a retenção de calor gerado durante a fermentação. O tempo total de fermentação foi de 7 dias, com revolvimentos a cada 2 dias para o segundo e terceiro compartimentos da caixa. Foram medidas as temperaturas diárias da massa em diferentes níveis (superfície, meio e fundo), com o auxílio de um termômetro de mercúrio.

Após o processo fermentativo, as sementes fermentadas foram secas ao sol em barçaça de madeira até obtenção de umidade residual de aproximadamente 6%, determinada com o auxílio de um medidor de umidade de cacau.



**Figura 2.2.** Esquema da caixa de fermentação T-60 (GRIMALDI, 1978).

### **2.2.2. Prova de corte**

A qualidade do processo fermentativo de cada lote de sementes fermentadas e secas de cupuaçu e de cacau foi avaliada pela prova de corte, conforme o método proposto para o cacau na Resolução nº42 do Conselho Nacional de Comércio Exterior (CONCEX, 1968).

Foram retiradas de cada lote 100 amêndoas aleatoriamente, as quais foram seccionadas de forma longitudinal, e observadas uma a uma de acordo com o método proposto. Tal procedimento foi realizado em triplicata.

### **2.2.3. Obtenção dos *nibs* de cupuaçu e de cacau**

As amêndoas de cupuaçu e de cacau foram quebradas em moinho de facas, obtendo-se uma mistura de *nibs* (fragmentos do cotilédone), cascas, *nibs* aderidos às cascas e amêndoas inteiras. A separação dos *nibs* e das cascas de desprezíveis dimensões (descarte) foi realizada em peneiras vibratórias. O material retido nas peneiras (*nibs* de boas dimensões, *nibs* aderidos às cascas, cascas e amêndoas inteiras) passou por processo de separação manual, e os *nibs* aderidos as cascas foram separados destas com auxílio de faca (Figura 2.3).

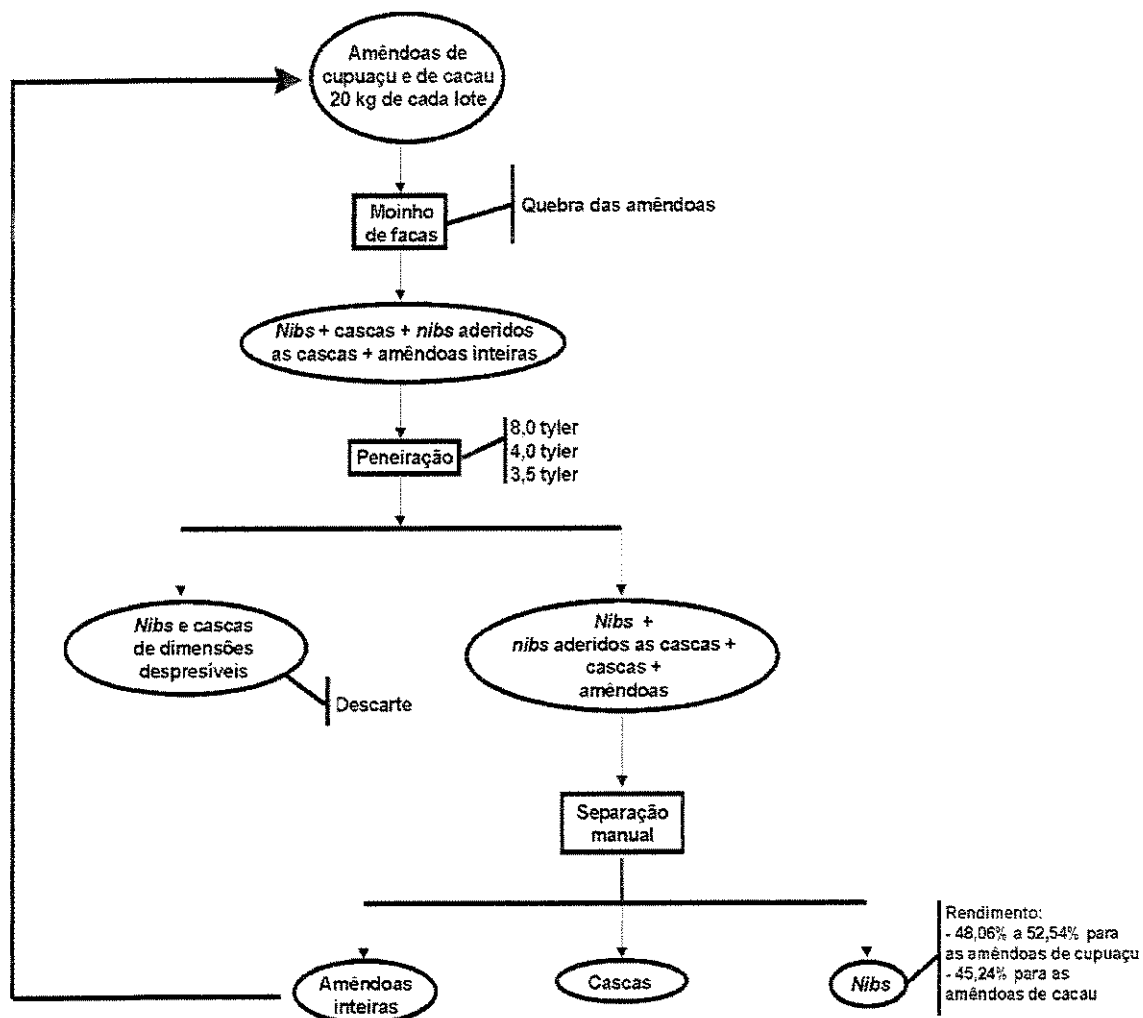
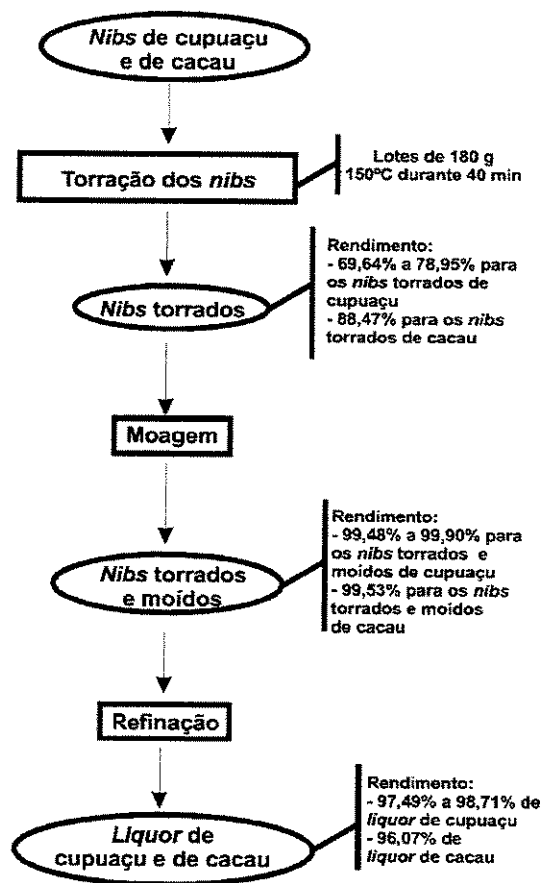


Figura 2.3. Fluxograma do processo de obtenção dos *nibs* de cupuaçu e de cacau.

#### 2.2.4. Obtenção das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau

A Figura 2.4 mostra o fluxograma para a obtenção das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.



**Figura 2.4.** Fluxograma do processo de obtenção das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

##### 2.2.4.1. Torração dos *nibs* de cupuaçu e de cacau

A torração foi efetuada em torrador elétrico rotativo, em lotes de 180 g de *nibs*, à temperatura na camisa do torrador de 150°C durante 40 minutos, conforme SISMOTTO *et al.* (1999). Durante a torração dos *nibs*, a temperatura interna do tambor do torrador foi medida com termopar a cada minuto nos 5 primeiros minutos e depois a cada 5 minutos até completar 40 minutos de torração.

#### **2.2.4.2. Moagem**

Os *nibs* torrados de cupuaçu e de cacau passaram por processo de moagem, utilizando um multiprocessador.

#### **2.2.4.3. Refino**

O refino dos *nibs* torrados e moídos de cupuaçu e de cacau foi realizado em moinho composto de 3 cilindros horizontais de aço inoxidável com circulação de fluido refrigerante (água e álcool), obtendo-se amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau, respectivamente. Para cada lote, o processo foi conduzido quatro vezes com redução progressiva na abertura entre os cilindros.

#### **2.2.5. Caracterização física, química e físico-química das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau**

##### **2.2.5.1. Teor de umidade**

Determinado de acordo com o método 31.1.02, da AOAC (1997).

##### **2.2.5.2. Teor de gordura**

Obtido por extração em *Soxhlet* durante 10 horas e posterior evaporação do solvente, de acordo com o método 31.4.02, da AOAC (1997).

##### **2.2.5.3. Teor de proteínas**

Determinado pela técnica micro *Kjeldahl*, baseado em hidrólise e posterior destilação da amostra, de acordo com o método 31.1.08, da AOAC (1997).

#### **2.2.5.4. Teor de fibras**

Determinado pelo método *Acid Detergent Fibre* (ADF), segundo GOERING & VANSOEST (1970).

#### **2.2.5.5. Teor de cinzas**

As amostras foram carbonizadas até cessar a liberação de fumaça e, posteriormente, calcinadas em mufla a 540°C até peso constante, segundo o método 31.1.04, da AOAC (1997).

#### **2.2.5.6. Teor de carboidratos e outros componentes**

Calculado por diferença:  $100 - (\% \text{ gordura} + \% \text{ proteínas} + \% \text{ fibras} + \% \text{ cinzas})$

#### **2.2.5.7. Valor calórico total**

Calculado segundo KALIL (1975); PASSMORE *et al.* (1975) & USDA (1963).

Valor calórico =  $[(\% \text{ proteínas} + \% \text{ carboidratos}) \times 4 \text{ kcal}] + [\% (\text{gordura}) \times 9 \text{ kcal}]$

#### **2.2.5.8. pH**

Medido de acordo com o método 31.1.07, da AOAC (1997).

#### **2.2.5.9. Acidez total titulável**

Determinada de acordo com o método 11.14.3, da AOAC (1997).

#### **2.2.5.10. Cor**

Determinada em Espectrofotômetro HUNTERLAB/COLORQUEST II. A leitura foi realizada com o aparelho ajustado em reflectância, com especular incluída, utilizando-se o padrão de calibração branco (nº C6299 de 03/96) e preto (nº C6299G de 03/96). A configuração incluiu iluminante D65 e ângulo 10°. As leituras foram realizadas em sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) a temperatura de 22°C.

#### **2.2.5.11. Propriedades reológicas**

As propriedades reológicas foram determinadas em reômetro do tipo cilindros rotativos coaxiais programável BROOKFIELD, dotado de adaptador de pequenas amostras. A relação entre os raios dos cilindros foi de 0,75, de acordo com as recomendações da OICC (1973). As amostras foram cisalhadas neste espaço anular pelo cilindro interno ou *spindle* (#15), que gira conforme velocidade pré-estabelecida, utilizando um banho termostático com o objetivo de manter a temperatura constante durante o decorrer de cada medição, sendo estas de 35, 40, 45 e 50°C.

As amostras fundidas em microondas foram depositadas no copo do reômetro e, uma vez atingida a temperatura escolhida (35, 40, 45 e 50°C  $\pm$  0,5°C), iniciou-se a medição ativando o programa pré-estabelecido no reômetro, desenvolvido por GILBERT-ESCRIVÁ (1997) (Tabela 2.1).

**Tabela 2.1.** Programa desenvolvido em reômetro programável BROOKFIELD.

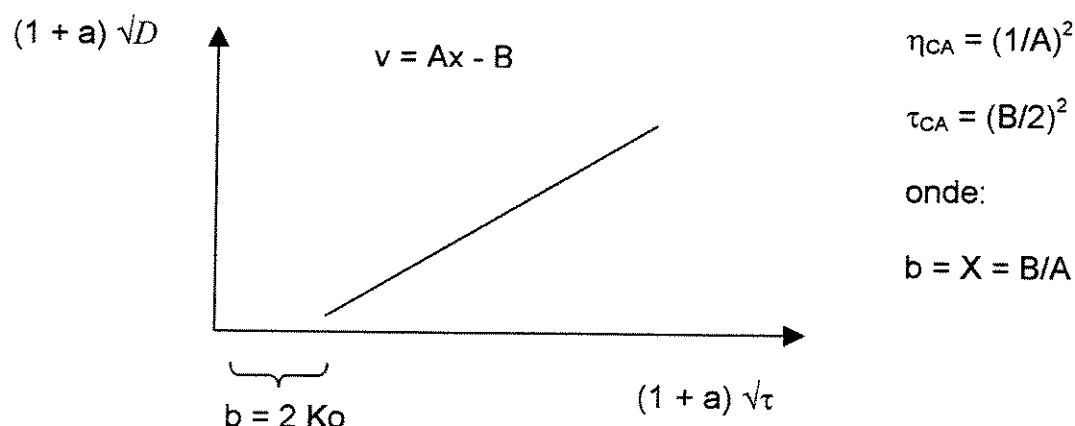
| Tempo (seg) | Rotação (rpm) | Tempo (seg) | Rotação (rpm) |
|-------------|---------------|-------------|---------------|
| *180        | 5             | 15          | 20            |
| **180       | 50            | 15          | 30            |
| 3           | 125           | 10          | 40            |
| 3           | 100           | 6           | 50            |
| 6           | 50            | 6           | 60            |
| 15          | 20            | 5           | 70            |
| 30          | 10            | 5           | 80            |
| 60          | 5             | 4           | 90            |
| 45          | 7,5           | 3           | 100           |
| 30          | 10            | 3           | 110           |
| 25          | 15            | 3           | 125           |

Fonte: GILABERT-ESCRIVÁ, 1997

\*Homogeneização da temperatura da amostra

\*\*Pré-cisalhamento da amostra

Os valores de tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) e de taxa de deformação ( $D$ ), obtidos durante análise em reômetro, com torque no intervalo entre 10 a 95%, foram representados graficamente (Figura 2.5) segundo a equação de Casson  $[(1+a)\sqrt{\tau}$  vs.  $(1+a)\sqrt{D}]$ . Desta forma, obteve-se a linha de tendência de cada gráfico composta pela inclinação (que aponta o valor da viscosidade plástica de Casson,  $\eta_{CA}$ ) e por uma constante (que representa o limite de escoamento,  $\tau_{CA}$ ).

**Figura 2.5.** Reograma de Casson segundo a OICC (1973).

#### 2.2.5.12. Densidade das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau desengorduradas e secas

Esta determinação foi realizada em picnômetro de Hélio, com 10 repetições, como pré-requisito para a medição da distribuição do tamanho das partículas das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau desengorduradas e secas.

Para a realização da medição da densidade das amostras, estas foram desengorduradas em extrator do tipo *soxhlet* durante 10 horas, utilizando como solvente de extração éter de petróleo. Após a evaporação do solvente, foram secas em estufa a 80°C durante 6 horas.

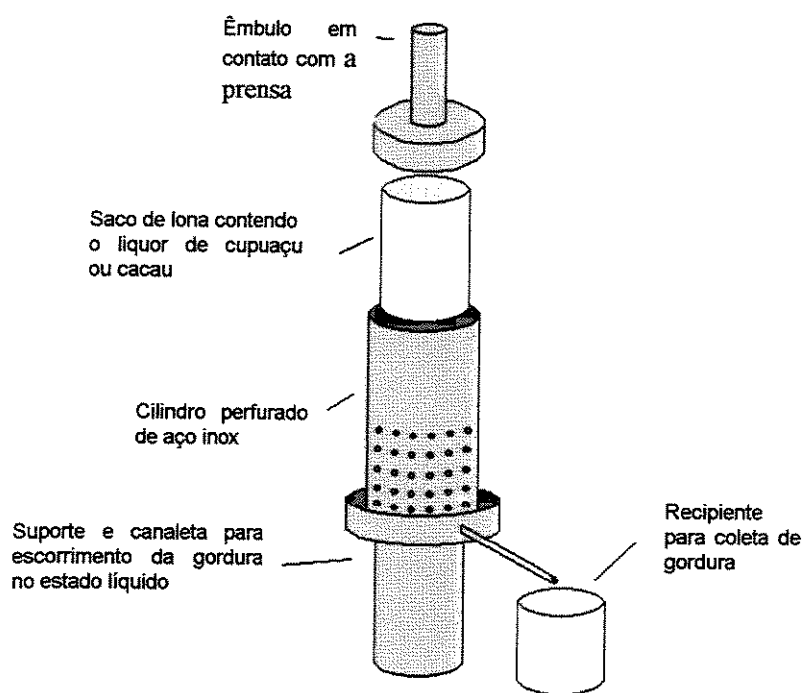
#### 2.2.5.13. Distribuição do tamanho das partículas

A medição da distribuição do tamanho das partículas das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau desengorduradas e secas foi realizada em foto-sedimentômetro LUMOSSED. O equipamento consiste de três sensores situados em diferentes alturas, que são acionados por feixes de laser que atravessam uma cubeta de quartzo contendo a amostra suspensa em um fluido sedimentador. Os resultados são obtidos com o auxílio do *software* GRANUTEST. Utilizou-se como fluido sedimentador a acetona PA (densidade=791 kg/m<sup>3</sup>; viscosidade=0,00033 Pa.s). O teste foi realizado a temperatura de 22°C.

#### 2.2.6. Obtenção e análises físicas e químicas da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau

Para a extração da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau, utilizou-se prensa hidráulica de capacidade de 60 kgf/cm<sup>2</sup>. As amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau foram aquecidas em microondas até a temperatura de 80°C,

acondicionadas em sacos de lona e colocadas dentro do cilindro da prensa (Figura 2.6). O tempo total de extração foi de 40 minutos, sendo que nos primeiros 5 minutos utilizou-se pressão de 10 kgf/cm<sup>2</sup>, em seguida aumentou-se para 20 kgf/cm<sup>2</sup> por mais 5 minutos, 30 kgf/cm<sup>2</sup> por mais 5 minutos e, finalmente 40 kgf/cm<sup>2</sup> no tempo restante (25 minutos). Tal procedimento foi necessário para que os sacos de lona não sofressem ruptura. Após a extração da gordura, esta foi filtrada para a retirada de possíveis partículas sólidas provenientes do *liquor*.



**Figura 2.6.** Montagem do cilindro de aço inox para a prensagem das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau para a obtenção da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau, respectivamente.

#### 2.2.6.1. Viscosidade

Os valores de viscosidade da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau foram determinados em reômetro do tipo cilindros rotativos coaxiais programável BROOKFIELD, dotado de adaptador de pequenas amostras. Estas foram cisalhadas neste espaço anular pelo cilindro interno ou *spindle* (#18), que gira

conforme velocidade pré-estabelecida. As amostras, fundidas em microondas, foram despejadas no copo do reômetro, utilizando como temperatura de medição  $40^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ . O programa desenvolvido para a medição das amostras encontra-se na Tabela 2.2.

**Tabela 2.2.** Programa desenvolvido em reômetro programável BROOKFIELD para as medições dos valores de viscosidade da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau a  $40^{\circ}\text{C}$ .

| Tempo (min) | Rotação (rpm) |
|-------------|---------------|
| 1           | 210           |
| 1           | 220           |
| 1           | 230           |
| 1           | 240           |
| 1           | 250           |

#### 2.2.6.2. Composição de ácidos graxos

Realizada por cromatografia gasosa dos ésteres metílicos dos ácidos graxos, obtidos de acordo com HARTMAN & LAGO (1973), seguindo o método oficial da AOCS Ce 1-62 (1998). Para a cromatografia gasosa utilizou-se um cromatógrafo a gás com detector de ionização de chama. A identificação dos componentes foi feita por comparação com o tempo de retenção dos padrões de ésteres metílicos (Sigma). A quantificação foi realizada pela conversão das percentagens das áreas dos picos, em percentagem de massa. As condições utilizadas nas análises são apresentadas a seguir:

Coluna: Chrompack: “WCOT Fused Sílica” – 50m x 0,25mm

Fase estacionária: “CP – Sil 88” – df: 0,2 $\mu$ L

Gás de arraste: H<sub>2</sub> – alta pureza

Make up: N<sub>2</sub> – alta pureza

Comburente: ar sintético super seco

Amplificador: range 10<sup>12</sup>

Pressão/vazão hidrogênio na coluna: 16psi / 1,5 mL/min

Vazão hidrogênio na chama: 30mL/min

Vazão ar sintético: 300mL/min

Splitter: 1/100

Temperatura no injetor: 250°C

Temperatura no detector: 300°C

Temperatura na coluna: 180-225°C ( $T_{\text{inicial}}$ : 180°C;  $T_{\text{final}}$ : 225°C; tempo inicial isotérmico: 2 minutos, aquecimento: 10°C/min; tempo final isotérmico: 10 minutos)

Aquisição de dados: Workstation Borwin 4

#### **2.2.6.3. Composição de triacilgliceróis**

Realizada em cromatografia líquida de alta eficiência (HPLC) em sistema de fase reversa com detector de índice de refração, nas seguintes condições:

Coluna: Lichrosorb RP-18 (5 $\mu$ m) de 25 cm de comprimento MERCK

Fase móvel: grau HPLC previamente desgaseificada, acetona:acetonitrila (62:38, v/v) com fluxo de 1mL/min

Amostra injetada: solução a 5% em acetona

Volume injetado: 20  $\mu$ L

A identificação dos componentes foi realizada com o auxílio do *Software Peaksimple*, versão 1.4, por meio da comparação com os tempos de retenção de padrões de triacilgliceróis e através do programa de computação TRIGLIC (PLONIS, 1992, citado por FERRARI, 1992).

#### **2.2.6.4. Teor de fósforo**

Realizado em espectrofotômetro pelo método AOCS Ca 12-55 (1998).

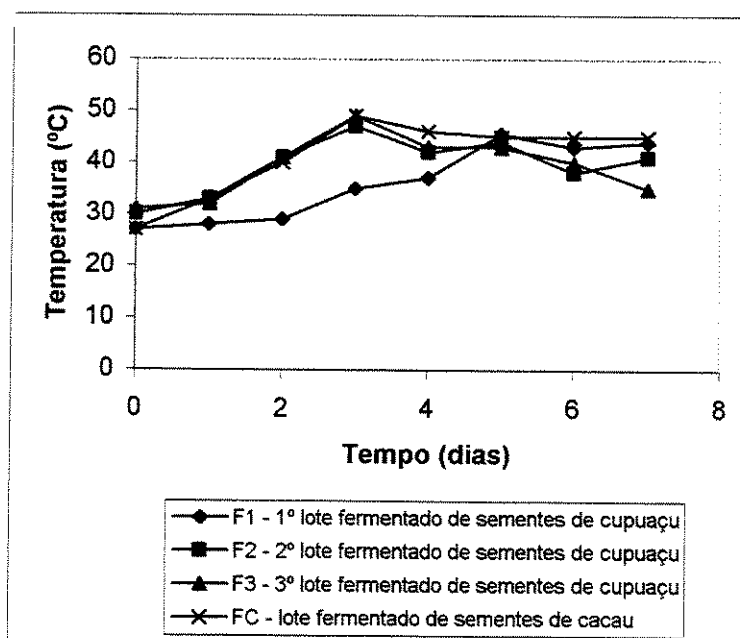
#### **2.2.6.5. Teor de fosfolipídios**

Calculado pelo teor de fósforo dividido por 40, segundo PARSONS & KEENEY (1969).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Perfil de temperatura durante o processo fermentativo

A Figura 2.7 apresenta o perfil de temperatura durante o processo fermentativo dos três lotes de sementes de cupuaçu (F1, F2 e F3) e do lote de sementes de cacau (FC).



**Figura 2.7.** Perfil de temperatura durante o processo fermentativo das sementes de cupuaçu e de cacau.

No primeiro lote fermentado de sementes de cupuaçu (F1), a temperatura inicial da massa foi de 27°C, passando para 28°C no primeiro dia. No segundo dia, a temperatura não sofreu grandes variações, encontrando-se em torno de 29°C, aumentando somente no terceiro dia para 35°C. A temperatura máxima alcançada na fermentação foi de 45,5°C referente ao quinto dia, mantendo-se um pouco abaixo desta até o término do processo.

Verifica-se pela Figura 2.7 que a temperatura do processo fermentativo do lote F1 manteve-se baixa durante um longo período de tempo, prejudicando a fermentação. Isso ocorreu devido às condições climáticas no dia do recebimento das sementes deste lote, pois como chovia bastante no local as sementes encontravam-se molhadas, prejudicando a atividade metabólica dos microrganismos.

Para uma boa fermentação comercial de cacau, a temperatura da massa de semente deve atingir 45°C a 48°C em aproximadamente 3 dias, devendo-se manter tais valores até o término do processo (QUESNEL & LOPES, 1975). Segundo VASCONCELOS (1999), com as sementes de cupuaçu ocorre o mesmo, pois ao fermentá-las em caixa T-60, obteve em 3 dias temperatura da massa de 48°C, sendo esta a temperatura máxima alcançada durante os 7 dias da fermentação, baixando para 43°C e 45°C em dias posteriores e, mantendo-se assim até o término do processo. Suas análises físico-químicas e sensoriais indicaram que o produto estava muito bem fermentado.

No segundo lote fermentado de sementes de cupuaçu (F2), à temperatura inicial da massa foi de 30°C, aumentando consideravelmente no segundo dia para 41°C. Seu máximo foi de 47°C no terceiro dia, decrescendo no quarto dia para 42°C, elevando-se para 44°C no quinto dia. Pela Figura 2.7, observa-se uma queda para 38°C no sexto dia, aumentando para 41°C no último dia da fermentação. Neste processo fermentativo, verifica-se que a temperatura foi melhor controlada, pois as sementes estavam em boas condições, com clima favorável; além do que, por ser a segunda fermentação na caixa T-60, esta já apresentava uma microflora favorável para a fermentação deixada pelo processo anterior (F1).

Segundo DIAS (1987) o aumento de temperatura da massa durante a fermentação é atribuído à atividade metabólica dos microrganismos. Durante o

primeiro dia predominam certas espécies de leveduras que exigem pouco oxigênio, e a temperatura não é tão elevada. Com o consumo de ácido cítrico pelas leveduras, o valor do pH da polpa aumenta gradativamente, tornando o meio mais favorável para as bactérias produtoras de ácido láctico. Quando o pH da polpa atinge valores acima de 4,0 começa a predominar bactérias produtoras de ácido acético, alcançando temperaturas mais elevadas, em torno de 45 a 50°C.

O terceiro lote fermentado de sementes de cupuaçu (F3) apresentou comportamento semelhante ao lote F2, diferenciando somente do sexto para o sétimo dia. No tempo inicial sua temperatura foi de 31°C, alcançando 41°C no segundo dia. Seu máximo foi no terceiro dia com temperatura de 49°C, decrescendo até o término do processo, atingindo 35°C no último dia.

O lote fermentado de sementes de cacau (FC) obteve comportamento semelhante aos lotes F2 e F3, diferindo a partir do quinto dia, pois manteve sua temperatura em torno dos 45°C até o término do processo. Sua temperatura inicial foi de 27°C, alcançando no terceiro dia 49°C, a maior obtida durante todo o processo fermentativo.

O perfil de temperatura durante a fermentação das sementes de cacau apresentou-se de acordo com resultados obtidos por outros autores. Segundo LAJUS (1982), a temperatura nos dois primeiros dias fica em torno de 30 a 32°C, mantendo-se a partir do terceiro dia na faixa de 46 a 50°C até o término do processo.

Pode-se observar que para os lotes F2 e F3, do quinto para o sétimo dia de fermentação houve oscilação de temperatura, diferindo dos lotes F1 e FC, que apresentaram estabilização nos últimos três dias. Tais oscilações ocorrem devido à atividade metabólica dos microrganismos. Entretanto, não houve comprometimento na qualidade dos produtos fermentados (item 3.2).

### 3.2. Classificação das amêndoas de cupuaçu e de cacau

A Tabela 2.3 apresenta os resultados da prova de corte realizada nas amêndoas de cupuaçu e de cacau.

**Tabela 2.3.** Classificação das amêndoas de cupuaçu e de cacau.

| Amostra | Prova de corte |            |            |               |
|---------|----------------|------------|------------|---------------|
|         | *BF (%)        | *PF (%)    | *MF (%)    | *Defeitos (%) |
| F1      | -              | 49,0 ± 3,6 | 49,3 ± 3,2 | 1,7 ± 0,6     |
| F2      | 67,7 ± 2,5     | 20,3 ± 2,1 | 10,7 ± 1,5 | 1,3 ± 0,6     |
| F3      | 41,6 ± 5,2     | 35,6 ± 6,5 | 21,5 ± 3,0 | 1,3 ± 1,2     |
| FC      | 44,3 ± 6,0     | 30,3 ± 4,0 | 23,3 ± 1,1 | 2,0 ± 1,7     |

\*Média de três medições.

F1 – 1º lote fermentado de sementes de cupuaçu.

F2 – 2º lote fermentado de sementes de cupuaçu.

F3 – 3º lote fermentado de sementes de cupuaçu.

FC – lote fermentado de sementes de cacau.

BF – bem fermentadas / PF – parcialmente fermentadas / MF – mal fermentadas.

De acordo com a Resolução N° 42 do CONCEX (1968), uma amêndoa de cacau bem fermentada apresenta cotilédone de coloração marrom. Quando há mistura de coloração marrom com violeta, roxo ou púrpura, a amêndoa é classificada como parcialmente fermentada. Caso esta apresente coloração de violeta a púrpura, em grande parte de sua extensão, é considerada como mal fermentada.

Particularmente, com relação à amêndoa de cupuaçu, esta apresenta coloração marrom claro quando mal fermentada e marrom avermelhado quando bem fermentada (CUNHA *et al.*, 1997). De fato, o que diferencia uma amêndoa bem fermentada da mal fermentada é a quantidade de sulcos presentes em seu cotilédone. Logo, quanto mais sulcos melhor fermentada será a amêndoa.

Segundo MATTIETTO (2001), a diferença de coloração dos cotilédones de cupuaçu e de cacau se deve a diferença na composição de compostos fenólicos e pigmentos entre os frutos.

Para que as amêndoas de cacau apresentem classificação do Tipo I (superior), a soma dos defeitos não deve ultrapassar a tolerância de 6%, sendo 2% para cada defeito isoladamente. Portanto, pela Tabela 2.3, verifica-se que as sementes fermentadas e secas de cacau (FC) foram classificadas como Tipo I.

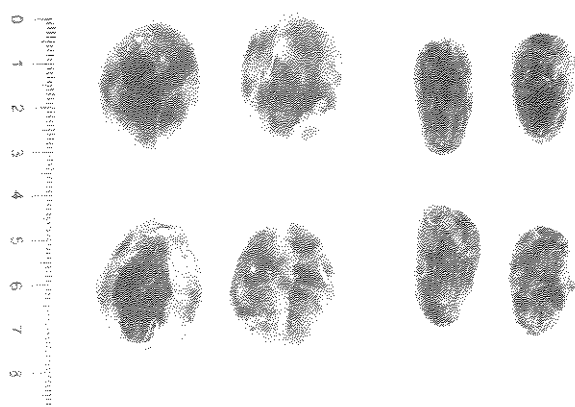
Seguindo a mesma orientação para o cupuaçu, os três lotes de sementes fermentadas e secas (F1, F2 e F3) foram classificadas como Tipo I. Entretanto, verifica-se que no lote F1 não foram encontradas amêndoas bem fermentadas (BF), somente parcialmente (PF) e mal fermentadas (MF), confirmando o que foi visto no item 3.1, ou seja, que o processo fermentativo deste lote não foi bem conduzido.

O lote F2 foi o que apresentou maior percentagem de amêndoas bem fermentadas (67,7%), sendo, portanto, selecionado para as análises comparativas entre seu *liquor* de cupuaçu LF2 e o *liquor* de cacau LFC, proveniente do lote FC.

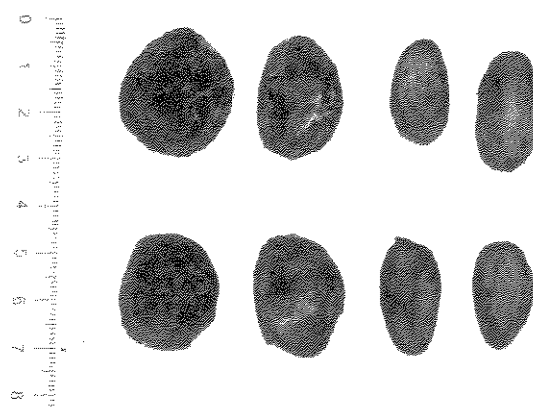
Todos os lotes de sementes fermentadas e secas (F1, F2, F3 e FC) apresentaram aspecto externo bom e aroma típico livre de odores estranhos que podem ser incorporados na etapa de secagem.

As figuras seguintes mostram as sementes de cupuaçu e de cacau não fermentadas e suas amêndoas (sementes fermentadas e secas) para uma melhor compreensão dos dados tratados no item 3.2.

A Figura 2.8 apresenta as sementes de cupuaçu e de cacau não fermentadas e a Figura 2.9 mostra suas amêndoas.



**Figura 2.8.** Sementes não fermentadas de cupuaçu (lado esquerdo) e de cacau (lado direito).



**Figura 2.9.** Amêndoas de cupuaçu (lado esquerdo) e de cacau (lado direito).

O lado esquerdo da Figura 2.8 mostra as sementes de cupuaçu não fermentadas e despulpadas, restando pouco resíduo de polpa, e o lado direito apresenta as sementes de cacau não fermentadas revestidas por sua polpa. Pode-se observar que as dimensões das sementes de cupuaçu são superiores as das sementes de cacau.

As sementes de cupuaçu apresentam de 2,0 a 3,0 cm de comprimento, de 2,0 a 2,5 cm de largura e, de 1,0 a 1,8 cm de espessura. Para as sementes de cacau essas dimensões são de 2,1 a 2,9 cm de comprimento, de 1,0 a 1,7 cm de largura e de 0,8 a 1,2 cm de espessura (ZAMALLOA, 1994; SOUZA *et al.*, 1996).

O lado esquerdo da Figura 2.9 apresenta as sementes de cupuaçu após os processos fermentativo e de secagem, ou seja, suas amêndoas, e o lado direito da figura às amêndoas de cacau. Observa-se que as testas (cascas) das amêndoas de cupuaçu e de cacau sofreram alteração de cor quando comparada as sementes não fermentadas (Figura 2.8). Verifica-se também que todo o resíduo de polpa presente nas amêndoas foi consumido durante o processo fermentativo, pois a fermentação inicia-se pela ação da atividade microbiana na polpa mucilaginosa que envolve a semente.

A Figura 2.10 mostra os cotilédones das sementes não fermentadas de cupuaçu e de cacau e a Figura 2.11 apresenta os cotilédones das mênodoas de cupuaçu e de cacau.



**Figura 2.10.** Cotilédones das sementes não fermentadas de cupuaçu (lado esquerdo) e de cacau (lado direito).



**Figura 2.11.** Cotilédones das amênodoas de cupuaçu (lado esquerdo) e de cacau (lado direito).

Verifica-se pela Figura 2.10, na parte superior esquerda, a semente de cupuaçu não fermentada inteira, enquanto que na parte inferior esquerda a mesma semente seccionada, mostrando seu cotilédone de coloração amarelo claro. A parte escurecida é devido a rápida ação de enzimas ao ser seccionada a semente. O lado superior direito apresenta a semente não fermentada de cacau e o lado inferior direito à mesma semente seccionada, mostrando seu cotilédone de coloração violeta a púrpura.

O lado inferior esquerdo da Figura 2.11 mostra o cotilédone de uma amênodoa bem fermentada de cupuaçu, apresentando coloração marrom avermelhado, com grande quantidade de sulcos. Pode-se verificar na Figura 2.10 que quando a semente de cupuaçu não é fermentada, seu cotilédone apresenta além da coloração amarelo-claro, ausência de sulcos pronunciados.

O lado inferior direito da Figura 2.11 apresenta o cotilédone de uma amêndoa de cacau bem fermentada. Observa-se que a coloração de seu cotilédone é marrom escuro com formação de sulcos pronunciados.

### 3.3. Rendimento dos *nibs* de cupuaçu e de cacau

A Tabela 2.4 apresenta os rendimentos obtidos de *nibs* de cupuaçu e de cacau.

**Tabela 2.4.** Rendimento de *nibs* de cupuaçu e de cacau.

| *Amostra | **Rendimento (%) |
|----------|------------------|
| NF1      | 48,06            |
| NF2      | 49,71            |
| NF3      | 52,54            |
| NFC      | 45,24            |

\**Nibs* com tamanhos de 2 a 6 mm.

\*\*Rendimento calculado como a percentagem de *nibs* em relação ao peso total das amêndoas.

NF1 – *nibs* de cupuaçu provenientes do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

NF2 – *nibs* de cupuaçu provenientes do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

NF3 – *nibs* de cupuaçu provenientes do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

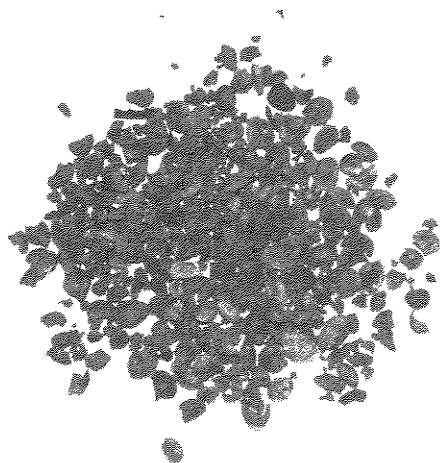
NFC – *nibs* de cacau provenientes do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

A relação peso de cotilédone por peso de casca é cerca de 5% maior para o cupuaçu quando comparada com o cacau. Ao se utilizar o processo de descascamento mecânico complementado por processo manual, foi possível obter maior rendimento de *nibs* de cupuaçu do que de cacau, conforme indica a Tabela 2.4. Resultados diferentes poderão ser obtidos quando se utiliza o processo mecânico tradicional usado para o cacau.

LOPES (2000) utilizou em seu processo de obtenção de *nibs* de cupuaçu e de cacau coluna de ar de separação de testa e, obteve rendimento de *nibs* de cacau (49,88%) superior ao de cupuaçu (34,72%).

A diferença de rendimento se dá devido o cupuaçu apresentar testa mais dura e pesada e cotilédone mais frágil que os de cacau. Logo, ao se utilizar coluna de ar de separação de testa para o cupuaçu, seus *nibs* são arrastados pela coluna ocasionando queda em seu rendimento, enquanto que suas cascas por serem pesadas não são completamente arrastadas como ocorre com as do cacau.

A Figura 2.12 apresenta as amêndoas de cupuaçu após passagem pelo moinho de facas. Verifica-se que há mistura de cascas, *nibs*, *nibs* aderidos as cascas e amêndoas inteiras, que deverão passar por processo de separação. Na Figura 2.13, encontram-se os *nibs* de cupuaçu.



**Figura 2.12.** Amêndoas de cupuaçu logo após sua passagem pelo moinho de facas.



**Figura 2.13.** *Nibs* de cupuaçu.

### 3.4. Torração dos *nibs* de cupuaçu e de cacau

#### 3.4.1. Rendimento da torração dos *nibs* de cupuaçu e de cacau

**Tabela 2.5.** Rendimento da torração dos *nibs* de cupuaçu e de cacau.

| Amostra | *Rendimento (%) |
|---------|-----------------|
| TF1     | 75,12           |
| TF2     | 69,64           |
| TF3     | 78,95           |
| TFC     | 88,47           |

\*Rendimento calculado como a percentagem de *nibs* torrados em relação ao peso total dos *nibs* não torrados.

TF1 – *nibs* torrados de cupuaçu provenientes do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

TF2 – *nibs* torrados de cupuaçu provenientes do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

TF3 – *nibs* torrados de cupuaçu provenientes do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

TFC – *nibs* torrados de cacau provenientes do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

Observa-se pela Tabela 2.5 que o rendimento da torração dos *nibs* de cacau foi superior aos dos *nibs* de cupuaçu. Isso se explica pelo fato de que durante a torração ocorre mudança na textura do cotilédone, deixando-o mais quebradiço. Como os *nibs* (fragmentos do cotilédone) de cupuaçu são mais frágeis que os de cacau, ocorreu sua intensa fragmentação devido a essa mudança na estrutura, em adição ao movimento rotativo do tambor do torrador, ocasionando sua perda. Aliado a isso, possivelmente a condição de torração para os *nibs* de cupuaçu pode ter sido excessiva, enquanto que para o cacau pode ter sido adequada.

A Figura 2.14 apresenta os *nibs* de cupuaçu torrados. Verifica-se que estes apresentam coloração diferente dos *nibs* não torrados (Figura 2.13). Isso é devido à mudança de coloração que ocorre durante o processo de torração.

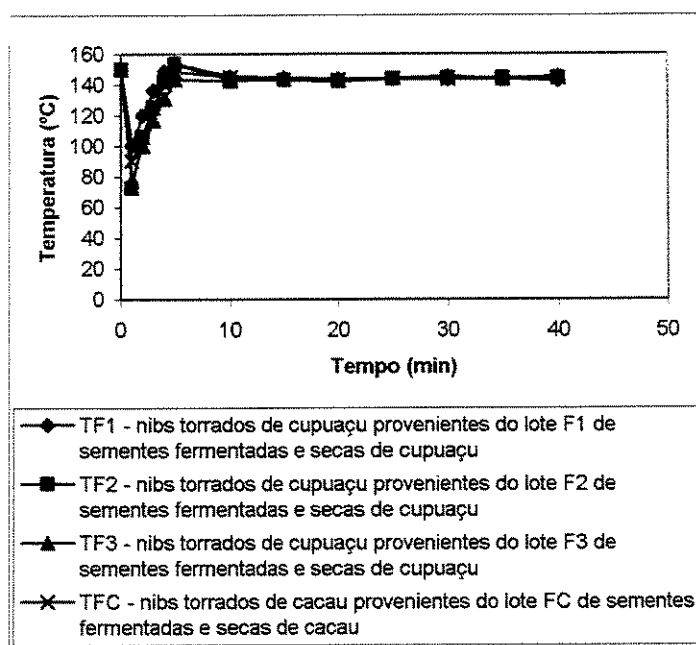


**Figura 2.14.** *Nibs* de cupuaçu torrados.

#### **3.4.2. Perfil de temperatura durante a torração dos *nibs* de cupuaçu e de cacau**

A Figura 2.15 mostra o perfil de temperatura da torração dos *nibs* de cupuaçu e de cacau medidos no interior do torrador. Os dados de temperatura são valores médios de três torrações.

Os *nibs* de cupuaçu e de cacau foram colocados na câmara do torrador à temperatura de 150°C durante 40 minutos. Observa-se pela Figura 2.15 que ao colocá-los ocorreu uma queda de temperatura já prevista devido à troca térmica entre o material e o torrador, chegando em torno de 72 a 100°C, estabilizando-se após 5 a 10 min na temperatura próxima a 150°C.



**Figura 2.15.** Perfil de temperatura durante a torração dos *nibs* de cupuaçu e de cacau.

### 3.5. Rendimento da moagem dos *nibs* torrados de cupuaçu e de cacau

A moagem dos *nibs* torrados de cupuaçu e de cacau apresentou ótimos rendimentos (Tabela 2.6).

**Tabela 2.6.** Rendimento da moagem dos *nibs* torrados de cupuaçu e de cacau.

| Amostra | *Rendimento (%) |
|---------|-----------------|
| MF1     | 99,90           |
| MF2     | 99,84           |
| MF3     | 99,48           |
| MFC     | 99,53           |

\*Rendimento calculado como, a percentagem de *nibs* torrados e moídos em relação ao peso total dos *nibs* torrados.

MF1 – *nibs* torrados e moídos de cupuaçu provenientes do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

MF2 – *nibs* torrados e moídos de cupuaçu provenientes do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

MF3 – *nibs* torrados e moídos de cupuaçu provenientes do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

MFC – *nibs* torrados e moídos de cacau provenientes do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

### 3.6. Rendimento do refino dos *nibs* torrados e moídos de cupuaçu e de cacau

**Tabela 2.7.** Rendimento do refino dos *nibs* torrados e moídos de cupuaçu e de cacau.

| Amostra | *Rendimento (%) |
|---------|-----------------|
| LF1     | 98,71           |
| LF2     | 97,82           |
| LF3     | 97,49           |
| LFC     | 96,07           |

\*Rendimento calculado como a percentagem de *liquor* em relação ao peso total dos *nibs* torrados e moídos.

LF1 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF3 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LFC – *liquor* de cacau proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

O processo de refino obteve ótimos rendimentos, conforme Tabela 2.7. Ao passar os *nibs* de cupuaçu e de cacau (torrados e moídos) nos cilindros do moinho, o produto saiu na forma de um filme que foi raspado, formando flocos finos. O *liquor* de cupuaçu apresentou aroma e aparência bastante característico e semelhante ao *liquor* de cacau.

### 3.7. Resultados obtidos das análises físicas, químicas e físico-químicas das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau

#### 3.7.1. Composição físico-química das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau

A Tabela 2.8 apresenta a composição físico-química das amostras de *liquor* de cupuaçu em base seca.

**Tabela 2.8.** Composição físico-química das amostras de *liquor* de cupuaçu em base seca.

|                                            | Amostra                    |                            |                            |
|--------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                            | LF1                        | LF2                        | LF3                        |
| <b>Umidade (%)</b>                         | 0,97 ± 0,03 <sup>a</sup>   | 0,72 ± 0,03 <sup>c</sup>   | 0,80 ± 0,06 <sup>b</sup>   |
| <b>Proteínas (%)</b>                       | 10,31 ± 0,07 <sup>a</sup>  | 8,95 ± 0,14 <sup>c</sup>   | 9,27 ± 0,04 <sup>b</sup>   |
| <b>Gordura (%)</b>                         | 63,93 ± 0,06 <sup>c</sup>  | 66,51 ± 0,44 <sup>a</sup>  | 65,77 ± 0,12 <sup>b</sup>  |
| <b>Fibras (%)</b>                          | 7,84 ± 0,52 <sup>a</sup>   | 8,20 ± 0,62 <sup>a</sup>   | 7,14 ± 0,16 <sup>a</sup>   |
| <b>Cinzas (%)</b>                          | 2,74 ± 0,04 <sup>a</sup>   | 2,28 ± 0,01 <sup>b</sup>   | 2,28 ± 0,02 <sup>b</sup>   |
| <b>Carboidratos e outros compostos (%)</b> | 15,18 ± 0,49 <sup>a</sup>  | 14,07 ± 0,91 <sup>a</sup>  | 15,54 ± 0,03 <sup>a</sup>  |
| <b>Valor calórico (kcal/100g)</b>          | 677,35 ± 2,22 <sup>b</sup> | 690,63 ± 3,03 <sup>a</sup> | 691,17 ± 1,16 <sup>a</sup> |

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

Média de três medições.

LF1 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF3 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

Com relação ao conteúdo de umidade (Tabela 2.8), observa-se que as amostras de *liquor* de cupuaçu LF1, LF2 e LF3 apresentaram valores inferiores a 1%. O teor de umidade do *liquor* não pode ser elevado para que não ocorra aumento em sua viscosidade plástica, o que acarretaria problemas no processamento de produtos análogos ao chocolate.

Comparando-se estatisticamente as amostras de *liquor* de cupuaçu entre si, observa-se que não houve diferença ao nível de 5% de significância no teor de fibras e de carboidratos. No que se refere aos teores de proteínas e de gordura, houve diferença ( $p \leq 0,05$ ) entre as três amostras. LF1 diferiu ( $p \leq 0,05$ ) no teor de cinzas e valor calórico de LF2 e LF3.

QUEIROZ (1999) obteve teor de gordura para os cotilédones das amêndoas de cupuaçu (61,50%), próximo aos das amostras de *liquor* de cupuaçu (63,93% a 66,51%), porém inferior. Isso porque, como o *liquor* de cupuaçu passa por processo de moagem e de refino, as paredes das células de gordura são rompidas, liberando-se para o meio.

O alto teor de gordura encontrado nas amostras de *liquor* de cupuaçu é de grande interesse comercial. Atualmente, uma pequena fração desta gordura começa a ter aplicação na indústria de cosméticos. Porém, uma aplicação mais nobre e, provavelmente, com maior retorno econômico, seria para a utilização em alimentos, conforme observado por SILVA (1988), LUCCAS (2001) e GILABERT-ESCRIVÁ (2002).

SILVA (1988) estudou a gordura de cupuaçu para verificar sua possível aplicação como sucedâneo da manteiga de cacau e congêneres. O autor concluiu que quando esta é misturada com a manteiga de cacau na proporção de até 10%, pode ser usada como sucedâneo, o mesmo ocorrendo com sua fração sólida (estearina).

LUCCAS (2001) estudou o fracionamento térmico e a obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau na fabricação de chocolates e, concluiu que a estearina de cupuaçu, obtida a 30°C na velocidade de 20 rpm, pode ser utilizada como alternativa à manteiga de cacau, podendo ser aplicada com sucesso na fabricação de chocolates amargo, ao leite e branco, contribuindo com até 5% com base no peso total da formulação, sem alterar as características físicas e sensoriais do produto.

GILABERT-ESCRIVÁ (2002) ao estudar a aplicação de gordura zero-trans pura e desodorizada de cupuaçu em panificação, concluiu que tanto a gordura de cupuaçu pura como a desodorizada pode ser usada em substituição à gordura hidrogenada na elaboração de bolos. O autor verificou que a gordura de cupuaçu tem uma vantagem sobre a gordura hidrogenada, pelo fato de se tratar de gordura natural com zero-trans, qualidade muito procurada atualmente pelos fabricantes de gorduras especiais. Além disso, o volume específico dos bolos experimentais, elaborados com gordura de cupuaçu, não foi diferente do bolo padrão, indicando que esta gordura foi capaz de ajudar o glúten na sustentação da estrutura do bolo, propriedade fundamental requerida para uma gordura de panificação. O mesmo

autor utilizou a gordura zero-trans e desodorizada de cupuaçu e o *liquor* de cupuaçu como ingrediente para sorvetes, concluindo que a gordura de cupuaçu em geral pode ser considerada um bom ingrediente na fabricação de sorvetes, com a vantagem de não conter isômeros trans. O sorvete de *liquor* de cupuaçu foi muito bem aceito em análise sensorial para consumidor.

ARAGÃO (1992) determinou a composição físico-química dos cotilédones de cupuaçu fermentados e torrados e obteve teor de proteínas (10,56%) acima da faixa obtida (8,95 a 10,31%, Tabela 2.8) para as amostras de *liquor* de cupuaçu. No entanto, seus teores de fibras (4,22%) e de gordura (56,42%) foram consideravelmente inferiores. Como consequência do baixo teor de gordura encontrado pelo autor, seu valor calórico (640,73 kcal) ficou abaixo da faixa encontrada (677,35 a 691,17 kcal) neste trabalho para o *liquor*.

Como o lote F2 foi quem apresentou a maior percentagem de amêndoas bem fermentadas (item 3.2), seu *liquor* LF2 foi selecionado para a avaliação comparativa com o *liquor* de cacau LFC, proveniente do lote FC. Portanto, a Tabela 2.9 apresenta a comparação entre a composição físico-química das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau em base seca.

**Tabela 2.9.** Composição físico-química das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau em base seca.

|                                           | Amostra                    |                            |
|-------------------------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                           | LF2                        | LFC                        |
| <b>Umidade (%)</b>                        | 0,72 ± 0,03 <sup>b</sup>   | 1,67 ± 0,11 <sup>a</sup>   |
| <b>Proteínas (%)</b>                      | 8,95 ± 0,14 <sup>b</sup>   | 12,27 ± 0,07 <sup>a</sup>  |
| <b>Gordura (%)</b>                        | 66,51 ± 0,44 <sup>a</sup>  | 54,20 ± 0,81 <sup>b</sup>  |
| <b>Fibras (%)</b>                         | 8,20 ± 0,62 <sup>a</sup>   | 6,68 ± 0,27 <sup>b</sup>   |
| <b>Cinzas (%)</b>                         | 2,28 ± 0,01 <sup>a</sup>   | 2,13 ± 0,03 <sup>b</sup>   |
| <b>Carboidratos e outros compostos(%)</b> | 14,07 ± 0,91 <sup>b</sup>  | 24,23 ± 0,60 <sup>a</sup>  |
| <b>Valor calórico (kcal/100g)</b>         | 690,63 ± 3,03 <sup>a</sup> | 635,73 ± 5,10 <sup>b</sup> |

Os valores de uma mesma linha, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância). Média de três medições.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LFC – *liquor* de cacau proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

Pelos resultados apresentados na Tabela 2.9, observa-se que o *liquor* de cupuaçu difere do *liquor* de cacau ao nível de 5% de significância em suas propriedades físico-químicas.

LF2 apresentou teor de gordura (66,51%) significativamente superior ao de LFC (54,20%), conseqüentemente seu valor calórico também foi maior. No entanto, LFC obteve maior teor de proteínas (12,27%) e de carboidratos (24,23%) em relação a LF2 (8,95% e 14,07%, respectivamente).

Embora o teor de proteínas do *liquor* de cupuaçu tenha sido menor que do *liquor* de cacau, estudos realizados por LOPES (2000) demonstraram que as proteínas presentes no cacau apresentaram menor valor biológico (NPR de 2,03) que as do cupuaçu (NPR de 3,00). Segundo o referido autor, a proteína do cupuaçu possui composição aminoacídica que supera a composição do cacau no que diz respeito aos aminoácidos leucina, isoleucina e tirosina, que são limitantes no cacau. O maior valor nutritivo da proteína do cupuaçu pode ser explicado pela não limitância desses aminoácidos, não podendo ser descartada a presença ou ausência de outras substâncias, ou até, de características físico-químicas peculiares nas proteínas do cupuaçu.

### 3.7.2. pH e Acidez total titulável

**Tabela 2.10.** pH e acidez total titulável das amostras de *liquor* de cupuaçu

| Amostra | PH                       | Acidez total titulável (meq NaOH / 100 g) |
|---------|--------------------------|-------------------------------------------|
| LF1     | 5,34 ± 0,01 <sup>c</sup> | 17,14 ± 0,22 <sup>a</sup>                 |
| LF2     | 5,67 ± 0,03 <sup>a</sup> | 10,75 ± 0,56 <sup>b</sup>                 |
| LF3     | 5,57 ± 0,01 <sup>b</sup> | 10,83 ± 1,09 <sup>b</sup>                 |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de três medições.

LF1 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF3 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

Embora os valores de pH das três amostras de *liquor* de cupuaçu tenham apresentado valores aproximados, observa-se pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, diferenças entre seus valores (Tabela 2.10).

VASCONCELOS (1999) obteve para os cotilédones das sementes fermentadas e secas de cupuaçu pH de 5,34, valor este considerado dentro da faixa ideal para o cacau fermentado e seco que, segundo ARAGÃO (1992), situa-se em torno de 5,0.

A acidez de LF1 diferiu significativamente de LF2 e de LF3. A alta acidez do *liquor* de cupuaçu LF1 (17,14 meq NaOH/100g) pode estar relacionada com o processo fermentativo do lote F1, do qual foi produzido, pois este não foi satisfatoriamente conduzido. A temperatura da massa de sementes demorou a subir devido às sementes se encontrarem molhadas pela chuva, retardando a ação dos microrganismos presentes no processo.

Segundo ROHAN (1964), dentre os fatores que influenciam no processo fermentativo, tem-se: a temperatura ambiente, o perfil de temperatura da massa, pH e acidez da polpa e do cotilédone, tempo do processamento, revolvimento da massa, microflora, etc. Vale ressaltar que, como o lote F1 foi o primeiro a ser fermentado na caixa T-60, não havia uma microflora favorável para o seu processo fermentativo.

De acordo com ZAMALLOA (1994), para a amêndoa de cacau, diversos fatores provocam variações em sua acidez, tais como: variedade, maturação do fruto, época de colheita, região de plantio e, principalmente, na condução do processo fermentativo. Para DIAS (1998), a diferença de acidez tem relação com a quantidade de polpa em torno da semente de cacau. Segundo BAREL (1987), mencionado por BRITO (2000), uma forma de se obter a redução do teor de ácidos é a secagem parcial das sementes antes da fermentação, podendo ser realizado em secadores ou diretamente ao sol.

A Tabela 2.11 mostra a comparação dos valores obtidos de pH e acidez titulável das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

**Tabela 2.11.** pH e acidez total titulável das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

| Amostra | PH                       | Acidez total titulável (meq NaOH / 100 g) |
|---------|--------------------------|-------------------------------------------|
| LF2     | 5,67 ± 0,03 <sup>a</sup> | 10,75 ± 0,56 <sup>b</sup>                 |
| LFC     | 4,99 ± 0,05 <sup>b</sup> | 15,08 ± 1,43 <sup>a</sup>                 |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de três medições.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LFC – *liquor* de cacau proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

Conforme a Tabela 2.11, o *liquor* de cupuaçu apresentou pH mais alto e acidez mais baixa que o *liquor* de cacau. De um modo geral, um dos fatores negativos para o cacau de certas regiões é o excesso de acidez. De acordo com LOPEZ (1983), citado por DIAS (1987), para a amêndoa de cacau, a faixa de acidez desejada pelas indústrias, situa-se entre 12 a 15 meq NaOH/100g. Portanto, o valor obtido neste trabalho para o *liquor* de cacau encontra-se dentro dessa faixa.

### 3.7.3. Análise de cor das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau

A cor do cacau é um importante fator de qualidade para o chocolate, principalmente do cacau em pó, sendo normalmente o tom marrom escuro o mais apreciado. Para isso é realizado o processo de alcalinização, onde se pode variar a cor do produto. No cupuaçu este processo foi estudado por SOUSA *et al.* (1999) e MARCHESE (2002).

Para a caracterização da cor das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau, utilizou-se o sistema de cores CIELAB com seus três parâmetros: parâmetro L\* e as coordenadas cromáticas a\* e b\*. O parâmetro L\* está associado à luminosidade das amostras e, pode variar de 0 a 100, sendo que valores mais

altos de  $L^*$  (próximos de 100) caracterizam amostras mais claras e valores menores de  $L^*$  (menores que 50) caracterizam amostras mais escuras. A coordenada cromática  $a^*$  está associada à dimensão verde-vermelho; valores positivos de  $a^*$  indicam amostras mais avermelhadas, valores negativos de  $a^*$  indicam amostras mais verdes. A coordenada cromática  $b^*$  está associada à dimensão azul-amarelo; valores positivos de  $b^*$  indicam amostras mais amareladas, valores negativos de  $b^*$  indicam amostras mais azuladas.

A Tabela 2.12 apresenta os dados das medições da análise de cor das amostras de *liquor* de cupuaçu.

**Tabela 2.12.** Valores obtidos do parâmetro  $L^*$  e das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor das amostras de *liquor* de cupuaçu.

| Amostra | $L^*$                 | $a^*$             | $b^*$                |
|---------|-----------------------|-------------------|----------------------|
| LF1     | $42,42 \pm 0,24^{ab}$ | $6,50 \pm 0,17^b$ | $8,62 \pm 0,30^b$    |
| LF2     | $43,03 \pm 0,28^a$    | $7,57 \pm 0,18^a$ | $9,32 \pm 0,25^a$    |
| LF3     | $42,28 \pm 0,29^b$    | $7,40 \pm 0,20^a$ | $8,84 \pm 0,19^{ab}$ |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de quatro medições.

LF1 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF3 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

Alguns fatores podem afetar a coloração do *liquor*, como a fermentação das sementes e sua secagem e o processo de torração. Conforme a Tabela 2.12, as amostras de *liquor* de cupuaçu (LF1, LF2 e LF3), apresentam-se nas regiões do vermelho e do amarelo, com o valor do parâmetro  $L^*$  abaixo de 50 ( $L^* < 50$ ), caracterizando-se como amostras escuras.

A Tabela 2.13 apresenta a comparação entre os valores dos parâmetros da análise de cor das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

**Tabela 2.13.** Valores obtidos do parâmetro  $L^*$  e das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

| Amostra | $L^*$              | $a^*$             | $b^*$             |
|---------|--------------------|-------------------|-------------------|
| LF2     | $43,03 \pm 0,28^a$ | $7,57 \pm 0,18^a$ | $9,32 \pm 0,25^a$ |
| LFC     | $44,67 \pm 0,37^b$ | $4,85 \pm 0,28^b$ | $7,10 \pm 0,35^b$ |

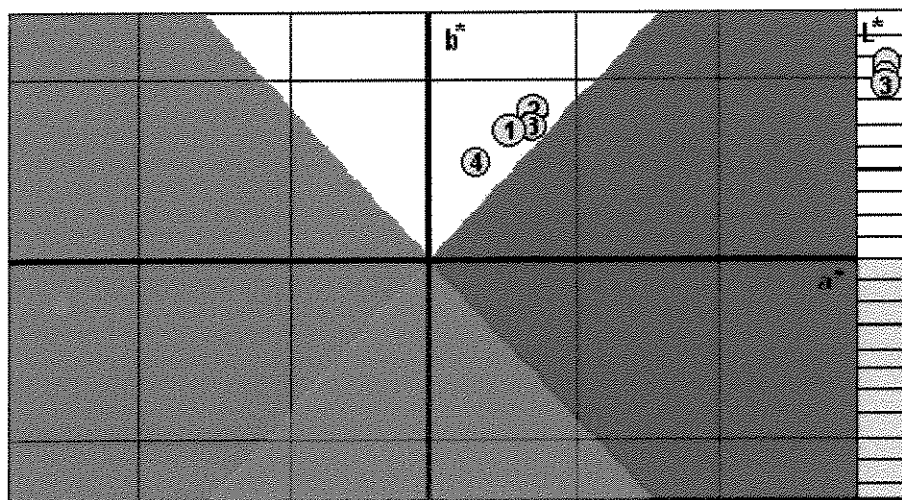
Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de quatro medições.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LFC – *liquor* de cacau proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

Pelo teste de Tukey ( $p \leq 0,05$ ), observa-se que o *liquor* de cupuaçu diferiu significativamente do *liquor* de cacau quanto ao parâmetro  $L^*$  e as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor. O valor do parâmetro  $L^*$  de LF2 foi inferior ao de LFC, porém com intensidade de vermelho e amarelo superior, como indica a Tabela 2.13. A Figura 2.16 mostra a representação de sólidos no CIELAB das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.



1 – Corresponde ao *liquor* de cupuaçu LF1, proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

2 – Corresponde ao *liquor* de cupuaçu LF2, proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

3 – Corresponde ao *liquor* de cupuaçu LF3, proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

4 – Corresponde ao *liquor* de cacau LFC, proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

**Figura 2.16.** Representação de sólidos de cor no CIELAB das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

#### **3.7.4. Comportamento reológico das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau**

Para se avaliar o comportamento reológico das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau, tornou-se necessário isolar alguns fatores para realizar o estudo de suas contribuições, que foram: temperatura, conteúdo de umidade, conteúdo de gordura e, distribuição do tamanho das partículas.

##### **3.7.4.1. Influência da temperatura na viscosidade plástica de Casson**

Sabe-se que o aumento da temperatura proporciona redução na viscosidade, principalmente em matérias-primas de alto teor de gordura. Por isso, o conhecimento dessa variação ocorrida é crucial em determinadas etapas de processamento, onde a temperatura é um dos fatores que pode influenciar no processo. A Tabela 2.14 e a Figura 2.17 mostram essa tendência, onde foram realizadas medições de viscosidade plástica e de limite de escoamento nas amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau a várias temperaturas.

**Tabela 2.14.** Viscosidade plástica de Casson (Pa.s) e limite de escoamento (Pa) das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau nas temperaturas de 35, 40, 45 e 50°C.

| Amostras | Temperatura (°C) | Viscosidade plástica (Pa.s) | Limite de escoamento (Pa) |
|----------|------------------|-----------------------------|---------------------------|
| LF1      | 35               | 5,26 ± 0,16 <sup>a</sup>    | 2,65 ± 0,40 <sup>a</sup>  |
| LF1      | 40               | 5,04 ± 0,55 <sup>a</sup>    | 2,20 ± 0,29 <sup>a</sup>  |
| LF1      | 45               | 2,77 ± 0,08 <sup>b</sup>    | 1,28 ± 0,09 <sup>b</sup>  |
| LF1      | 50               | 2,10 ± 0,05 <sup>b</sup>    | 1,07 ± 0,05 <sup>b</sup>  |
| LF2      | 35               | 25,84 ± 1,18 <sup>a</sup>   | 0,78 ± 0,40 <sup>c</sup>  |
| LF2      | 40               | 15,78 ± 0,23 <sup>b</sup>   | 1,56 ± 0,12 <sup>b</sup>  |
| LF2      | 45               | 9,69 ± 0,99 <sup>c</sup>    | 1,65 ± 0,23 <sup>b</sup>  |
| LF2      | 50               | 4,44 ± 0,43 <sup>d</sup>    | 2,52 ± 0,16 <sup>a</sup>  |
| LF3      | 35               | 11,73 ± 0,96 <sup>a</sup>   | 2,71 ± 0,39 <sup>a</sup>  |
| LF3      | 40               | 6,53 ± 0,58 <sup>b</sup>    | 2,52 ± 0,17 <sup>ab</sup> |
| LF3      | 45               | 4,14 ± 0,12 <sup>c</sup>    | 1,98 ± 0,27 <sup>bc</sup> |
| LF3      | 50               | 3,18 ± 0,04 <sup>c</sup>    | 1,62 ± 0,14 <sup>c</sup>  |
| LFC      | 35               | 4,33 ± 0,33 <sup>a</sup>    | 1,40 ± 0,27 <sup>a</sup>  |
| LFC      | 40               | 2,60 ± 0,18 <sup>b</sup>    | 1,08 ± 0,28 <sup>ab</sup> |
| LFC      | 45               | 2,32 ± 0,08 <sup>b</sup>    | 0,59 ± 0,08 <sup>b</sup>  |
| LFC      | 50               | 1,70 ± 0,07 <sup>c</sup>    | 0,58 ± 0,08 <sup>b</sup>  |

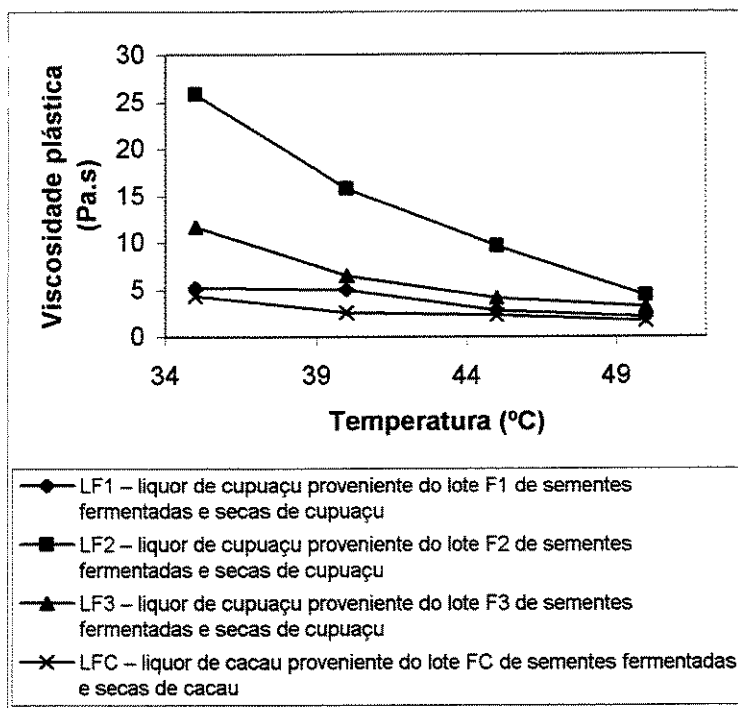
Os valores de uma mesma coluna referente a cada amostra, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância). Média de três medições.

LF1 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF3 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LFC – *liquor* de cacau proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

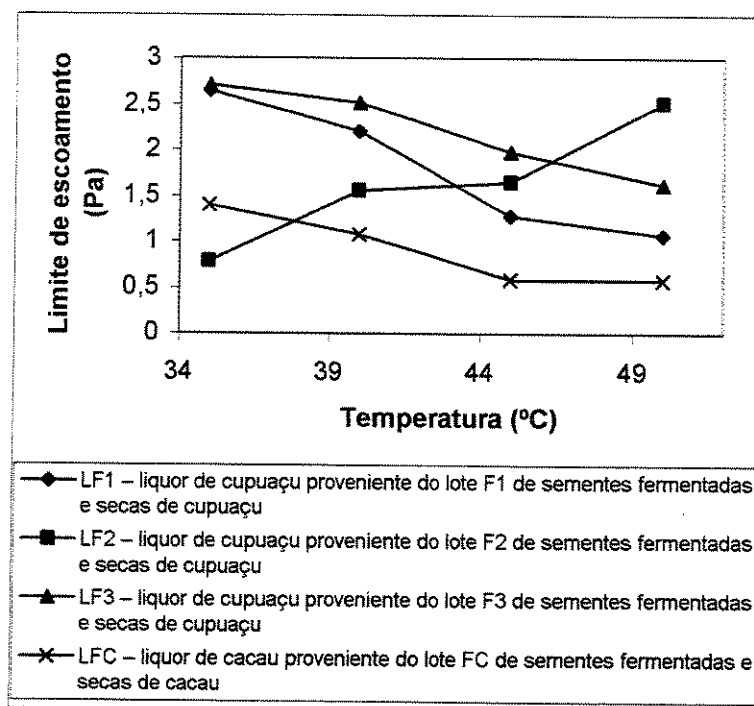


**Figura 2.17.** Influência da temperatura na viscosidade plástica de Casson das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

Para todas as amostras de *liquor* (LF1, LF2, LF3 e LFC), observa-se que houve redução significativa de viscosidade plástica com o aumento de temperatura (Tabela 2.14 e Figura 2.17). A redução mais drástica ocorreu com o *liquor* de cupuaçu LF2, reduzindo 83% o valor de sua viscosidade plástica da temperatura de 35 para 50°C. A viscosidade de LF3 reduziu 73%, enquanto que LFC e LF1 reduziram 61% e 60%, respectivamente.

De acordo com os resultados obtidos, verifica-se que, enquanto o *liquor* de cacau LFC apresentou a menor viscosidade em todas as temperaturas, LF2 obteve valor superior em relação às demais amostras. De fato, observando os quatro produtos (LF1, LF2, LF3 e LFC), pôde-se perceber que, visualmente, LF2 foi o mais viscoso, apresentando forte sensação de areosidade ao se provar.

A Figura 2.18 apresenta o comportamento do limite de escoamento das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau com o aumento da temperatura.



**Figura 2.18.** Influência da temperatura no limite de escoamento das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

Um fato bastante curioso foi observado no comportamento do limite de escoamento do *liquor* de cupuaçu LF2. Enquanto que em LF1, LF3 e LFC o limite de escoamento reduziu com o aumento de temperatura, para LF2 esse comportamento foi o inverso, ou seja, a elevação de temperatura proporcionou aumento em seu limite de escoamento.

#### 3.7.4.2. Influência do conteúdo de umidade na viscosidade plástica de Casson

A Tabela 2.15 apresenta a influência do conteúdo de umidade na viscosidade plástica de Casson das amostras de *liquor* de cupuaçu e a Tabela 2.16 entre as amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

**Tabela 2.15.** Conteúdo de umidade (%) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de *liquor* de cupuaçu a 40°C.

| Amostra | Umidade (%)              | Viscosidade Plástica (Pa.s) |
|---------|--------------------------|-----------------------------|
| LF1     | 0,97 ± 0,03 <sup>a</sup> | 5,04 ± 0,55 <sup>c</sup>    |
| LF2     | 0,72 ± 0,03 <sup>c</sup> | 15,78 ± 0,23 <sup>a</sup>   |
| LF3     | 0,80 ± 0,06 <sup>b</sup> | 6,53 ± 0,58 <sup>b</sup>    |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de três medições.

LF1 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF3 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

Embora a viscosidade aumente com a elevação do conteúdo de umidade, tal efeito não foi observado nas amostras de *liquor* de cupuaçu, como mostra a Tabela 2.15. Apesar de LF2 ter apresentado teor de umidade menor, sua viscosidade foi significativamente superior as demais amostras (LF1 e LF3), ou seja, o conteúdo de umidade não exerceu um comportamento definido com relação a sua influência na viscosidade plástica das amostras.

**Tabela 2.16.** Conteúdo de umidade (%) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau a 40°C.

| Amostra | Umidade (%)              | Viscosidade Plástica (Pa.s) |
|---------|--------------------------|-----------------------------|
| LF2     | 0,72 ± 0,03 <sup>b</sup> | 15,78 ± 0,23 <sup>a</sup>   |
| LFC     | 1,67 ± 0,11 <sup>a</sup> | 2,60 ± 0,18 <sup>b</sup>    |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de três medições.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LFC – *liquor* de cacau proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

Comparando-se os valores de viscosidade plástica entre o *liquor* de cupuaçu LF2 e o *liquor* de cacau LFC, verifica-se (Tabela 2.16) que o conteúdo de umidade, assim como ocorrido com as amostras de *liquor* de cupuaçu, não apresentou comportamento definido com relação a sua influência na viscosidade plástica das amostras. Embora a umidade de LF2 (0,72%) tenha sido menor que a

de LFC (1,67%), a viscosidade daquela (15,78 Pa.s) foi significativamente superior a esta (2,60 Pa.s).

Diante dos resultados obtidos, verifica-se que, para as amostras em questão (LF1, LF2, LF3 e LFC), dentro da faixa de umidade observada, o conteúdo de umidade não exerceu comportamento definido com relação a sua influência na viscosidade plástica de Casson. Portanto, provavelmente outros fatores podem estar influenciando de modo mais significativo na viscosidade dos produtos.

#### 3.7.4.3. Influência do conteúdo de gordura na viscosidade plástica de Casson

Devido o conteúdo de gordura influenciar na viscosidade, sua avaliação foi realizada entre as amostras de *liquor* de cupuaçu (Tabela 2.17) e entre as amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau (Tabela 2.18).

**Tabela 2.17.** Conteúdo de gordura (%) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de *liquor* de cupuaçu a 40°C

| Amostra | Gordura (%BS)             | Viscosidade Plástica (Pa.s) |
|---------|---------------------------|-----------------------------|
| LF1     | 63,93 ± 0,06 <sup>c</sup> | 5,04 ± 0,55 <sup>c</sup>    |
| LF2     | 66,51 ± 0,44 <sup>a</sup> | 15,78 ± 0,23 <sup>a</sup>   |
| LF3     | 65,77 ± 0,12 <sup>b</sup> | 6,53 ± 0,58 <sup>b</sup>    |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de três medições.

LF1 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF3 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

Sabe-se que quanto maior o conteúdo de gordura menor a viscosidade. Entretanto, o conteúdo de gordura não apresentou comportamento definido com relação a sua influência nos valores de viscosidade plástica das amostras de *liquor* de cupuaçu. Pela Tabela 2.17, verifica-se que, embora LF2 tenha apresentado conteúdo de gordura maior (66,51%), sua viscosidade (15,78 Pa.s)

foi significativamente superior as de LF1 (5,04 Pa.s) e LF3 (6,53 Pa.s), quando era de se esperar que sua viscosidade fosse menor devido ao seu maior teor de gordura.

**Tabela 2.18.** Conteúdo de gordura (%) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau a 40°C.

| Amostra | Gordura (%BS)             | Viscosidade Plástica (Pa.s) |
|---------|---------------------------|-----------------------------|
| LF2     | 66,51 ± 0,44 <sup>a</sup> | 15,78 ± 0,23 <sup>a</sup>   |
| LFC     | 54,20 ± 0,81 <sup>b</sup> | 2,60 ± 0,18 <sup>b</sup>    |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de três medições.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LFC – *liquor* de cacau proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

Assim como para as amostras de *liquor* de cupuaçu, o conteúdo de gordura não exerceu comportamento definido com relação a sua influência nos valores de viscosidade plástica das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau. Como ilustra a Tabela 2.18, LF2 que apresentou teor de gordura (66,51%) significativamente maior que de LFC (54,20%), obteve viscosidade (15,78 Pa.s) superior a este (2,60 Pa.s).

Diante dos resultados apresentados, pode-se concluir que, assim como ocorrido no conteúdo de umidade, o conteúdo de gordura não apresentou comportamento definido com relação a sua influência nos valores de viscosidade plástica das amostras de *liquor* de cupuaçu (LF1, LF2 e LF3) e entre as amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau (LF2 e LFC). Neste último caso, embora sejam produtos semelhantes, apresentam diferenças consideráveis com relação à composição química de suas gorduras, que serão vistas logo após a análise da viscosidade plástica de Casson com relação à distribuição do tamanho das partículas. Portanto, outros fatores devem estar influenciando de forma mais significativa na viscosidade plástica de Casson das amostras.

### 3.7.4.4. Influência da distribuição do tamanho das partículas na viscosidade plástica de Casson

No Anexo A constam os histogramas da distribuição do tamanho das partículas das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau e as curvas de frequência acumulada.

A Tabela 2.19 apresenta a distribuição do tamanho das partículas e a viscosidade plástica de Casson das amostras de *liquor* de cupuaçu.

**Tabela 2.19.** Distribuição do tamanho das partículas ( $\mu\text{m}$ ) e viscosidade plástica de Casson (Pa.s) das amostras de *liquor* de cupuaçu a 40°C.

| Amostras | Diâmetro das partículas ( $\mu\text{m}$ ) | *Viscosidade plástica (Pa.s) |
|----------|-------------------------------------------|------------------------------|
|          | Valor cumulativo (90%)                    |                              |
| LF1      | 39,4                                      | $5,04 \pm 0,55^c$            |
| LF2      | 45,8                                      | $15,78 \pm 0,23^a$           |
| LF3      | 40,7                                      | $6,53 \pm 0,58^b$            |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Média de três medições.

LF1 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LF3 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

Quanto maior o tamanho das partículas mais alto será o valor da viscosidade. Tal fato ocorreu com as amostras de *liquor* de cupuaçu, onde pela Tabela 2.19, verificou-se que em ordem crescente de tamanho das partículas e de viscosidade plástica, tem-se: LF1 < LF3 < LF2. Isso indica que o tamanho das partículas influenciou significativamente nos valores de viscosidade das amostras de *liquor* de cupuaçu.

Sabe-se que no processo de refino do *liquor* ocorre a ruptura das células de gordura para o meio, contribuindo na redução da viscosidade do produto. Como visto no item 3.7.4.3, embora o *liquor* de cupuaçu LF2 tenha apresentado teor de

gordura superior aos demais, sua viscosidade foi significativamente maior, o que deveria ser o contrário. Entretanto, como indica a Tabela 2.19, seu tamanho de partícula foi aproximadamente 14 e 11% superior aos de LF1 e LF3, respectivamente, indicando que apesar de possuir maior teor de gordura contida na massa, provavelmente uma parte significativa desta não foi liberada para o meio pelo refino, impedindo uma apreciável redução de sua viscosidade.

A Tabela 2.20 apresenta a distribuição do tamanho das partículas e a viscosidade plástica de Casson das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

**Tabela 2.20.** Distribuição do tamanho das partículas e viscosidade plástica de Casson (pa.s) das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau a 40°C.

| Amostras | Diâmetro das partículas (µm) | *Viscosidade plástica     |
|----------|------------------------------|---------------------------|
|          | Valor cumulativo (90%)       | (Pa.s)                    |
| LF2      | 45,8                         | 15,78 ± 0,23 <sup>a</sup> |
| LFC      | 40,0                         | 2,60 ± 0,18 <sup>b</sup>  |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Média de três medições.

LF2 – *liquor* de cupuaçu proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu.

LFC – *liquor* de cacau proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau.

Assim como para as amostras de *liquor* de cupuaçu, observa-se que o tamanho das partículas influenciou nos valores de viscosidade plástica de Casson entre as amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau (Tabela 2.20). LFC que apresentou tamanho de partículas menor que de LF2, obteve valor de viscosidade plástica significativamente inferior a este.

Como visto no item 3.7.4.1, a redução de viscosidade plástica ocasionada pelo aumento de temperatura proporcionou redução no limite de escoamento nas amostras de *liquor* LF1, LF3 e LFC, entretanto, para LF2 ocorreu seu aumento. Provavelmente essa diferença de comportamento do *liquor* LF2 esteja relacionada com o tamanho de suas partículas, já que foram significativamente maiores.

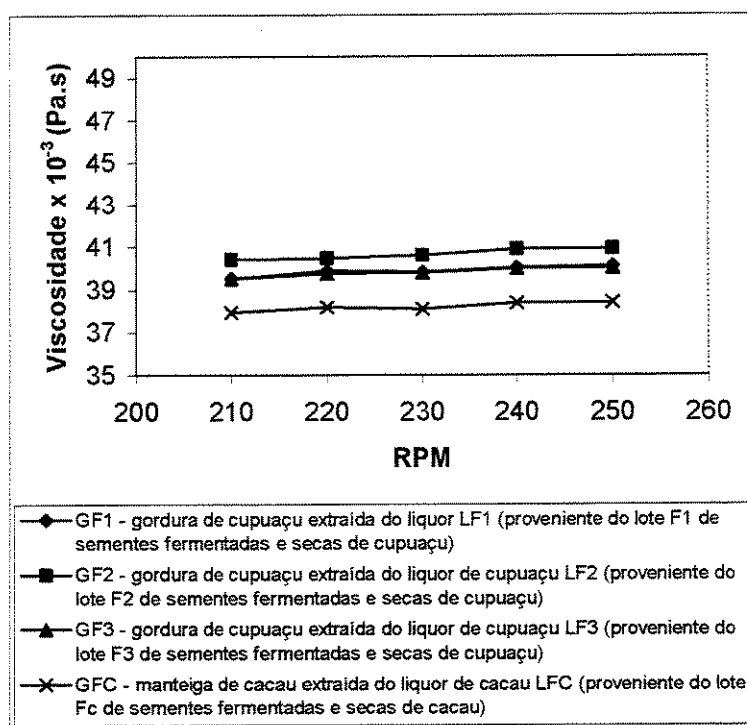
O comportamento reológico de fluidos não newtonianos é bastante complexo, pois são vários os fatores que influenciam e cada qual contribuindo de maneira diferente. A dificuldade aumenta, principalmente, quando a comparação é feita com produtos diferentes, como é o caso do *liquor* de cupuaçu e de cacau, que embora sejam visualmente semelhantes, apresentam diferenças em suas propriedades físicas, químicas e físico-químicas.

Pelos resultados obtidos, pode-se concluir que o tamanho das partículas foi fator determinante nos valores de viscosidade plástica das amostras de *liquor* de cupuaçu e entre as amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau, onde os menores tamanhos de partículas contribuíram nos menores valores de viscosidade plástica de Casson. As diferenças do tamanho das partículas das amostras estão relacionadas ao processo de refino do *liquor*, pois o moinho de cilindros é regulado manualmente, ocasionando obtenção de produtos de diferentes granulometrias, interferindo em seus valores de viscosidade plástica.

#### **3.7.4.5. Comportamento reológico e composição química da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau**

Na busca de melhores elucidações para os valores de viscosidade plástica obtidos das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau, as gorduras presentes nestas foram extraídas para a avaliação de seus comportamentos reológicos, suas composições em ácidos graxos e de triacilgliceróis e seus teores de fósforo e de fosfolipídios, para assim verificar se estas gorduras contribuíram de alguma forma para tal fato.

A Figura 2.19 apresenta o comportamento reológico das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau a 40°C e a Tabela 2.21 apresenta seus valores de viscosidade plástica.



**Figura 2.19.** Comportamento reológico das gorduras de cupuaçu e de cacau à 40°C.

Observa-se pela Figura 2.19 que tanto as gorduras de cupuaçu como a manteiga de cacau apresentou comportamento newtoniano à 40°C.

**Tabela 2.21.** Viscosidade das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau a 40°C.

| Amostra | Viscosidade (Pa.s )                             |
|---------|-------------------------------------------------|
| GF1     | $39,53 \times 10^{-3}$ a $40,10 \times 10^{-3}$ |
| GF2     | $40,43 \times 10^{-3}$ a $40,93 \times 10^{-3}$ |
| GF3     | $39,53 \times 10^{-3}$ a $40,03 \times 10^{-3}$ |
| GFC     | $38,40 \times 10^{-3}$ a $39,93 \times 10^{-3}$ |

Média de três medições.

GF1 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF1 (proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

GF2 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF2 (proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

GF3 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF3 (proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

GFC – manteiga de cacau extraída do *liquor* de cacau LFC (proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau).

Assim como ocorrido com as amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau (Tabela 2.14), a gordura de cupuaçu LF2 (extraída do *liquor* LF2) apresentou viscosidade superior às de GF1 (extraída do *liquor* LF1), GF3 (extraída do *liquor* LF3) e da manteiga de cacau GFC (extraída do *liquor* LFC), sendo que GF1 e GF3 obtiveram valores de viscosidade muito próximos, enquanto que a viscosidade da manteiga de cacau resultou em valores inferiores as da gordura de cupuaçu.

Para uma análise mais aprofundada, as Tabelas 2.22 e 2.23 mostram a composição de ácidos graxos e de triacilgliceróis, respectivamente, das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau.

**Tabela 2.22.** Composição percentual de ácidos graxos (AG) das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau.

| Ácidos graxos              | GF1   | GF2   | GF3   | GFC   |
|----------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Ácido mirístico (C14:0)    | 0,15  | 0,08  | 0,23  | 0,13  |
| Ácido palmítico (C16:0)    | 11,70 | 11,25 | 11,22 | 38,32 |
| Ácido palmitoléico (C16:1) | 0,33  | 0,40  | 0,32  | 0,72  |
| Ácido esteárico (C18:0)    | 37,86 | 38,09 | 38,15 | 33,54 |
| Ácido oléico (C18:1)       | 38,77 | 38,79 | 37,83 | 24,67 |
| Ácido linoléico (C18:2)    | 2,37  | 2,39  | 2,44  | 1,84  |
| Ácido araquídico (C20:0)   | 7,70  | 7,97  | 7,44  | 0,62  |
| Ácido linolênico (C18:3)   | 0,18  | 0,22  | 0,19  | 0,10  |
| Ácido behênico (C22:0)     | 0,71  | 0,74  | 0,74  | 0,05  |
| Saturados (%)              | 58,12 | 58,13 | 57,78 | 72,66 |
| Monoinsaturados (%)        | 39,10 | 39,19 | 38,15 | 25,39 |
| Poliinsaturados (%)        | 2,55  | 2,61  | 2,63  | 1,94  |

GF1 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF1 (proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

GF2 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF2 (proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

GF3 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF3 (proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

GFC – manteiga de cacau extraída do *liquor* de cacau LFC (proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau).

Como mostra a Tabela 2.22, no que concerne à composição de ácidos graxos, verifica-se que as três gorduras de cupuaçu (GF1, GF2 e GF3), pertencentes a lotes de fermentação diferentes, obtiveram valores aproximados.

Observa-se também que a gordura de cupuaçu e a manteiga de cacau apresentaram composição de ácidos graxos diferentes.

Dentre os principais ácidos graxos presentes na gordura de cupuaçu, tem-se: ácido palmítico (C16:0), esteárico (C18:0), oléico (C18:1) e araquídico (C20:0), totalizando cerca de 94,64 a 96,10%. Os três principais ácidos graxos encontrados na composição da manteiga de cacau foram: ácido palmítico (C16:0), esteárico (C18:0) e oléico (C18:1), ou seja 96,53% do total de ácidos graxos.

Comparando-se a composição de ácidos graxos entre as gorduras de cupuaçu e a manteiga de cacau, observam-se maiores discrepâncias com relação aos ácidos palmítico e araquídico.

**Tabela 2.23.** Composição de triacilgliceróis das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau.

| Triacilgliceróis | GF1   | GF2   | GF3   | GFC   |
|------------------|-------|-------|-------|-------|
| PIIP             | -     | -     | -     | 1,88  |
| OOO              | 2,65  | 2,58  | 2,82  | -     |
| POO              | 4,06  | 3,98  | 4,65  | 2,30  |
| PIIS             | 0,94  | 0,80  | 1,17  | -     |
| POP              | 1,03  | 0,95  | 1,16  | 19,65 |
| SOO              | 15,98 | 16,38 | 17,41 | 2,44  |
| POS              | 11,64 | 11,87 | 11,65 | 42,60 |
| OOA              | 9,13  | 9,01  | 8,76  | -     |
| SOS              | 28,87 | 30,18 | 30,43 | 28,97 |
| PSS              | 1,61  | 1,50  | 1,64  | -     |
| SOA              | 17,63 | 18,24 | 17,23 | 0,99  |
| OAA              | 4,12  | 3,86  | 2,94  | -     |
| Outros           | 1,34  | 0,65  | 0,14  | 1,17  |
| SUS              | 60,11 | 62,04 | 61,64 | 94,09 |
| SSS              | 1,61  | 1,50  | 1,64  | -     |
| SUU              | 20,04 | 20,36 | 22,06 | 4,74  |
| UUU              | 2,65  | 2,58  | 2,82  | -     |
| UUS              | 9,13  | 9,01  | 8,76  | -     |
| USS              | 4,12  | 3,86  | 2,94  | -     |

GF1 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF1 (proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu). / GF2 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF2 (proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

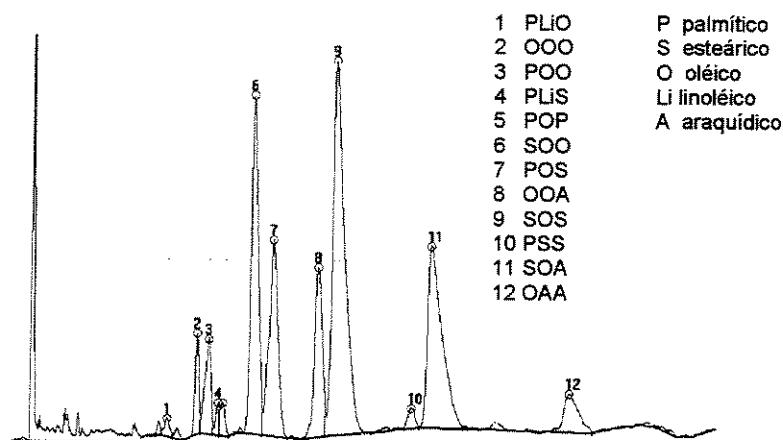
GF3 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF3 (proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu). / GFC – manteiga de cacau extraída do *liquor* de cacau LFC (proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau).

A composição de triacilgliceróis entre as gorduras de cupuaçu apresentou valores aproximados. Entretanto, entre as gorduras de cupuaçu e a manteiga de cacau houve diferenças significativas.

A gordura de cupuaçu apresentou teores de OOO, PLiS, OOA, PSS e OAA que não foram detectados na manteiga de cacau, cerca de 17,33 a 18,45% do total de triacilgliceróis. No cupuaçu não foi encontrado PLiP. A maior quantidade de triacilgliceróis presente na manteiga de cacau foi de POP, POS e SOS, totalizando 91,22%, enquanto que no cupuaçu estes triacilgliceróis contribuíram com cerca de 41,54 a 43,24%. Esses três componentes (POP, POS e SOS) são os responsáveis pelas características peculiares da manteiga de cacau. Desses, somente a percentagem de SOS entre as gorduras de cupuaçu e a manteiga de cacau foi aproximada.

Segundo LUCAS (2001), os triacilgliceróis SOO, OOA e OOO da gordura de cupuaçu podem ser os responsáveis pela sua maciez, enquanto que os triacilgliceróis SOA e OAA podem explicar seu maior ponto de fusão comparado a manteiga de cacau.

A Figura 2.20 mostra um dos cromatogramas obtidos nas análises de triacilgliceróis das gorduras de cupuaçu.



**Figura 2.20.** Traçado cromatográfico dos triacilgliceróis da gordura de cupuaçu.

Além da composição de ácidos graxos e de triacilgliceróis das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau, outro componente interessante de se investigar é o teor de fosfolipídios que, segundo PARSONS & KEENEY (1971), quanto menor o seu teor maior é a viscosidade. A Tabela 2.24 apresenta os teores de fósforo e de fosfolipídios presentes nas gorduras de cupuaçu e na manteiga de cacau e seus valores de viscosidades.

**Tabela 2.24.** Teor de fósforo, fosfolipídios e viscosidade das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau a 40°C.

| Amostra | Teor de Fósforo<br>(mg P/100g) | *Teor de<br>Fosfolipídios (%) | Viscosidade<br>(Pa.s)                               |
|---------|--------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|
| GF1     | 1,56 ± 0,04                    | 0,04                          | 39,53 x 10 <sup>-3</sup> a 40,10 x 10 <sup>-3</sup> |
| GF2     | 1,37 ± 0,02                    | 0,03                          | 40,43 x 10 <sup>-3</sup> a 40,93 x 10 <sup>-3</sup> |
| GF3     | 1,60 ± 0,36                    | 0,04                          | 39,53 x 10 <sup>-3</sup> a 40,03 x 10 <sup>-3</sup> |
| GFC     | 5,10 ± 0,45                    | 0,13                          | 38,40 x 10 <sup>-3</sup> a 39,93 x 10 <sup>-3</sup> |

Médias de três medições.

\*Teor de fosfolipídios = teor de fósforo / 40.

GF1 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF1 (proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

GF2 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF2 (proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

GF3 – gordura de cupuaçu extraída do *liquor* de cupuaçu LF3 (proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu).

GFC – manteiga de cacau extraída do *liquor* de cacau LFC (proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau).

Verifica-se pela Tabela 2.24 que GF1 e GF3, que obtiveram o mesmo teor de fosfolipídios (0,04), apresentaram valores de viscosidade aproximados. No entanto, GF2 que apresentou teor de fosfolipídios (0,03) menor, cerca de 25% inferior aos de GF1 e GF3, obteve viscosidade mais elevada. Além disso, a manteiga de cacau, cujo teor de fosfolipídios foi o maior (0,13), em torno de 69,2 a 76,9% superior aos do *liquor* de cupuaçu, foi quem obteve a menor viscosidade. Tal fato indica que, como visto na literatura, o teor de fosfolipídios contribuiu nos valores de viscosidades das gorduras de cupuaçu e da manteiga de cacau e, conseqüentemente, nas amostras de *liquor*, onde as maiores percentagens de teor de fosfolipídios contribuíram para os menores valores de viscosidade.

É evidente que não é somente um fator que influencia na viscosidade de um produto. Neste caso, nas condições estudadas, o tamanho das partículas e o teor de fosfolipídios tiveram suas contribuições mais evidentes nos valores de viscosidade das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau.

Embora o conteúdo de umidade, neste caso, não tenha apresentado um comportamento definido com relação a sua influência nos valores de viscosidade das amostras de *liquor* de cupuaçu e entre as amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau, impossibilitando uma análise mais segura dos dados, sua contribuição não deixa de existir. Pois, se uma dessas amostras apresentasse uma umidade acima de 2%, esta provavelmente contribuiria de forma mais evidente na elevação de viscosidade, porque acima desse valor, a viscosidade tende a ter um aumento considerável. Portanto, possivelmente, na faixa de umidade observada neste trabalho, o conteúdo de umidade não exerceu contribuição significativa.

Com relação ao teor de gordura, este também influencia nos valores de viscosidade. O que ocorreu, foi que outros fatores, no caso o tamanho das partículas e o teor de fosfolipídios, apresentaram contribuições mais significativas, o que não invalida a contribuição do conteúdo de gordura na viscosidade das amostras.

## 4. CONCLUSÕES

### 4.1. Processo fermentativo das sementes de cupuaçu e de cacau

- O processo fermentativo mostrou-se adequado tanto para as sementes de cupuaçu (lotes F1, F2 e F3) como para as de cacau (FC), com perfil de temperatura semelhante para os lotes F2, F3 e FC; no entanto o lote F1 apresentou perfil diferente devido às condições climáticas no dia do recebimento de suas sementes e por este ser o primeiro lote a fermentar, não havendo nenhuma microflora favorável à atividade microbiana.

### 4.2. Classificação das amêndoas de cupuaçu e de cacau

- As amêndoas dos lotes de cupuaçu F1, F2 e F3 e do lote de amêndoas de cacau FC foram classificadas como Tipo I (superior), segundo CONCEX (1968). Entretanto, no lote F1 não foram encontradas amêndoas bem fermentadas, havendo somente amêndoas parcialmente e mal fermentadas. O lote F2 foi o que apresentou maior percentagem de amêndoas bem fermentadas.

### 4.3. Processo de obtenção das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau

- Pelo método desenvolvido para a obtenção dos *nibs* (fragmentos do cotilédone), verificou-se que o rendimento obtido para os *nibs* de cupuaçu (48,06 a 52,54%) foi superior ao de cacau (45,24%). Tal método foi utilizado devido o processo tradicional de descascamento empregado para o cacau não ser adequado para o cupuaçu, pois este apresenta maior rigidez na testa e maior fragilidade no cotilédone. Portanto, o uso de coluna de ar para a separação da testa do cupuaçu não é capaz de arrastá-la, levando consigo uma boa percentagem de *nibs*.
- O rendimento da torração dos *nibs* de cupuaçu (69,64 a 78,95%) foi inferior aos dos *nibs* de cacau (88,47%) por apresentarem *nibs* mais frágeis que os destes,

ocorrendo sua intensa fragmentação durante a torração devido à mudança em sua estrutura ajudada pela movimentação do tambor do torrador. Aliado a isso, a condição de torração empregada para os *nibs* de cupuaçu pode ter sido excessiva (150°C por 40 min) quando comparada para o cacau.

- O perfil de temperatura do processo de torração dos *nibs* de cupuaçu e de cacau apresentou comportamento semelhante.
- Os processos de moagem e de refino apresentaram-se adequados para a obtenção das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau e com ótimos rendimentos (acima de 96%), mostrando o *liquor* de cupuaçu aroma e aparência bastante característico e semelhante ao *liquor* de cacau.

#### **4.4. Caracterização física, química e físico-química das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau**

- O *liquor* de cupuaçu apresentou teor de gordura de 15 a 18% superior ao *liquor* de cacau. No entanto, sua percentagem de proteínas foi cerca de 16 a 27% inferior. Com relação aos carboidratos e outros componentes, o *liquor* de cupuaçu possui em torno de 35 a 42% a menos que o *liquor* de cacau.
- Os valores de pH das amostras de *liquor* de cupuaçu LF1, LF2 e LF3 ficaram na faixa de 5,34 a 5,67, dentro dos valores encontrados na literatura para os cotilédones de cupuaçu.
- A acidez total titulável de LF1 (17,14 meq NaOH / 100 g) diferiu significativamente ( $p \leq 0,05$ ) de LF2 (10,75 meq NaOH / 100 g) e de LF3 (10,83 meq NaOH / 100 g), provavelmente devido ao processo fermentativo de seu lote de sementes fermentadas e secas F1, do qual foi produzido, não ter sido bem conduzido, pois a temperatura da massa de sementes demorou a subir, retardando a ação dos microrganismos no processo.

- O *liquor* de cupuaçu LF2 apresentou valor de pH (5,67) mais alto e acidez total titulável (10,75 meq NaOH / 100 g) mais baixa que a do *liquor* de cacau LFC (4,99 e (15,08 meq NaOH / 100 g, respectivamente).
- Sob as mesmas condições de fermentação e de torração, o sistema CIELAB revelou que o parâmetro L\* da análise de cor do *liquor* de cupuaçu apresentou cerca de 3,7 a 5,4% superior ao do *liquor* de cacau. Entretanto, a maior diferença se encontra na intensidade de vermelho e amarelo, ou seja, das coordenadas cromáticas a\* e b\*, respectivamente, apresentando o *liquor* de cupuaçu valor da coordenada a\* em torno de 25,4 a 35,9% e da coordenada b\* cerca de 17,6 a 23,8% superiores as do *liquor* de cacau.

#### 4.5. Reologia das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau

- A redução da viscosidade plástica das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau com o aumento da temperatura de 35 para 50°C, foi bastante significativa. De um modo geral, esta redução foi de 60 a 83%, sendo que o *liquor* de cacau LFC apresentou valor de viscosidade inferior aos das amostras de *liquor* de cupuaçu em todas as temperaturas estudadas.
- A amostra LF2 apresentou comportamento reológico bastante diferenciado em relação às demais amostras (LF1, LF3 e LFC), com valor de viscosidade bastante elevado. Enquanto seu limite de escoamento aumentou com a elevação da temperatura de 35 para 50°C, para as demais amostras esse comportamento foi o inverso, ou seja, para LF1, LF3 e LFC a elevação da temperatura proporcionou redução nos valores de seus limites de escoamento.
- O *liquor* de cupuaçu LF2 a 40°C e com tamanho de partículas de 45,8 µm apresentou viscosidade de 15,78 Pa.s, enquanto que as amostras LF1, LF3 e LFC com tamanho de partículas de 39,4, 40,7 e 40,0 µm, respectivamente, apresentaram a 40°C valores de viscosidade de 5,04, 6,53 e 2,60 Pa.s,

respectivamente. Tais resultados indicaram que o tamanho das partículas influenciou significativamente nos valores de viscosidade das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau, onde para tamanhos maiores de partículas os valores de viscosidade foram mais elevados. Provavelmente, a alta viscosidade do *liquor* de cupuaçu LF2 foi devido a um inadequado processo de refino, já que os cilindros do equipamento são regulados manualmente. Com isso, uma boa percentagem de células de gordura, não foram rompidas durante o processo, impedindo sua liberação para o meio, além de prejudicar a redução granulométrica das partículas.

- Os teores de fosfolipídios presentes nas gorduras de cupuaçu e na manteiga de cacau, extraídas das amostras de *liquor* de cupuaçu e de cacau, respectivamente, influenciaram nos valores da viscosidade plástica destes, onde a menor quantidade de fosfolipídios proporcionou maior viscosidade.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists: edited Ig W. Horwitz 16<sup>a</sup> ed. Washington, 850p, 1997. v.2.
- AOCS. Official Methods and recommended practices of the American Oils Chemist Society. 3 ed. Champaign. v.1-2. 1998.
- ARAGÃO, C.G. Mudanças físicas e químicas da semente do cupuaçu (*Theobroma Grandiflorum* Schum) durante o processo fermentativo. Manaus, 1992. 115p. Dissertação (Mestrado). Fundação Universidade do Amazonas.
- BRITO, E.S. Estudo de mudanças estruturais e químicas produzidas durante a fermentação, secagem e torração do cacau (*Theobroma cacao* L.) e propostas de tratamentos para o melhoramento do sabor. Campinas, 2000. 134 p. Dissertação (Doutorado). Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- CALZAVARA, B.B.G. Cupuaçuzeiro. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1987. 6p. (EMBRAPA-CPATU. Recomendações Básicas, 1).
- CALZAVARA, B.B.G.; MÜLLER, C.H. & KAHWAGE, O.N.C. Fruticultura tropical: o cupuaçuzeiro, cultivo, beneficiamento e utilização do fruto. Belém: EMBRAPA-CPATU, 1984. 101p. (EMBRAPA-CPATU, Documentos, 32).
- CHEVALLEY, J. Rheology of chocolate. Journal of Texture Studies. v.6, n.1, p.177-196, Boston, Jan., 1974.
- CHEVALLEY, J. Chocolate flow properties. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.139-155, 1994.

CONCEX. Conselho Nacional do Comércio Exterior. Resolução nº42. Rio de Janeiro. 9 p. 1968. Brasil.

CUNHA, C.R., JACKIX, M.N.H., CORTELAZZO, A. & VASCONCELOS, M.A.M. Alterações na microestrutura das amêndoas durante a fermentação de sementes de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), In: II Simpósio Latino Americano de Ciência de Alimentos. 1997. Campinas – São Paulo.

DIAS, J. C. Permeabilidade da casca da semente de cacau ao ácido acético: evolução na fermentação e efeito da adição de celulases, antes da secagem, na acidez do produto final. Lavras, 1987. 70p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Lavras (ESAL).

FANG, T.N.; TIU, C.; WU, X. & DONG, S. Rheological behaviour of cocoa dispersions. Journal of Texture Studies. n.26, p.203-215, 1995.

FERRARI, R.A. Estudo comparativo da composição lipídica do milho híbrido nutrimaiz com as cultivares genitoras. Campinas, 1992. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

GILABERT-ESCRIVÁ, M.V. Comparação das propriedades reológicas da massa de cacau torrada convencionalmente e por microondas. Campinas, 1997. 88p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

GILABERT-ESCRIVÁ, M.V. Caracterização e seleção de gorduras do gênero *Theobroma* para aplicação tecnológica. Campinas, 2002. Dissertação (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

- GOERING, H. K. & VAN SOEST, P. J. Forage fibre analysis. Agri-handbook: Agriculture Research Service, U. S. Dept. Agriculture, p.375, 1970.
- GRIMALDI, J. Les possibilités D'amélioration des techniques D'ecabossage et de fermentation dans le processus artisanal de la préparation du cacao. Café, Cacao, Thé. v.22: p.306-316, 1978.
- HARTMAN, L.; LAGO, R. Rapid preparation of fatty acid methyl esters from lipids. Lab. Pract. London. V.22, n.8, p. 475-476. Aug 1973.
- HOMMA, A.K.O. Cupuaçu: potencialidades e mercado, algumas especulações: In: I Workshop sobre culturas de cupuaçu e pupunha. De 25 a 29 de março de 1996, p.85-90, Manaus-AM.
- HUFFMAN, P. Chocolate Flavor: Practical Guide for the User. The Manufacturing Confectioner, v. 72, n. 4, p. 65-67, Apr., 1992. Glen Rock, NJ.
- KALIL, A. C. Manual Básico de Nutrição. São Paulo: Instituto de Saúde, 1975.
- KLEINERT, J. Cleaning, roasting and winnowing. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.55-69, 1994.
- KUSTER, W. Liquor Grinding. The Manufacturing Confectioner, 64(8): 47-55, 1984.
- LAJUS, B. Estudo de alguns aspectos da tecnologia do cacau. São Paulo, 1982. 81p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo.

- LOPES, A.S. Estudo químico e nutricional das amêndoas de cacau (*Theobroma cacao* L.) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) em função do processamento. Campinas, 2000. 112p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- LUCCAS, V. Fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate. Campinas, 2001. 195p. Dissertação (Doutorado). Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- MARCHESE, D.A. Estudo do processo de obtenção do pó de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) alcalinizado. Campinas, 2002. 139p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Alimentos – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- MATTIETTO, R.A. Estudo comparativo das transformações estruturais e físico-químicas durante o processo fermentativo de amêndoas de cacau (*Theobroma cacao* L.) e cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum). Campinas, 2001. 164p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Alimentos – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- MEURSING, E.H. Cocoa mass, cocoa butter, cocoa powder. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.70-82, 1994.
- MINIFIE, B.W. Chocolate, cocoa and confectionary: science and technology. 3. Ed. Na AVI Book published by Van Nostrand Reinold, 940p. New York, 1985.
- MINSON, E. Chocolate Manufacture – Beans Through Liquor Production. The Manufacturing Confectioner, Nov. 1992, p.61-67.

MOHR, W. In MEILI, M. Estudes des Correlations entre le Comportement Technologique des Substances Aromatiques et Leurs Propriétés Physico-chimiques. Compiègne 1978. Thèse Docteur – Université de Technologie de Compiègne.

NA ROTA do açaí chega o cupuaçu. Gazeta Mercantil, p. 1. São Paulo. 14 fev.

OICC. Analytical methods of the Office International du Cacao et du Chocolat. [S.I.], 1973. P. 8b.

PASSMORE, R.; NICOL, B. M. & RAO, M. N. Manual sobre Necessidades Nutricionales del Hombre. Ginebre: OMS, 1975.

QUEIROZ, M.B. Avaliação do estudo da Torração de Amêndoas de Cupuaçu (*Teograma grandiflorum*). Campinas, 1999. 109p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).

QUESNEL, V.C. & LOPEZ, A. A sweat-box for fermentation small samples of cacao. Tropical Agriculture, Trinidad, v.52, n.4, p.309-316, 1975.

ROHAN, T.H. El beneficio del cacao bruto destinado al mercado. FAO: Estudo Agropecuário. 223p., 1964.

SILVA, W.G. Gordura de Cupuaçu, Sucedâneo da Manteiga de Cacau. São Paulo, 1988. Dissertação (Doutorado). Faculdade de Ciências de Farmacêuticas - Universidade de São Paulo (USP).

SISMOTTO, M.; JACKIX, M.N.H.; DOSUALDO, J.L. Determinação do perfil sensorial do cupulate. Anais do III Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos, UNICAMP. Campinas, 1999.

- SOUSA, M.V.; JACKIX, M.N.H.; BISPO, E.S. Alcalinização de “nibs” de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) para utilização em bebidas funcionais em pó. Anais do III Simpósio Latino Americano de Ciências de Alimentos, UNICAMP. Campinas, 1999.
- SOUZA, A.G.C.; SOUSA, N.R.; SILVA, S.E.L.; NUNES, C.D.M.; CANTO, A.C.C. & CRUZ, L.A.A. Fruteiras da Amazônia. Coleção Biblioteca Botânica Brasileira, Serviço de Produção de Informação - SPI, v.1, p. 100-102, Brasília. (EMBRAPA), 1996.
- TANERI, C.E. Chocolate Liquors: Factors Affecting Viscosity. The Manufacturing Confectioner, March, 1976, p. 45-55.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. Composition of Foods. Washington: USDA, 1963.
- VASCONCELOS, M.A.M. Transformações físicas e químicas durante a fermentação de amêndoas do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum). Campinas, 1999. 114p. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.
- VENTURIERI, G.A. Cupuaçu: a espécie, sua cultura, usos e processamento. Belém: Clube do Cupu. 1993. 108p.
- ZAMALLOA, C.W.A. Caracterização físico-química e avaliação de metil pirazinas no desenvolvimento do sabor, em dez cultivares de cacau (*theobroma cacao* L) produzidos no Estado de São Paulo. Campinas, 1994. 121p. Dissertação (Doutorado) - Faculdade de Engenharia de Alimentos – Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP.

## CAPÍTULO III - Estudo do processo de temperagem

### Resumo

O processo de temperagem do chocolate tem como finalidade cristalizar a manteiga de cacau e/ou gordura de leite na forma mais estável, proporcionando ao produto maior qualidade sensorial, com brilho, consistência ideal, evitando *fat bloom* e havendo maior contração de volume no molde. Estudos recentes indicam que produtos análogos ao chocolate podem ser elaborados com amêndoas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum), com possibilidades promissoras de mercado. Neste trabalho foram feitas três formulações: chocolate ao leite ( $F_0$ ), produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu ( $F_{50}$ ) e 100% de substituição desses mesmos ingredientes ( $F_{100}$ ). Com o objetivo de otimizar o processo de temperagem desses produtos, foi realizado um planejamento experimental fatorial completo  $2^2$ , com dois níveis (-1,+1), três pontos centrais e dois pontos axiais ( $-\alpha, +\alpha$ ), resultando em 11 experimentos, tendo como variáveis independentes a temperatura de cristalização e o tempo de cristalização, cujos máximos e mínimos ( $-\alpha, +\alpha$ ) foram de 27,4 a 31,6°C para as três formulações e de 4 a 11 min para  $F_0$ , de 3 a 10 min para  $F_{50}$  e de 0,7 a 2,9 min para  $F_{100}$ . As variáveis dependentes foram: descrição por provadores selecionados dos atributos sensoriais brilho, *fat bloom*, presença de bolhas e qualidade do moldado; determinações instrumentais de cor ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ) e força de ruptura (textura). A análise dos resultados foi feita através da Metodologia de Superfície de Resposta. Foram realizadas as medições da viscosidade plástica de Casson e do limite de escoamento na temperatura inicial do processo de temperagem (40°C) e na temperatura de cristalização de cada experimento com reômetro programável BROOKFIELD. Utilizou-se calorimetria de varredura diferencial (DSC) para o estudo do comportamento térmico do melhor e pior produto temperado de cada formulação, conforme resultados obtidos por superfícies de resposta. Para o melhor produto temperado de cada formulação,

realizou-se um teste de aceitação com consumidores. Os resultados do planejamento experimental indicaram que para a formulação  $F_0$  os modelos ajustados para os atributos *fat bloom* e presença de bolhas e para as análises de cor e força de ruptura, mostraram boa capacidade preditiva, ficando dentro da região ótima em relação ao atributo *fat bloom*, ou seja, produtos sem *fat bloom*, os experimentos 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  e  $t_c=5\text{min}$ ) e 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=11\text{min}$ ). Para a formulação  $F_{50}$  os atributos *fat bloom* e qualidade do moldado foram considerados preditivos, estando o experimento 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=10\text{min}$ ) dentro da região ótima para o atributo *fat bloom*. Na formulação  $F_{100}$  somente o atributo *fat bloom* apresentou capacidade preditiva, entretanto nenhum experimento atingiu sua região ótima, sendo o experimento 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) o mais próximo desta. Por DSC não foi possível detectar com segurança se havia diferença entre o comportamento térmico de um produto bem temperado de um mal temperado. Por análise sensorial, verificou-se que para os atributos cor e aroma, o produto  $F_0$  foi o que apresentou maior aceitação por parte dos consumidores, ficando o produto  $F_{50}$  com notas mais altas para os atributos sabor e aceitação global, e a atitude de compra do consumidor. O produto  $F_{100}$  apresentou maior aceitação em relação ao atributo textura devido a sua maior maciez.

## Abstract

The tempering process in the manufacture of chocolate is carried out to crystallize cocoa butter and/or milk fat in its most stable form proportioning better sensory quality (shine, ideal consistency, no fat bloom and greater volume contraction in the mold) to the product. Recent studies indicate that products analogue to chocolate can be elaborated with cupuassu (*Theobroma grandiflorum* Schum) nuts, with promising market possibilities. In this work, three formulations were prepared: milk chocolate ( $F_0$ ), products analogue to milk chocolate with 50% substitution with cupuassu *liquor* and fat ( $F_{50}$ ) and with 100% substitution with these same ingredients ( $F_{100}$ ). With the objective of optimizing the tempering process in the preparation of these products, a  $2^2$  complete factorial experimental design of two levels (-1, +1), three central points (0), and two axial points ( $-\alpha$ ,  $+\alpha$ ), was adopted, resulting in 11 experiments, having as independent variables: crystallization time and temperature, the maximum and minimum values ( $-\alpha$ ,  $+\alpha$ ) of which were of 27.4 to 31.6°C for the three formulations and of 4 to 11 min for  $F_0$ , of 3 to 10 min for  $F_{50}$  and of 0.7 to 2.9 min for  $F_{100}$ . The dependent variables (responses) were: description of sensory attributes (shine, fat bloom, presence of air bubbles and molding) by selected panelists; instrumental determinations of color ( $L^*$ ,  $a^*$  and  $b^*$ ) and rupture force (texture). The analysis of the results was carried out using the Response Surface Methodology. Measurements of Casson plastic viscosity and flow limit at the initial temperature of the tempering process (40°C) and at the crystallization temperature of each experiment were carried out with a programmable BROOKFIELD rheometer. For the best tempered product of each formulation, a consumer acceptance test was carried out. The results of the experimental planning indicated that for formulation  $F_0$  the adjusted models for the attributes fat bloom and presence of air bubbles and for the instrumental analyses of color and rupture force showed good predictive capacities, being within the optimal region for fat bloom, this is, products without fat bloom, experiments 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  and  $t_c=5\text{min}$ ) and 11 ( $T_c=29.5^\circ\text{C}$  and  $t_c=11\text{min}$ ). For formulation  $F_{50}$ , the models for fat bloom and molding were considered predictive, being experiment 11

( $T_c=29.5^{\circ}\text{C}$  and  $t_c=10\text{min}$ ) within the optimal region for fat bloom. For formulation  $F_{100}$ , only the model for fat bloom presented predictive capacity, however no experiment reached the optimal region, being experiment 8 ( $T_c=27.4^{\circ}\text{C}$  and  $t_c=1.75\text{min}$ ) the closest to it. Through sensory analysis it was possible to verify that for the attributes color and aroma, product  $F_0$  was the one that presented greatest acceptance by consumers, having product  $F_{50}$  higher scoring for the attributes flavor and global acceptance, and consumer buying attitude. Product  $F_{100}$  presented greater acceptance with respect to the attribute texture, as it was softer.

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos têm-se intensificado estudos de produtos análogos ao chocolate elaborados a partir das sementes fermentadas e secas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum), que é um fruto amazônico cuja polpa é consumida não somente nesta região, mas também em outras localidades do Brasil e exterior. O desenvolvimento de processo industrial adequado para a produção desses produtos abre novas perspectivas para a indústria alimentícia, propiciando à utilização de um resíduo descartado de alto valor nutricional.

Para a obtenção dos produtos oriundos das amêndoas de cupuaçu, utilizam-se as mesmas etapas de processamento do chocolate, que são: mistura, que consiste em homogeneizar os ingredientes (açúcar, *liquor* de cacau, manteiga de cacau e leite em pó) nas proporções corretas da formulação até obtenção de massa uniforme; refino, onde se realiza a redução de granulometria, de modo que 90% das partículas atinjam dimensões em torno de 20  $\mu$ ; conchagem, na qual o produto refinado é submetido por várias horas a agitação e cisalhamento sob temperatura controlada, desenvolvendo sabor, removendo voláteis indesejáveis e promovendo redução de umidade e viscosidade; temperagem, que faz com que a gordura presente no chocolate se cristalize na forma mais estável; moldagem e resfriamento, onde o chocolate líquido é depositado em moldes e transportado através do túnel de resfriamento, para a completa cristalização da gordura. Posteriormente, segue-se para a desmoldagem e embalagem (MINIFIE, 1985; BARROCO & MENEZES, 1987; KUSTER, 1991; NELSON, 1994).

Dentre todas essas etapas, a temperagem é indispensável para obtenção de produto final de alta qualidade, pois afeta significativamente as propriedades físicas e sensoriais do chocolate. Seu objetivo é permitir uma rápida solidificação da massa de chocolate no molde, maior contração de volume, consistência final ideal (*snap*), brilho e evitar a formação de *fat bloom* durante armazenagem

(CHAPMAN *et al.*, 1971; HARTEL, 1991; NELSON, 1994; LAWLER & DIMICK, 1998).

A temperagem ou pré-cristalização é um processo de cristalização controlada que submete a gordura presente no chocolate a tratamentos térmicos e mecânicos para a obtenção de sua forma cristalina mais estável (HARTEL, 1991; NELSON, 1994).

Os parâmetros do processo são: tempo de cristalização, devendo este ser o suficiente para que ocorra a formação e a multiplicação dos cristais estáveis; velocidade de agitação, para proporcionar adequada transferência de calor e massa no produto; e temperatura, que afeta o subresfriamento que é a força propulsora de cristalização (HARTEL, 1991; NELSON, 1994; LAWLER & DIMICK, 1998).

Dentre os fatores mais relevantes que afetam o processo de temperagem, tem-se: velocidades relativas de nucleação e crescimento dos cristais, onde a primeira tem que se sobrepor à segunda para que haja a formação de pequenos cristais bem distribuídos na massa; taxas de transferência de calor e massa, que dependem da correta velocidade de agitação e; formulação, onde para cada tipo haverá uma determinada condição de temperagem (HARTEL, 1991; NELSON, 1994; LAWLER & DIMICK, 1998).

Neste trabalho foram realizadas três formulações: uma de chocolate ao leite ( $F_0$ ) e duas de produtos análogos, sendo a primeira com 50% de substituição de *liquor* de cacau por *liquor* de cupuaçu e 50% de substituição de manteiga de cacau por gordura de cupuaçu ( $F_{50}$ ) e, a segunda com 100% de substituição ( $F_{100}$ ) desses mesmos ingredientes. O objetivo foi otimizar o processo de temperagem de cada formulação, tendo como variáveis independentes temperatura e tempo de cristalização.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1. Material

#### 2.1.1. Ingredientes

- *Liquor* de cupuaçu LF2 (proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu): obtido conforme Item 2.2.4 do capítulo II
- *Liquor* de cacau LFC (proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau): obtido conforme Item 2.2.4 do capítulo II
- Gordura de cupuaçu: obtida conforme Item 2.2.6 do capítulo II
- Manteiga de cacau: fornecida pela CARGILL FOODS. As principais características desta matéria-prima constam na Tabela 3.1.

**Tabela 3.1.** Características organolépticas e físico-químicas da manteiga de cacau da CARGILL FOODS.

|                                     |                                        |
|-------------------------------------|----------------------------------------|
| <b>Cor</b>                          | Amarelada                              |
| <b>Sabor/odor</b>                   | Característico de cacau                |
| <b>Aspecto</b>                      | Boa consistência e textura não pastosa |
| <b>Ponto de fusão (°C)</b>          | 30°C – 34°C                            |
| <b>Umidade</b>                      | Máx. 0,20%                             |
| <b>Índice de refração</b>           | 1,0456 a 1,459 n (40D)                 |
| <b>% Ácidos graxos livres</b>       | 1,75% ácido oléico                     |
| <b>Índice de iodo</b>               | 37 a 42 Wijs                           |
| <b>Índice de saponificação</b>      | 188 a 198 KOH/g gordura                |
| <b>Substâncias insaponificáveis</b> | Máx. 0,5%                              |

Dados fornecidos pelo fabricante.

- Açúcar refinado: açúcar do tipo confeitoiro (glaúcar) da marca UNIÃO.
- Leite: leite em pó integral Ninho da marca NESTLÉ. A Tabela 3.2 apresenta sua composição.

**Tabela 3.2.** Composição do leite Ninho – NESTLÉ.

| <b>COMPONENTE</b> | <b>POR 100 g</b> |
|-------------------|------------------|
| Valor energético  | 503 Kcal         |
| Proteínas         | 26,0 g           |
| Carboidratos      | 39,1 g           |
| Lactose           | 39,1 g           |
| Gordura           | 27,0 g           |
| Fibra alimentar   | 0,0 g            |
| Sódio             | 320 mg           |
| Potássio          | 1220 mg          |

Dados fornecidos pelo fabricante.

- Lecitina de soja: CHOCOLEC, fornecida pela BUNGE ALIMENTOS S.A. As principais características desta matéria-prima constam na Tabela 3.3.

**Tabela 3.3.** Especificações da lecitina de soja CHOCOLEC da BUNGE ALIMENTOS S.A.

|                                        |                        |
|----------------------------------------|------------------------|
| <b>Aspecto</b>                         | Fluido viscoso         |
| <b>Insolúvel em acetona</b>            | Mín. 67,5%             |
| <b>Viscosidade</b>                     | Máx. 400 poises (25°C) |
| <b>Cor Gardner</b>                     | Máx. 9                 |
| <b>Umidade</b>                         | Máx. 1%                |
| <b>Insolúvel em éter</b>               | Máx. 0,10%             |
| <b>Índice de acidez</b>                | Máx. 29                |
| <b>Índice de peróxido</b>              | Máx. 5                 |
| <b>Contagem padrão em placas</b>       | Máx. 300 UFC/g         |
| <b>Coliformes totais</b>               | Ausência em 1g         |
| <b>Contagem de bolores e leveduras</b> | Máx. 100 UFC/g         |

Dados fornecidos pelo fabricante.

### 2.1.2. Equipamentos

- Balança analítica MICRONAL, modelo AB204
- Balança semi-analítica GEHAKA
- Banho termostático BROOKFIELD, modelo TC-500
- Calorímetro de varredura diferencial PERKIN ELMER, modelo Delta Series DSC7

- Espectrofotômetro de bancada HUNTERLAB, modelo ColorQuest II
- Estufa FANEN, modelo 315-SE
- Mini-concha longitudinal FRIWESSA, tipo PPC
- Mini-temperadeira TABLE TOP TEMPER (Gebr. Deby GmbH)
- Misturador HYPOLITO
- Moinho de cilindros PILON
- pHmetro MICRONAL, modelo B374
- Reômetro programável BROOKFIELD, modelo: RVDVIII
- Texturômetro Universal, modelo TA-XT2i, Stable Micro Systems
- Outros equipamentos e materiais comuns de laboratório e planta piloto.

### **2.1.3. Reagentes**

Os reagentes utilizados nas análises químicas foram de qualidade especial para análise (P.A.) de diversas procedências: Merck, Sigma, Grupo Química e outros.

## **2.2. Métodos**

### **2.2.1. Produção de chocolate ao leite e de produtos análogos**

#### **2.2.1.1. Formulação**

Foram realizadas três formulações conforme Tabela 3.4.

**Tabela 3.4.** Ingredientes utilizados para as formulações  $F_0$  (chocolate ao leite),  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) e  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Ingredientes             | $F_0$ (%) | $F_{50}$ (%) | $F_{100}$ (%) |
|--------------------------|-----------|--------------|---------------|
| <i>Liquor</i> de cacau   | 35        | 17,5         | 0             |
| <i>Liquor</i> de cupuaçu | 0         | 17,5         | 35            |
| Manteiga de cacau        | 10        | 5            | 0             |
| Gordura de cupuaçu       | 0         | 5            | 10            |
| Leite em pó integral     | 9,8       | 9,8          | 9,8           |
| Açúcar refinado          | 44,8      | 44,8         | 44,8          |
| Lecitina de soja         | 0,4       | 0,4          | 0,4           |
| *Teor total de gordura   | 31,62     | 33,78        | 35,93         |

\*Incluindo a gordura do leite.

Fonte: SISMOTTO *et al.* (1999).

#### 2.2.1.2. Mistura

A mistura dos ingredientes, exceto as gorduras de cupuaçu e de cacau e a lecitina, foi realizada em um misturador.

#### 2.2.1.3. Refino

A redução de granulometria da massa foi feita em moinho PILON composto de três cilindros horizontais de aço inoxidável encamisados e resfriados internamente com fluido refrigerante (água e álcool). Os ingredientes misturados foram passados quatro vezes no equipamento, reduzindo-se a cada passagem a distância entre os cilindros.

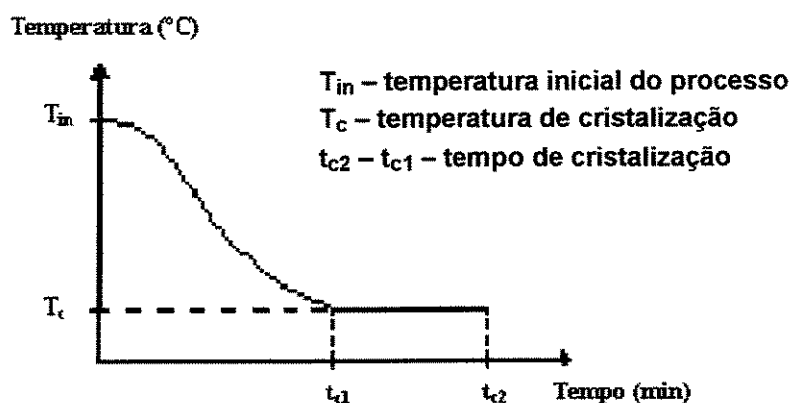
#### 2.2.1.4. Conchagem

Foi realizada em uma mini-concha longitudinal FRIWESSA, utilizando-se lotes de 500 gramas. As amostras foram processadas durante 8 horas na temperatura de 60°C, sendo a gordura e metade da lecitina adicionadas no início

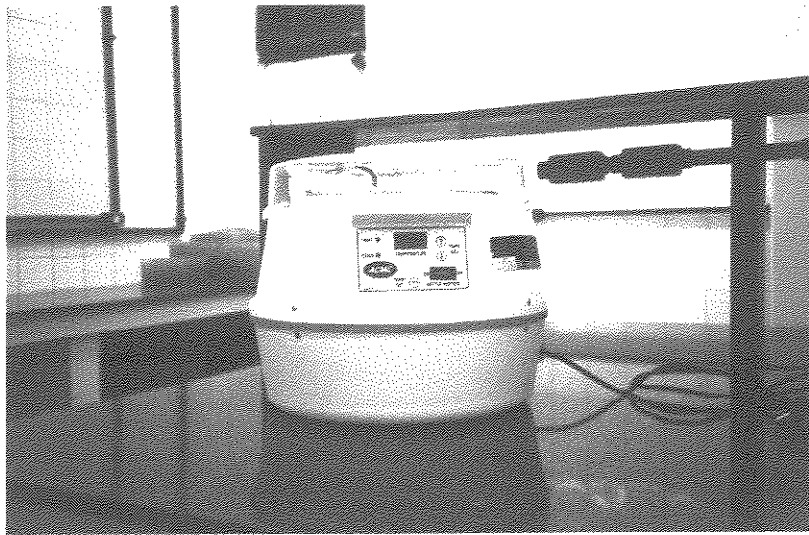
da conchagem devido às características mecânicas do equipamento e, o restante da lecitina adicionada 30 minutos antes do término do processo.

#### 2.2.1.5. Processo de temperagem

Os experimentos de temperagem, para cada formulação, foram realizados da seguinte forma: cerca de 500 g do produto foi fundido em microondas até atingir a temperatura de 40°C e transferido para a temperadeira, regulada à 40°C e mantida em ambiente de 20°C. Ao se colocar todo o conteúdo da massa, o raspador do equipamento foi acionado, permanecendo o produto a 40°C sob agitação durante 5 minutos para promover estabilização da temperatura. Em seguida, ajustou-se a temperatura do painel de controle do equipamento para a temperatura de cristalização, segundo o planejamento experimental de cada formulação (seção 2.2.2). Uma vez atingida a temperatura de cristalização, esta permaneceu por um tempo de cristalização também estipulado. A Figura 3.1 mostra a seqüência do processo de temperagem, enquanto que as Figuras 3.2 e 3.3 mostram a temperadeira.



**Figura 3.1.** Seqüência do processo de temperagem das formulações  $F_0$  (chocolate ao leite),  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) e  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).



**Figura 3.2.** Mini-temperadeira TABLE TOP TEMPER (Gebr. Dedy GmbH).



**Figura 3.3.** Visão geral da mini-temperadeira TABLE TOP TEMPER (Gebr. Dedy GmbH) em operação.

### 2.2.1.6. Moldagem e desmoldagem

Os produtos obtidos pelo processo de temperagem foram moldados em fôrmas de polycarbonato, modelo “alpino”. Após o preenchimento das fôrmas, realizou-se vibração manual para a acomodação dos produtos nos moldes e a expulsão de bolhas de ar, retirando em seguida o excesso do produto com auxílio de uma espátula. As fôrmas foram resfriadas a 10°C durante 30 min.

A desmoldagem foi feita pela inversão das fôrmas em mesa de mármore, ficando os produtos armazenados em recipientes plásticos tampados. As determinações físicas e sensoriais dos produtos foram realizadas após 15 dias de armazenagem a 20°C.

### 2.2.2. Planejamento experimental

Os experimentos do processo de temperagem das formulações  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$  foram realizados conforme planejamento experimental fatorial completo  $2^2$ , com 2 níveis (-1, +1). Foram feitos 3 pontos centrais (0) e 2 níveis de pontos axiais ( $-\alpha, +\alpha$ ), resultando em 11 ensaios (BOX *et al.*, 1978; KHURI & CORNELL, 1987; BARROS NETO, 1996). As variáveis independentes foram: temperatura de cristalização ( $T_c$ ) e tempo de cristalização ( $t_c$ ).

De acordo com os experimentos preliminares desenvolvidos junto com um *expert* em temperagem, foram definidos os limites de intervalo de tempo e temperatura de cristalização do processo de temperagem em função da facilidade de moldagem e desmoldagem, ausência de *fat bloom* e brilho do produto. Demonstrou-se claramente que a faixa de tempo de cristalização variou para cada formulação devido à viscosidade das mesmas. A partir desses dados foram definidos os delineamentos experimentais.

As Tabelas 3.5, 3.6 e 3.7 apresentam as variáveis independentes do planejamento experimental em seus diferentes níveis para as formulações  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ , respectivamente.

**Tabela 3.5.** Variáveis independentes do planejamento experimental em seus diferentes níveis para a Formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Variáveis Independentes                             | Símbolo | Níveis    |      |      |      |           |
|-----------------------------------------------------|---------|-----------|------|------|------|-----------|
|                                                     |         | $-\alpha$ | -1   | 0    | +1   | $+\alpha$ |
| Temperatura de Cristalização ( $^{\circ}\text{C}$ ) | $T_c$   | 27,4      | 28,0 | 29,5 | 31,0 | 31,6      |
| Tempo de Cristalização (min)                        | $t_c$   | 4,0       | 5,0  | 7,5  | 10,0 | 11,0      |

**Tabela 3.6.** Variáveis independentes do planejamento experimental em seus diferentes níveis para a Formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Variáveis Independentes                             | Símbolo | Níveis    |      |      |      |           |
|-----------------------------------------------------|---------|-----------|------|------|------|-----------|
|                                                     |         | $-\alpha$ | -1   | 0    | +1   | $+\alpha$ |
| Temperatura de Cristalização ( $^{\circ}\text{C}$ ) | $T_c$   | 27,4      | 28,0 | 29,5 | 31,0 | 31,6      |
| Tempo de Cristalização (min)                        | $t_c$   | 3,0       | 4,0  | 6,5  | 9,0  | 10,0      |

**Tabela 3.7.** Variáveis independentes do planejamento experimental em seus diferentes níveis para a Formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Variáveis Independentes                             | Símbolo | Níveis    |      |      |      |           |
|-----------------------------------------------------|---------|-----------|------|------|------|-----------|
|                                                     |         | $-\alpha$ | -1   | 0    | +1   | $+\alpha$ |
| Temperatura de Cristalização ( $^{\circ}\text{C}$ ) | $T_c$   | 27,4      | 28,0 | 29,5 | 31,0 | 31,6      |
| Tempo de Cristalização (min)                        | $t_c$   | 0,7       | 1,0  | 1,75 | 2,5  | 2,8       |

De acordo com as variáveis independentes e os níveis descritos, foram definidos os onze experimentos, para cada formulação, a serem realizados conforme os planejamentos apresentados nas Tabelas 3.8, 3.9 e 3.10.

**Tabela 3.8.** Planejamento experimental para a Formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Experimentos | Níveis codificados           |                        | Níveis decodificados         |                        |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   | T <sub>c</sub> (°C)          | T <sub>c</sub> (min)   |
| 1            | -1                           | -1                     | 28,0                         | 5,0                    |
| 2            | +1                           | -1                     | 31,0                         | 5,0                    |
| 3            | -1                           | +1                     | 28,0                         | 10,0                   |
| 4            | +1                           | +1                     | 31,0                         | 10,0                   |
| 5            | 0                            | 0                      | 29,5                         | 7,5                    |
| 6            | 0                            | 0                      | 29,5                         | 7,5                    |
| 7            | 0                            | 0                      | 29,5                         | 7,5                    |
| 8            | - $\alpha$                   | 0                      | 27,4                         | 7,5                    |
| 9            | + $\alpha$                   | 0                      | 31,6                         | 7,5                    |
| 10           | 0                            | - $\alpha$             | 29,5                         | 4,0                    |
| 11           | 0                            | + $\alpha$             | 29,5                         | 11,0                   |

**Tabela 3.9.** Planejamento experimental para a Formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Níveis codificados           |                        | Níveis decodificados         |                        |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |
| 1            | -1                           | -1                     | 28,0                         | 4,0                    |
| 2            | +1                           | -1                     | 31,0                         | 4,0                    |
| 3            | -1                           | +1                     | 28,0                         | 9,0                    |
| 4            | +1                           | +1                     | 31,0                         | 9,0                    |
| 5            | 0                            | 0                      | 29,5                         | 6,5                    |
| 6            | 0                            | 0                      | 29,5                         | 6,5                    |
| 7            | 0                            | 0                      | 29,5                         | 6,5                    |
| 8            | - $\alpha$                   | 0                      | 27,4                         | 6,5                    |
| 9            | + $\alpha$                   | 0                      | 31,6                         | 6,5                    |
| 10           | 0                            | - $\alpha$             | 29,5                         | 3,0                    |
| 11           | 0                            | + $\alpha$             | 29,5                         | 10,0                   |

**Tabela 3.10.** Planejamento experimental para a Formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Níveis codificados           |                        | Níveis decodificados         |                        |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |
| 1            | -1                           | -1                     | 28,0                         | 1,0                    |
| 2            | +1                           | -1                     | 31,0                         | 1,0                    |
| 3            | -1                           | +1                     | 28,0                         | 2,5                    |
| 4            | +1                           | +1                     | 31,0                         | 2,5                    |
| 5            | 0                            | 0                      | 29,5                         | 1,75                   |
| 6            | 0                            | 0                      | 29,5                         | 1,75                   |
| 7            | 0                            | 0                      | 29,5                         | 1,75                   |
| 8            | - $\alpha$                   | 0                      | 27,4                         | 1,75                   |
| 9            | + $\alpha$                   | 0                      | 31,6                         | 1,75                   |
| 10           | 0                            | - $\alpha$             | 29,5                         | 0,7                    |
| 11           | 0                            | + $\alpha$             | 29,5                         | 2,8                    |

As variáveis dependentes foram: descrição por provadores selecionados dos atributos sensoriais brilho, *fat bloom*, presença de bolhas e qualidade do moldado; análises instrumentais de cor (L\*, a\* e b\*) e força de ruptura (textura).

A análise dos resultados foi feita através da Metodologia de Superfície de Resposta ou RSM ( Response Surface Methodology). Para se compor os modelos ajustados com suas respectivas superfícies, foram considerados os parâmetros estatisticamente significativos a  $p \leq 0,05$ . A validade dos modelos foi avaliada em função de seus respectivos coeficientes de determinação e da análise da regressão e da falta de ajuste, realizadas pela análise de variância.

### 2.2.3. Efeito das condições de temperagem nas características dos produtos temperados

#### 2.2.3.1. Viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento dos produtos temperados

A viscosidade plástica de Casson e o limite de escoamento dos produtos foram medidos na temperatura inicial do processo (40°C) e na temperatura de cristalização após o tempo de cristalização de cada experimento das formulações  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ , em reômetro do tipo cilindros rotativos coaxiais programável BROOKFIELD, dotado de adaptador de pequenas amostras. A relação entre os raios dos cilindros foi de 0,75, de acordo com as recomendações da OICC (1973). As amostras foram cisalhadas neste espaço anular pelo cilindro interno ou *spindle* (#15), conforme velocidade pré-estabelecida pelo programa desenvolvido para este trabalho (Tabela 3.11), utilizando um banho termostático para que a temperatura se mantivesse constante durante o decorrer de cada medição.

**Tabela 3.11.** Programa desenvolvido em reômetro programável BROOKFIELD.

| Tempo (s) | Rotação (RPM) | Tempo (s) | Rotação (RPM) |
|-----------|---------------|-----------|---------------|
| *50       | 5             | 10        | 65            |
| **90      | 50            | 10        | 75            |
| 5         | 15            | 8         | 85            |
| 5         | 25            | 5         | 95            |
| 8         | 40            | 3         | 100           |
| 20        | 55            | 3         | 125           |

\* Homogeneização da temperatura da amostra

\*\* Pré-cisalhamento da amostra

#### 2.2.3.2. Análise sensorial

Primeiramente, realizou-se um teste triangular com 40 voluntários para selecionar os provadores que iriam avaliar os produtos obtidos pelos 11 experimentos de temperagem de cada formulação ( $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ ). Foram utilizados para o teste dois chocolates ao leite de diferentes marcas, sendo cada um temperado, seguindo os mesmos passos do Item 2.2.1.5, nas condições: 500 g de produto, temperatura inicial de 40°C, temperatura de cristalização de 28°C, tempo de cristalização de 10 min e temperatura ambiente de 20°C. Foram utilizadas cabines de luz vermelha para que a cor dos produtos não influenciasse na avaliação dos provadores. A ficha utilizada para o teste triangular encontra-se na Figura 3.4.

Os provadores recrutados para o teste foram alunos e funcionários da Universidade Estadual de Campinas, com idade entre 20 e 40 anos.

Foram selecionados, pelo teste triangular, 11 provadores para a segunda etapa da análise sensorial, que foi a descrição dos produtos obtidos pelos experimentos de temperagem de cada formulação. Utilizou-se o Método Descritivo com Escala Hedônica não-estruturada de 9 cm para a avaliação dos atributos brilho, *fat bloom*, presença de bolhas e qualidade de moldagem. Os produtos foram servidos de forma monádica em pratos plásticos devidamente codificados, seguindo uma seqüência para cada provador, segundo WAKELING & MACFIE (1995), e servidos em 4 seções: três produtos nas três primeiras seções e dois na última seção. Os testes foram realizados em duplicata em cabines de luz branca. A ficha utilizada para a análise descritiva dos produtos encontra-se na Figura 3.5.

Em função dos resultados obtidos do método descritivo dos produtos temperados, analisados por superfície de resposta, selecionou-se para cada formulação a amostra correspondente ao melhor processo de temperagem, as quais foram submetidas a avaliação sensorial utilizando teste de aceitação com consumidor, relacionados aos parâmetros de qualidade: cor, aroma, sabor, textura, aparência global e intenção de compra do consumidor. Utilizou-se para o teste Escala Estruturada Hedônica de 9 pontos (Figura 3.6), segundo as recomendações de STONE & SIDEL (1985). Foram convocados 40 provadores entre 20 e 40 anos de idade, de ambos os sexos. As respostas do teste de aceitação foram avaliadas graficamente e com o auxílio do teste de Tukey a 5% de significância, utilizando o programa SAS. Todos os testes sensoriais foram realizados no Laboratório de Análise Sensorial do Departamento de Tecnologia de Alimentos (DTA/FEA/UNICAMP), cujas instalações incluem cabines individuais e controle de iluminação. A temperatura ambiente utilizada nos três testes sensoriais foi em torno de 25°C.

| <b>TESTE TRIANGULAR</b>                                                                                                                                                             |                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| Nome: _____                                                                                                                                                                         | Data: ____/____/____ |
| e-mail: _____                                                                                                                                                                       | Fone: _____          |
| <p>Por favor, prove as amostras codificadas de CHOCOLATE AO LEITE da esquerda para a direita. Duas são iguais e uma é diferente. Identifique com um círculo a amostra diferente</p> |                      |
| <p>Comentários _____</p> <p>_____</p>                                                                                                                                               |                      |

**Figura 3.4.** Ficha do teste triangular.

|                                                                                                                                |                      |                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Data: ____/____/____                                                                                                           | Nº da amostra: _____ | Nº do provador: _____ |
| Nome: _____                                                                                                                    |                      |                       |
| <p><b>Você está recebendo um produto elaborado a partir das amêndoas de cacau e/ou cupuaçu. Por favor avalie quanto a:</b></p> |                      |                       |
| <u>Aparência</u>                                                                                                               |                      |                       |
| 1. Brilho                                                                                                                      |                      |                       |
| _____                                                                                                                          | Pouco                | Muito                 |
| Comentário: _____                                                                                                              |                      |                       |
| _____                                                                                                                          |                      |                       |
| 2. <i>Fat bloom</i> – se o produto apresenta manchas esbranquiçadas.                                                           |                      |                       |
| _____                                                                                                                          | Nenhum               | Muito                 |
| Comentário: _____                                                                                                              |                      |                       |
| _____                                                                                                                          |                      |                       |
| 3. Presença de bolhas                                                                                                          |                      |                       |
| _____                                                                                                                          | Pouco                | Muito                 |
| Comentário: _____                                                                                                              |                      |                       |
| _____                                                                                                                          |                      |                       |
| 4. Qualidade do moldado: se o produto encontra-se perfeitamente moldado.                                                       |                      |                       |
| _____                                                                                                                          | Pouco                | Muito                 |
| Comentário: _____                                                                                                              |                      |                       |
| _____                                                                                                                          |                      |                       |

**Figura 3.5.** Ficha de avaliação dos atributos sensoriais dos produtos obtidos dos experimentos de temperagem das formulações  $F_0$  (chocolate ao leite),  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) e  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nome: _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Data: _____                                                                                               |
| No. da Amostra: _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                           |
| <p><b>Por favor, observe, aspire, prove e avalie a amostra feita a partir das amêndoas de cacau e/ou cupuaçu, utilizando a escala abaixo para descrever o quanto você gostou ou desgostou:</b></p>                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                           |
| <p>9. Gostei muitíssimo<br/>             8. Gostei muito<br/>             7. Gostei moderadamente<br/>             6. Gostei ligeiramente<br/>             5. Nem gostei nem desgostei<br/>             4. Desgostei ligeiramente<br/>             3. Desgostei moderadamente<br/>             2. Desgostei muito<br/>             1. Desgostei muitíssimo</p>                                                         |                                                                                                           |
| <p>Em relação à cor</p> <p>Em relação ao aroma</p> <p>Em relação ao sabor</p> <p>Em relação à textura</p> <p>Em relação à impressão global</p>                                                                                                                                                                                                                                                                         | <p style="text-align: center;">valor</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> <p>_____</p> |
| <p>Assinale para esta amostra, qual seria sua atitude quanto a compra do produto. Justifique.</p> <p>( ) eu certamente compraria este produto.<br/>             ( ) eu provavelmente compraria este produto.<br/>             ( ) tenho dúvidas se compraria ou não esse produto.<br/>             ( ) eu provavelmente não compraria este produto.<br/>             ( ) eu certamente não compraria este produto.</p> |                                                                                                           |
| <p>Justificativa:</p> <p>_____</p> <p>_____</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                                                                                                           |

**Figura 3.6.** Ficha utilizada para o teste de aceitação.

### 2.2.3.3. Análise de cor

A cor dos produtos foi determinada usando-se Espectrofotômetro HUNTERLAB/COLORQUEST II. A leitura foi realizada com o aparelho ajustado em reflectância, com especular incluída, utilizando-se o padrão de calibração branco (nº C6299 de 03/96) e preto (nº C6299G de 03/96). A configuração incluiu iluminante D65 e ângulo 10°. As leituras foram realizadas em sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ ). Para a leitura, os produtos foram moldados com diâmetro de 8cm e espessura de 0,5cm.

### 2.2.3.4. Análise de textura

Preparo das amostras: Após as etapas de temperagem descritas por planejamento experimental, moldagem em formas de acetato, resfriamento e desmoldagem, as barras dos produtos provenientes dos experimentos de temperagem das formulações  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ , foram mantidas na temperatura de 20°C durante 15 dias em recipientes plásticos tampados, para uma completa formação da rede cristalina.

Análise das amostras: As análises de textura foram realizadas em um Texturômetro Universal TA-XT2i, da Stable Micro Systems, seguindo a metodologia descrita por JORGE *et al.* (1999) e adaptada por LUCCAS (2001), com software acoplado, utilizando-se o *probe* HDP/3PB – THREE POINT BEND RIG. As condições utilizadas para as análises foram:

Dimensão das barras: 8,2 x 2,5 x 0,7 cm

Massa das amostras: 19,87 g  $\pm$  1,27

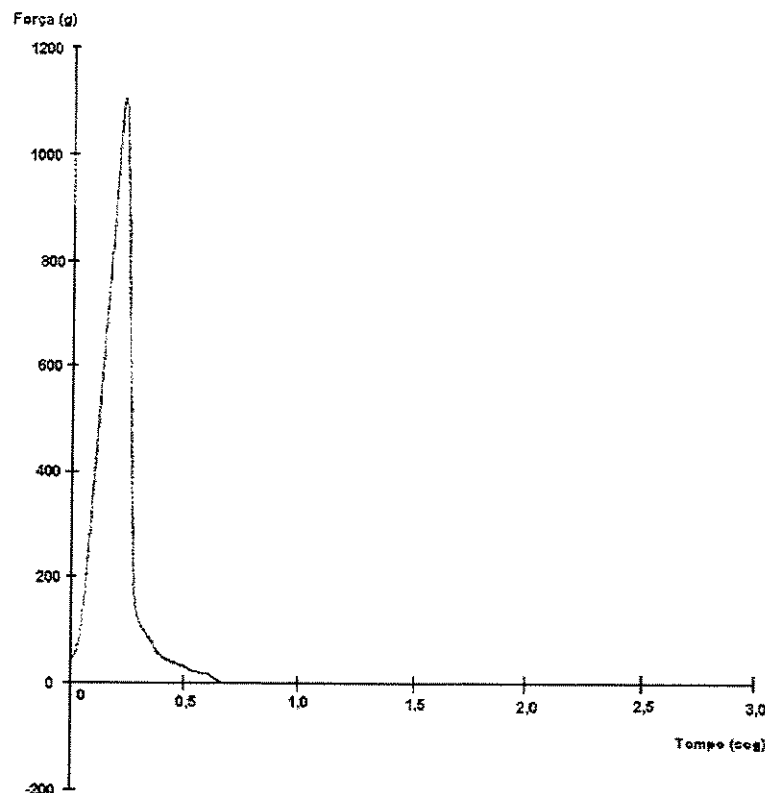
Distância entre as bases do *probe*: 6 cm

Velocidade de pré-teste: 3 mm/s

Velocidade de teste: 1,7 mm/s

Velocidade de pós-teste: 10 mm/s

O parâmetro avaliado foi à força máxima de ruptura aplicada no centro das barras, expresso em kgf, obtido através do registro da curva força x tempo, conforme exemplo apresentado na Figura 3.7. As análises foram realizadas em ambiente climatizado a 20°C.



**Figura 3.7.** Curva força x tempo, obtida em texturômetro TA-XT2i.

#### 2.2.3.5. Comportamento térmico das formulações F<sub>0</sub>, F<sub>50</sub> e F<sub>100</sub>

Foi realizado o estudo do comportamento térmico do produto melhor e pior temperado de cada formulação, conforme resultados da superfície de resposta (Item 3.3). As amostras (moldadas em fôrmas de policarbonato modelo “alpino”) foram cortadas ao meio, fazendo-se uma raspagem dessa área, retirando cerca de 8 mg a 10 mg para as análises.

Utilizou-se um Calorímetro de Varredura Diferencial (DSC) com *software* acoplado nas seguintes condições:

Gás de arraste: nitrogênio puro (99%)

Fluxo de gás: 50 mL/min

Cápsulas: alumínio

Referência: ar

Calibração do equipamento: índio e zinco.

As curvas de fusão e cristalização foram medidas conforme REDDY *et al.* (1996):

Faixa de temperatura: -5°C a 50°C

Velocidade de aquecimento e resfriamento: 20°C/min

Com o auxílio do *software* do equipamento, foram determinados os seguintes parâmetros: temperatura de início de fusão ( $T_{onset}$ , °C), temperatura de término de fusão ( $T_{endset}$ , °C), temperatura máxima de fusão ( $T_{max}$ , °C), altura máxima do pico (Alt. Max, mW/mg) e entalpia de fusão ( $\Delta H$ , J/g). Os resultados apresentados são as médias de duas determinações para cada amostra.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento das formulações $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$ temperadas

O objetivo da temperagem é promover a cristalização de 2 a 4% de gordura na forma mais estável. A formação desses cristais propicia o aumento de viscosidade do produto. Como regra geral, a viscosidade da massa temperada é duas vezes maior que a viscosidade da massa fundida e, caso esse valor extrapole, é porque ocorreu uma “sobre-temperagem” (ROYAN & STEWART (1966), citado por CHEVALLEY, 1994; NELSON, 1994).

Após o processo de temperagem do produto, este se encaminha para a planta de moldagem ou de cobertura (*enrober*), onde tem que permanecer suficientemente líquido para o seu adequado bombeamento. Além disso, a viscosidade regula a perfeita acomodação e impressão do produto no molde, assim como a espessura da camada que cobre os centros. Portanto, é de grande importância a especificação da viscosidade e do limite de escoamento.

Segundo CHEVALLEY (1994), na literatura a faixa de variação dos parâmetros de Casson para o chocolate é de 1 a 20 Pa.s para a viscosidade e, de 10 a 200 Pa para o limite de escoamento. No caso de cobertura, esses valores são de 0,5 a 2,5 Pa.s para a viscosidade e de 0 a 20 Pa para o limite de escoamento.

O objetivo das medições das propriedades reológicas das formulações  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$  foi avaliar a viscosidade plástica de Casson e o limite de escoamento com a variação das condições de temperagem empregadas.

### 3.1.1. Experimentos da formulação F<sub>0</sub>

A Tabela 3.12 apresenta os valores obtidos de viscosidade plástica de Casson e de limite de escoamento dos experimentos da formulação F<sub>0</sub>.

**Tabela 3.12.** Valores obtidos de viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento dos experimentos da Formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | *Viscosidade plástica (Pa.s) | *Limite de escoamento (Pa) |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |                              |                            |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |                              |                            |
| **0          | -                            | -                      | 2,67 ± 0,02 <sup>e</sup>     | 17,43 ± 0,40 <sup>a</sup>  |
| 1            | 28                           | 5                      | 5,04 ± 0,20 <sup>a</sup>     | 17,59 ± 2,35 <sup>a</sup>  |
| 2            | 31                           | 5                      | 3,85 ± 0,21 <sup>cd</sup>    | 15,11 ± 0,16 <sup>a</sup>  |
| 3            | 28                           | 10                     | -                            | -                          |
| 4            | 31                           | 10                     | 3,62 ± 0,16 <sup>d</sup>     | 15,30 ± 0,62 <sup>a</sup>  |
| 5            | 29,5                         | 7,5                    | 4,01 ± 0,17 <sup>bcd</sup>   | 16,06 ± 1,00 <sup>a</sup>  |
| 6            | 29,5                         | 7,5                    | 4,05 ± 0,16 <sup>bcd</sup>   | 16,28 ± 0,25 <sup>a</sup>  |
| 7            | 29,5                         | 7,5                    | 4,36 ± 0,11 <sup>bc</sup>    | 16,72 ± 0,57 <sup>a</sup>  |
| 8            | 27,4                         | 7,5                    | -                            | -                          |
| 9            | 31,6                         | 7,5                    | 3,61 ± 0,16 <sup>d</sup>     | 15,82 ± 0,10 <sup>a</sup>  |
| 10           | 29,5                         | 4                      | 4,31 ± 0,12 <sup>bc</sup>    | 14,60 ± 0,11 <sup>a</sup>  |
| 11           | 29,5                         | 11                     | 4,53 ± 0,01 <sup>ab</sup>    | 16,71 ± 1,53 <sup>a</sup>  |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Média de duas medições.

\*\*Início do processo de temperagem na temperatura de 40°C.

Pela Tabela 3.12, verifica-se que na faixa de temperatura de cristalização de 27,4 a 28°C e tempo de 7,5 a 10 min (experimentos 3 e 8), a viscosidade do chocolate aumentou significativamente, impossibilitando a sua medição em reômetro e, conseqüentemente, a análise por superfície de resposta.

A menor viscosidade plástica de Casson encontrada foi a 40°C (2,67 Pa.s), o que já era esperado por estar na temperatura inicial do processo, onde todos os

cristais de gordura encontravam-se fundidos. A maior viscosidade (5,04 Pa.s) obtida foi no experimento 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  e  $t_c=5\text{min}$ ), cuja temperatura de cristalização foi a menor em relação aos demais experimentos, com exceção dos experimentos 3 e 8 que não obtiveram respostas.

Nenhum experimento cujas propriedades reológicas foram medidas apresentou “sobre-temperagem”, ou seja, os experimentos não obtiveram viscosidade plástica acima do dobro do valor da viscosidade dos produtos fundidos a  $40^\circ\text{C}$ . Isso indica que os tempos empregados para as temperaturas de cristalização foram suficientes para promover a adequada percentagem de cristalização durante o processo de temperagem.

Pelos resultados apresentados na Tabela 3.12, observa-se que nas temperaturas de cristalização mais altas ( $29,5$  a  $31,6^\circ\text{C}$ ), a viscosidade do chocolate não sofreu efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) com o tempo de cristalização (4 a 11 min). Isso indica que, neste produto, a maior formação de cristais na forma mais estável ocorreu nas temperaturas de  $28$  a  $29,5^\circ\text{C}$ .

A viscosidade é um importante fator na produção do chocolate. Se no processo de temperagem, a uma dada temperatura de cristalização, for possível utilizar uma faixa de tempo de cristalização sem alterar significativamente a viscosidade, é conveniente que se use o menor tempo, proporcionando economia ao processo.

A faixa encontrada para o limite de escoamento dos experimentos de 1 a 11 e para o produto fundido a  $40^\circ\text{C}$  foi de  $14,60$  a  $17,59$  Pa. Pelo teste de tukey a 5% de significância, esses valores não diferiram entre si.

3.1.2. Experimentos da formulação F<sub>50</sub>

**Tabela 3.13.** Valores obtidos de viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento dos experimentos da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | *Viscosidade plástica (Pa.s) | *Limite de escoamento (Pa) |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |                              |                            |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |                              |                            |
| **0          | -                            | -                      | 3,31 ± 0,03 <sup>e</sup>     | 5,92 ± 0,07 <sup>c</sup>   |
| 1            | 28                           | 4                      | -                            | -                          |
| 2            | 31                           | 4                      | 5,49 ± 0,08 <sup>d</sup>     | 6,65 ± 0,95 <sup>c</sup>   |
| 3            | 28                           | 9                      | -                            | -                          |
| 4            | 31                           | 9                      | 5,32 ± 0,03 <sup>d</sup>     | 6,67 ± 0,43 <sup>c</sup>   |
| 5            | 29,5                         | 6,5                    | 7,41 ± 0,18 <sup>b</sup>     | 9,26 ± 0,63 <sup>ab</sup>  |
| 6            | 29,5                         | 6,5                    | 7,36 ± 0,03 <sup>b</sup>     | 9,61 ± 0,21 <sup>a</sup>   |
| 7            | 29,5                         | 6,5                    | 6,92 ± 0,45 <sup>bc</sup>    | 9,92 ± 1,33 <sup>a</sup>   |
| 8            | 27,4                         | 6,5                    | -                            | -                          |
| 9            | 31,6                         | 6,5                    | 5,17 ± 0,03 <sup>d</sup>     | 6,92 ± 0,09 <sup>bc</sup>  |
| 10           | 29,5                         | 3                      | 6,52 ± 0,18 <sup>c</sup>     | 9,37 ± 0,25 <sup>a</sup>   |
| 11           | 29,5                         | 10                     | 9,14 ± 0,19 <sup>a</sup>     | 0,52 ± 0,07 <sup>d</sup>   |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Média de duas medições.

\*\*Início do processo de temperagem na temperatura de 40°C.

Não foi possível medir a viscosidade plástica dos produtos referentes aos experimentos 1, 3 e 8, por estes se apresentarem extremamente viscosos (Tabela 3.13).

Os experimentos 5, 6, 7 e 11 obtiveram “sobre-temperagem” por apresentarem viscosidade plástica acima do dobro do produto fundido a 40°C, ou seja, os tempos de cristalização empregados nas temperaturas de cristalização promoveram excessiva cristalização.

Pelos resultados apresentados na Tabela 3.13, verifica-se que na temperatura de cristalização de 29,5°C a viscosidade plástica não sofreu alterações significativas ( $p \leq 0,05$ ) na faixa de tempo de cristalização de 3 a 6,5 min. Entretanto, aumentando-se o tempo para 10 min, na mesma temperatura (experimento 11), o valor da viscosidade elevou-se consideravelmente, sendo a maior viscosidade plástica obtida (9,14 Pa.s). Verifica-se também que na temperatura de cristalização de 31 a 31,6°C na faixa de tempo de cristalização de 4 a 9 min, a viscosidade dos produtos não sofreu alterações significativas ao nível de 5%. Tais resultados indicam que, para este produto, a cristalização na forma mais estável ocorreu na faixa de 29,5°C.

O limite de escoamento dos experimentos 5, 6, 7 e 10 não diferiram entre si ao nível de 5% de significância. Isso indica que na temperatura de cristalização de 29,5°C na faixa de tempo de 3 min a 6,5 min não houve alterações consideráveis ( $p \leq 0,05$ ) no limite de escoamento. Ao se aumentar esse tempo para 10 min, permanecendo na mesma temperatura de cristalização (experimento 11), o limite de escoamento sofreu significativa redução (0,52 Pa), sendo o menor valor obtido. Foi observado, também, que na temperatura de cristalização de 31 a 31,6 nos tempos de 4 a 9 min (experimentos 2, 4 e 9), o limite de escoamento não sofreu variações significativas ( $p \leq 0,05$ ), incluindo-se nesse grupo o produto fundido a 40°C.

3.1.3. Experimentos da formulação F<sub>100</sub>**Tabela 3.14.** Valores obtidos de viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento dos experimentos de F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | *Viscosidade plástica (Pa.s) | *Limite de escoamento (Pa)  |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |                              |                             |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |                              |                             |
| **0          | -                            | -                      | 2,51 ± 0,03 <sup>f</sup>     | 10,60 ± 0,31 <sup>c</sup>   |
| 1            | 28                           | 1                      | -                            | -                           |
| 2            | 31                           | 1                      | 4,14 ± 0,04 <sup>e</sup>     | 11,31 ± 0,09 <sup>bc</sup>  |
| 3            | 28                           | 2,5                    | -                            | -                           |
| 4            | 31                           | 2,5                    | 4,35 ± 0,16 <sup>de</sup>    | 11,96 ± 0,33 <sup>abc</sup> |
| 5            | 29,5                         | 1,75                   | 5,07 ± 0,03 <sup>a</sup>     | 12,29 ± 0,21 <sup>ab</sup>  |
| 6            | 29,5                         | 1,75                   | 4,51 ± 0,06 <sup>bcd</sup>   | 10,51 ± 0,65 <sup>c</sup>   |
| 7            | 29,5                         | 1,75                   | 4,71 ± 0,13 <sup>bc</sup>    | 12,40 ± 0,67 <sup>ab</sup>  |
| 8            | 27,4                         | 1,75                   | -                            | -                           |
| 9            | 31,6                         | 1,75                   | 4,06 ± 0,00 <sup>e</sup>     | 11,47 ± 0,01 <sup>bc</sup>  |
| 10           | 29,5                         | 0,7                    | 4,50 ± 0,06 <sup>cd</sup>    | 11,63 ± 0,42 <sup>abc</sup> |
| 11           | 29,5                         | 2,8                    | 4,84 ± 0,02 <sup>ab</sup>    | 13,18 ± 0,42 <sup>a</sup>   |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Média de duas medições.

\*\*Início do processo de temperagem na temperatura de 40°C.

Não foi possível medir a viscosidade dos produtos referentes aos experimentos 1, 3 e 8 por estes se apresentarem extremamente viscosos (Tabela 3.14).

Pelos resultados obtidos na Tabela 3.14, observa-se que na temperatura de cristalização de 29,5°C não houve variações significativas ( $p \leq 0,05$ ) na faixa de tempo de 0,7 a 1,75 min, o mesmo ocorrendo nas temperaturas de cristalização de 31 a 31,6°C no tempo de 1 a 2,5 min. Tais resultados indicam que, neste

produto, a maior formação de cristais na forma mais estável ocorreu a tempos inferiores a 29,5°C.

Embora o experimento 5 tenha apresentado valor de viscosidade plástica (5,07 Pa.s) um pouco acima do dobro do valor da massa derretida (2,51 Pa.s), pode-se considerar que não houve uma “sobre-temperagem”, ficando no limite desta, pois como indica seu desvio padrão ( $\pm 0,03$ ), este valor pode estar abaixo do dobro do valor da viscosidade da massa derretida.

Para esta formulação a “sobre-temperagem” só não ocorreu em maior número de experimentos devido seus tempos de cristalização serem bem abaixo do tempo empregado para a temperagem das formulações  $F_0$  e  $F_{50}$ .

O limite de escoamento dos experimentos de temperagem da formulação  $F_{100}$  variou de 10,51 a 13,18 Pa.

Verificou-se através de testes preliminares de temperagem que, para qualquer temperatura de cristalização, o tempo de cristalização deveria ser reduzido conforme o aumento na percentagem de *liquor* e gordura de cupuaçu empregados na formulação, de modo que a viscosidade não fosse excessiva para que o processo de temperagem pudesse ser conduzido até o final e que a moldagem fosse feita adequadamente.

O chocolate ( $F_0$ ) e o produto  $F_{100}$  (100% cupuaçu) apresentaram valores aproximados de limite de escoamento, que variaram de 14,60 a 17,59 Pa e de 10,51 a 13,18 Pa, respectivamente. Os valores para a viscosidade plástica nas diversas temperaturas também ficaram próximos, de 2,67 a 5,04 Pa.s para o chocolate e de 2,51 a 5,07 para o produto  $F_{100}$ . Valores bem mais distantes destes foram encontrados para o produto  $F_{50}$  (50% cupuaçu e 50% cacau), com limite de escoamento de 0,52 a 9,92 Pa e viscosidade plástica de 3,31 a 9,14 Pa.s.

Pode-se concluir que, a adição de *liquor* e gordura de cupuaçu na formulação de produtos análogos ao chocolate, aumentam a viscosidade, uma vez que, como indica o Item 3.7.4.1 do capítulo II, a viscosidade do *liquor* e gordura de cupuaçu são superiores aos do cacau em todas as temperaturas estudadas (35°C a 50°C). Com isso, para que se possa realizar os processos de temperagem e moldagem adequadamente, o tempo de cristalização do processo de temperagem desses produtos tem que ser inferior ao do chocolate.

### **3.2. – Efeito da variação de tempo e temperatura de cristalização da temperagem nas características dos produtos $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$**

Para cada formulação de chocolate há uma determinada condição de temperagem. O chocolate ao leite, por exemplo, apresenta, além da manteiga de cacau, gordura de leite em sua formulação, portanto sua temperatura de cristalização no processo de temperagem é mais baixa e seu tempo é maior do que para o chocolate amargo (que possui somente a manteiga de cacau). Isso ocorre devido a interação entre a manteiga de cacau e a gordura de leite. Pois, segundo HARTEL (1991), a incorporação de triacilgliceróis da gordura de leite dentro da estrutura da manteiga de cacau retarda o futuro crescimento desses cristais. Entretanto, esse processo não é claramente entendido devido à complexidade dessas interações.

Assim como a gordura do leite, a utilização de outras gorduras na formulação do chocolate, como a de cupuaçu, também interfere no comportamento da temperagem do produto, necessitando de condições específicas. Os efeitos do tempo e da temperatura de cristalização na qualidade do chocolate e de produtos análogos elaborados com *liquor* e gordura de cupuaçu foram avaliados em função dos seguintes atributos de qualidade: brilho, *fat bloom*, presença de bolhas, qualidade do moldado (acomodação e impressão adequada nos moldes), cor e, força de ruptura (*snap*).

### 3.2.1. Formulação F<sub>0</sub>

#### 3.2.1.1. Atributo “brilho”

Quando um chocolate é bem temperado o produto apresenta-se com brilho apreciável, que é um fator de qualidade de produção. Para melhor compreensão dos resultados tratados, a Tabela 3.15 mostra as médias dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub>.

**Tabela 3.15.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br>brilho         |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                             |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                             |
| 1            | 28                              | 5                         | 7,03 ± 1,79 <sup>abc</sup>  |
| 2            | 31                              | 5                         | 5,14 ± 2,86 <sup>d</sup>    |
| 3            | 28                              | 10                        | 7,25 ± 1,65 <sup>ab</sup>   |
| 4            | 31                              | 10                        | 5,96 ± 2,55 <sup>bcd</sup>  |
| 5            | 29,5                            | 7,5                       | 7,76 ± 1,60 <sup>a</sup>    |
| 6            | 29,5                            | 7,5                       | 7,08 ± 1,98 <sup>ab</sup>   |
| 7            | 29,5                            | 7,5                       | 6,50 ± 1,96 <sup>abcd</sup> |
| 8            | 27,4                            | 7,5                       | 7,29 ± 2,10 <sup>ab</sup>   |
| 9            | 31,6                            | 7,5                       | 5,38 ± 2,95 <sup>cd</sup>   |
| 10           | 29,5                            | 4                         | 7,45 ± 1,26 <sup>ab</sup>   |
| 11           | 29,5                            | 11                        | 7,42 ± 2,02 <sup>ab</sup>   |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

A Tabela 3.16 apresenta os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no atributo brilho dos produtos temperados.

**Tabela 3.16.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo brilho dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>7,11547</b>  | <b>0,36411</b> | <b>0,00261</b>                | <b>7,11547</b>           |
| $t_c$ (L)            | 0,25017         | 0,44661        | 0,63175                       | 0,12509                  |
| $t_c$ (Q)            | 0,05053         | 0,53292        | 0,93311                       | 0,02526                  |
| $T_c$ (L)            | -1,47266        | 0,44661        | 0,08096                       | -0,73633                 |
| $T_c$ (Q)            | -1,05606        | 0,53292        | 0,18603                       | -0,52803                 |
| $t_c \times T_c$ (L) | 0,30000         | 0,63066        | 0,68119                       | 0,15000                  |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Os valores na coluna dos efeitos são indicativos da influência de cada fator no atributo brilho dos produtos temperados, avaliados por análise sensorial.

Pela Tabela 3.16, observa-se que nenhum dos fatores (tempo e temperatura de cristalização) apresentou efeito significativo no atributo brilho dos produtos temperados da formulação  $F_0$ . Ou seja, dentro das faixas de tempo e temperatura de cristalização, estipuladas por planejamento experimental (Item 2.2.2), não houve influência no brilho dos produtos temperados, tornando o modelo não preditivo. Tal fato pode ser comprovado pelos valores de “p” (significância estatística) de cada fator, onde todos deram maior que 0,05 ( $p > 0,05$ ). Pois, para que haja efeito significativo, o valor de “p” tem que ser menor ou igual a 0,05 ( $p \leq 0,05$ ).

Quando um chocolate não é temperado ou é mal temperado, este não possui brilho. Segundo os provadores que avaliaram os produtos temperados da formulação  $F_0$ , todos apresentaram brilho apreciável, tanto que, numa escala de 0 a 9, o conceito variou entre 5,14 a 7,76 (Tabela 3.15).

Observa-se pela Tabela 3.15 que os experimentos 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$ ,  $t_c=5\text{min}$ ), 4 ( $T_c=31^\circ\text{C}$ ,  $t_c=10\text{min}$ ) e 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$ ,  $t_c=7,5\text{min}$ ) foram os que obtiveram menores notas para o atributo brilho (5,14, 5,96 e 5,38, respectivamente). Isso ocorreu devido às altas temperaturas de cristalização desses experimentos. Pois, quando a temperatura de cristalização ultrapassa o ponto de fusão dos cristais estáveis, estes não são formados, prejudicando o processo de temperagem.

#### 3.2.1.2. Atributo “*fat bloom*”

Um chocolate bem temperado não possui *fat bloom*, que é um defeito físico onde o produto apresenta manchas esbranquiçadas. Quando o chocolate não é bem temperado, há formação de cristais instáveis que possuem baixo ponto de fusão. Logo, com a oscilação de temperatura, esses cristais se fundem e se recristalizam na superfície do produto em uma forma mais estável. Isso acontece porque a manteiga de cacau possui um polimorfismo do tipo monotrópico, ou seja, ela vai se cristalizando até chegar em sua forma cristalina mais estável com ponto de fusão mais alto, sendo esse processo irreversível.

A Tabela 3.17 mostra as médias dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo *fat bloom* e a Tabela 3.18 apresenta os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização em tal atributo dos produtos temperados. Os valores do *fat bloom* variaram de 0,46 a 4,83.

**Tabela 3.17.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br><i>fat bloom</i> |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                               |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                               |
| 1            | 28                              | 5                         | 0,94 ± 1,37 <sup>b</sup>      |
| 2            | 31                              | 5                         | 4,83 ± 3,19 <sup>a</sup>      |
| 3            | 28                              | 10                        | 0,49 ± 0,74 <sup>b</sup>      |
| 4            | 31                              | 10                        | 1,75 ± 2,17 <sup>b</sup>      |
| 5            | 29,5                            | 7,5                       | 0,90 ± 1,62 <sup>b</sup>      |
| 6            | 29,5                            | 7,5                       | 0,46 ± 0,60 <sup>b</sup>      |
| 7            | 29,5                            | 7,5                       | 0,58 ± 0,86 <sup>b</sup>      |
| 8            | 27,4                            | 7,5                       | 1,05 ± 2,04 <sup>b</sup>      |
| 9            | 31,6                            | 7,5                       | 3,81 ± 3,10 <sup>a</sup>      |
| 10           | 29,5                            | 4                         | 0,85 ± 1,37 <sup>b</sup>      |
| 11           | 29,5                            | 11                        | 1,16 ± 2,29 <sup>b</sup>      |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

**Tabela 3.18.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo (t<sub>c</sub>) e temperatura (T<sub>c</sub>) de cristalização do atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Fatores                             | Efeito<br>estimado | Erro<br>Puro   | Significância<br>estatística (p) | Coeficiente<br>de regressão |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Média/interação                     | <b>0,64556</b>     | <b>0,13132</b> | <b>0,03897</b>                   | <b>0,64556</b>              |
| t <sub>c</sub> (L)                  | <b>-0,77553</b>    | <b>0,16107</b> | <b>0,04053</b>                   | <b>-0,38777</b>             |
| t <sub>c</sub> (Q)                  | 0,50171            | 0,19220        | 0,12075                          | 0,25086                     |
| T <sub>c</sub> (L)                  | <b>2,26714</b>     | <b>0,16107</b> | <b>0,00501</b>                   | <b>1,13357</b>              |
| T <sub>c</sub> (Q)                  | <b>1,93524</b>     | <b>0,19220</b> | <b>0,00972</b>                   | <b>0,96762</b>              |
| t <sub>c</sub> x T <sub>c</sub> (L) | <b>-1,31500</b>    | <b>0,22745</b> | <b>0,02864</b>                   | <b>-0,65750</b>             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% (p ≤ 0,05)

t<sub>c</sub> – tempo de cristalização / T<sub>c</sub> – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

O efeito do fator tempo de cristalização (L) foi considerado significativo ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 3.18), sendo este efeito negativo dentro da faixa que lhe foi estipulada, com isso o aumento linear do tempo reduziu a probabilidade do aparecimento de *fat bloom* no produto. Quanto mais tempo o produto permanece na temperatura de cristalização mais cristais estáveis se formam.

Os efeitos dos fatores temperatura de cristalização (L) e (Q) foram considerados significativos no atributo *fat bloom* dos produtos temperados, ambos com efeitos positivos. Portanto, ao se elevar a temperatura ocorreu o aparecimento de *fat bloom* nos produtos. Para que a gordura (manteiga de cacau e/ou gordura de leite) se cristalice em sua forma mais estável, ela deve ser resfriada abaixo do seu ponto de fusão. Por isso, em altas temperaturas, não há a formação de cristais estáveis para a formação de uma rede cristalina desejada durante o resfriamento, ocasionando o surgimento de *fat bloom* no produto.

Pode-se observar que os efeitos da temperatura de cristalização (L) e (Q) foram mais significativos que o efeito tempo de cristalização (L).

A interação  $t_c \times T_c$  (L) foi significativa apresentando o mesmo sinal (negativo) que da variável  $t_c$  (L). Isso implica que, caso haja elevação da temperatura de cristalização, necessita-se aumentar o tempo de cristalização para minimizar a chance do surgimento de *fat bloom* nos produtos.

Eliminando o fator não significativo tempo de cristalização (Q), verifica-se pela análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 5%. Na Tabela 3.19, encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 3.19.** Análise de variância do modelo ajustado para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ              | Fcal        | *Ftab       |
|-------------------|-----------------|----------|-----------------|-------------|-------------|
| Regressão         | <b>18,07614</b> | <b>4</b> | <b>4,519035</b> | <b>9,81</b> | <b>4,53</b> |
| Resíduo           | 2,76435         | 6        | 0,460725        |             |             |
| Falta de ajuste   | 2,66088         | 4        | 0,66522         | 12,86       | 19,25       |
| Erro puro         | 0,10347         | 2        | 0,051735        |             |             |
| Total             | 20,84049        | 10       |                 |             |             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

O teste F, realizado pela análise de variância, tem como objetivo avaliar a adequação do modelo testando a significância da regressão e da falta de ajuste, onde a primeira tem que ser significativa ( $F_{cal} > F_{tab}$ ) e a segunda não significativa ( $F_{cal} < F_{tab}$ ), ao nível de 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ).

Conclui-se que o modelo ajustado para o atributo *fat bloom* foi considerado preditivo, pois apresentou fatores de efeitos significativos, regressão significativa, falta de ajuste não significativa e, valor de  $R^2$  superior a 0,20 que, segundo RESURRECION (1998), é um valor aceitável para um atributo avaliado por análise sensorial, pois ajustar um modelo por meio de análise sensorial apresenta grandes dificuldades devido a variabilidade das respostas.

Segundo KHURI & CORNELL (1987), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) é uma medida da proporção da variação total da resposta que é explicada pelo modelo. Portanto, quanto mais próximo o  $R^2$  de 1 (100%), melhor o modelo. Neste caso, o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o modelo ajustado foi de 0,8674, indicando que o modelo explicou 86,74% da variação dos dados observados.

A Tabela 3.20 apresenta o modelo ajustado para o atributo sensorial *fat bloom* e o seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

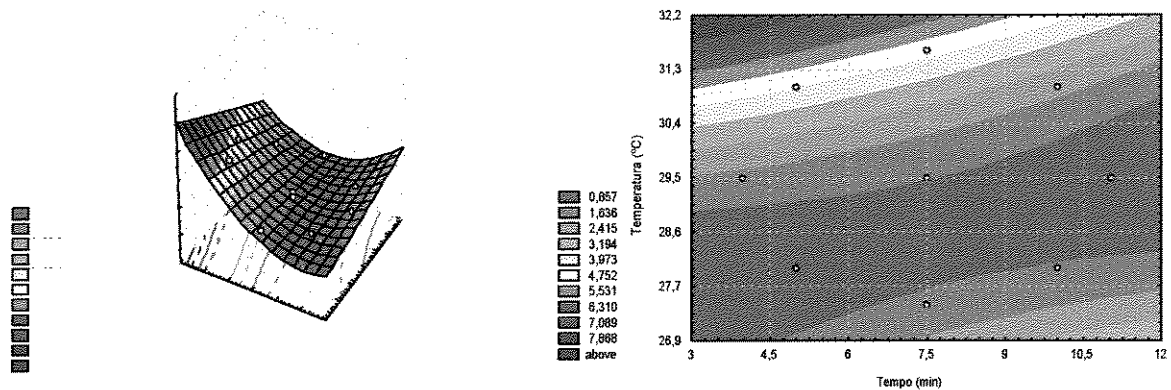
**Tabela 3.20.** Modelo ajustado e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do atributo sensorial *fat bloom* da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Atributo         | Modelo                                                                        | $R^2$  |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <i>Fat bloom</i> | $0,6556 - 0,38777 t_c + 1,13357 T_c + 0,96762 T_c^2 - 0,65750 t_c \times T_c$ | 0,8674 |

$t_c$  – tempo de cristalização

$T_c$  – temperatura de cristalização

De acordo com o modelo ajustado foram construídas as superfícies de resposta e de contorno para a avaliação do atributo sensorial *fat bloom* (Figura 3.8).



**Figura 3.8.** Superfícies de resposta e de contorno para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

De acordo com a Figura 3.8, pode-se observar que a região ótima para o processo de temperagem, ou seja, aquela onde não há presença de *fat bloom* nos produtos, é a região verde escuro, encontrando-se os experimentos 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  e  $t_c=5\text{min}$ ) e 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=11\text{min}$ ). Os experimentos 5, 6 e 7 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5\text{min}$ ), que são os pontos centrais, ficaram na fronteira desta região.

Verificou-se que na faixa de temperatura de aproximadamente 28 a 29°C, independente do tempo de temperagem, não ocorreu a formação de *fat bloom*, o que leva a concluir que nestas condições só houve a cristalização das formas estáveis e, que mesmo no menor tempo, 3 minutos, a percentagem destes já era suficiente para garantir a cristalização adequada nos moldes durante o resfriamento. Acima desta temperatura, quanto maior o tempo menor foi o surgimento de *fat bloom*.

No geral, pode-se concluir que, para o atributo *fat bloom*, cinco produtos foram considerados bem temperados por se encontrarem dentro da região ótima para tal atributo, que foram os experimentos 1, 11 e os referentes aos pontos centrais (experimentos 5, 6 e 7), que se apresentaram na fronteira desta. Os experimentos 3, 8 e 10 ficaram próximos da região ótima, tanto que, pelo teste de Tukey, seus valores (Tabela 3.17) não diferiram ao nível de 5% de significância dos produtos referentes aos experimentos que se encontram na região ótima.

#### 3.2.1.3. Atributo “presença de bolhas”

São diversos os fatores que propiciam a presença de bolhas de ar no chocolate, tais como: ao se temperar um produto ocorre aumento de sua viscosidade plástica de Casson devido à cristalização da gordura (Item 3.1) e, dependendo das condições do processo de temperagem, pode ocorrer aumento excessivo de viscosidade dificultando a acomodação do produto nos moldes e saída de ar durante a vibração no processo de moldagem; a própria agitação da massa durante a temperagem propicia a incorporação de ar e; caso durante a moldagem não seja feita uma adequada vibração dos moldes, não ocorrerá a expulsão de ar.

A Tabela 3.21 apresenta a média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo presença de bolhas.

**Tabela 3.21.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br>presença de bolhas |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                                 |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                                 |
| 1            | 28                              | 5                         | 2,64 ± 1,83 <sup>abcd</sup>     |
| 2            | 31                              | 5                         | 1,53 ± 1,91 <sup>cd</sup>       |
| 3            | 28                              | 10                        | 3,68 ± 2,95 <sup>ab</sup>       |
| 4            | 31                              | 10                        | 1,32 ± 1,76 <sup>cd</sup>       |
| 5            | 29,5                            | 7,5                       | 1,83 ± 1,74 <sup>bcd</sup>      |
| 6            | 29,5                            | 7,5                       | 1,05 ± 0,99 <sup>d</sup>        |
| 7            | 29,5                            | 7,5                       | 1,63 ± 1,82 <sup>cd</sup>       |
| 8            | 27,4                            | 7,5                       | 3,74 ± 2,62 <sup>a</sup>        |
| 9            | 31,6                            | 7,5                       | 3,00 ± 2,87 <sup>abc</sup>      |
| 10           | 29,5                            | 4                         | 2,17 ± 2,10 <sup>abcd</sup>     |
| 11           | 29,5                            | 11                        | 2,22 ± 2,28 <sup>abcd</sup>     |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância). / \*Valores obtidos em duplicata. / Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

Como indica a Tabela 3.21, de um modo geral, verificou-se que para qualquer condição estudada a presença de bolhas foi baixa, pois numa escala de 0 a 9 os valores variaram de 1,05 a 3,74.

A Tabela 3.22 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no atributo presença de bolhas dos produtos temperados.

**Tabela 3.22.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro Puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>1,50531</b>  | <b>0,23390</b> | <b>0,02330</b>                | <b>1,50531</b>           |
| $t_c$ (L)            | 0,22580         | 0,28690        | 0,51372                       | 0,11290                  |
| $t_c$ (Q)            | 0,44351         | 0,34235        | 0,32452                       | 0,22176                  |
| $T_c$ (L)            | -1,13172        | 0,28690        | 0,05867                       | -0,56586                 |
| $T_c$ (Q)            | <b>1,62555</b>  | <b>0,34235</b> | <b>0,04161</b>                | <b>0,81277</b>           |
| $t_c \times T_c$ (L) | -0,62500        | 0,40513        | 0,26286                       | -0,31250                 |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Pela Tabela 3.22, observa-se que o parâmetro quadrático da variável temperatura de cristalização influenciou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) no atributo presença de bolhas dos produtos temperados, apresentando-se positivo. Portanto, a elevação da temperatura de cristalização proporcionou aumento na quantidade de bolhas dos produtos. Eliminando os fatores não significativos, verificou-se na análise de variância, pelo teste F (Tabela 3.23), a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 5%.

**Tabela 3.23.** Análise de variância do modelo ajustado para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ              | Fcal        | *Ftab       |
|-------------------|-----------------|----------|-----------------|-------------|-------------|
| Regressão         | <b>3,426451</b> | <b>1</b> | <b>3,426451</b> | <b>6,24</b> | <b>5,12</b> |
| Resíduo           | 4,944222        | 9        | 0,549358        |             |             |
| Falta de ajuste   | 4,615955        | 7        | 0,659422143     | 4,02        | 19,35       |
| Erro puro         | 0,328267        | 2        | 0,1641335       |             |             |
| Total             | 8,370673        | 10       |                 |             |             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

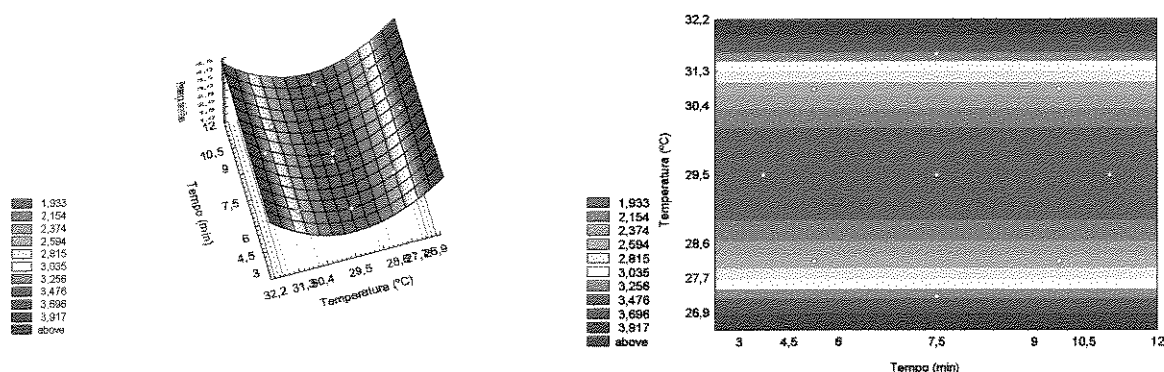
\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

Pode-se concluir que o modelo para o atributo presença de bolhas foi considerado preditivo, pois apresentou um fator de efeito significativo, regressão significativa, falta de ajuste não significativa e valor de  $R^2$  (0,4093) acima do aceitável para um atributo avaliado por análise sensorial. A Tabela 3.24 apresenta o modelo ajustado para o atributo sensorial presença de bolhas e o seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Tabela 3.24.** Modelo ajustado e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) do atributo sensorial presença de bolhas da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Atributo                             | Modelo                    | $R^2$  |
|--------------------------------------|---------------------------|--------|
| Presença de bolhas                   | $1,50531 + 0,81277 T_c^2$ | 0,4093 |
| $T_c$ – temperatura de cristalização |                           |        |

De acordo com o modelo ajustado, foram construídas as superfícies de resposta e de contorno para a avaliação do atributo presença de bolhas (Figura 3.9).



**Figura 3.9.** Superfícies de resposta e de contorno para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

Pode-se observar que a região ótima (Figura 3.9), ou seja, aquela que apresentou menor quantidade de bolhas nos produtos, encontra-se na região verde mais escuro, cujos experimentos foram: experimentos 5, 6 e 7 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5\text{min}$ ) (pontos centrais), experimento 10 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=4\text{min}$ ) e experimento 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=11\text{min}$ ).

Verifica-se que nas condições estudadas, o atributo presença de bolhas sofreu efeito apenas da temperatura de cristalização, e que a mínima formação de bolhas ocorreu entre 29 a 30°C. Os extremos de temperatura proporcionaram a formação de bolhas, onde a agitação a alta temperatura favoreceu a incorporação de ar e a baixa temperatura evitou a saída de ar pelo excesso de viscosidade na hora da moldagem. Isso pode ser demonstrado pelos experimentos 8 e 9, cujas temperaturas de cristalização são as extremas (27,4°C e 31,6°C, respectivamente), foram os que mais se distanciaram da região ótima.

#### **3.2.1.4. Atributo “qualidade do moldado”**

A qualidade de detalhamento do produto moldado está relacionada com o preenchimento adequado da massa nas cavidades do molde e com a correta impressão da fôrma. Dependendo das condições do processo de temperagem pode ocorrer aumento excessivo de viscosidade do produto, dificultando o processo de moldagem, tendo como consequência um produto de formato defeituoso. Pois, ao se colocar uma massa muito viscosa nos moldes, ela se solidifica rapidamente sem se acomodar devidamente no formato do mesmo. Outro fator que pode propiciar um produto mal moldado é que, quando o chocolate não é corretamente temperado, não há a devida contração da gordura, dificultando a desmoldagem do produto, o que pode ocasionar defeito em seu formato e estampagem.

A Tabela 3.25 apresenta a média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo qualidade do moldado e a Tabela 3.26 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no atributo qualidade do moldado dos produtos temperados.

**Tabela 3.25.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br>“qualidade do moldado” |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                                     |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                                     |
| 1            | 28                              | 5                         | 6,91 ± 2,09 <sup>ab</sup>           |
| 2            | 31                              | 5                         | 7,84 ± 0,99 <sup>a</sup>            |
| 3            | 28                              | 10                        | 7,08 ± 2,18 <sup>ab</sup>           |
| 4            | 31                              | 10                        | 7,65 ± 1,31 <sup>a</sup>            |
| 5            | 29,5                            | 7,5                       | 6,85 ± 2,67 <sup>ab</sup>           |
| 6            | 29,5                            | 7,5                       | 8,06 ± 1,58 <sup>a</sup>            |
| 7            | 29,5                            | 7,5                       | 7,05 ± 2,34 <sup>ab</sup>           |
| 8            | 27,4                            | 7,5                       | 5,95 ± 2,95 <sup>b</sup>            |
| 9            | 31,6                            | 7,5                       | 7,38 ± 1,63 <sup>a</sup>            |
| 10           | 29,5                            | 4                         | 7,82 ± 1,17 <sup>a</sup>            |
| 11           | 29,5                            | 11                        | 7,71 ± 1,55 <sup>a</sup>            |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

**Tabela 3.26.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo (t<sub>c</sub>) e temperatura (T<sub>c</sub>) de cristalização do atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Fatores                             | Efeito<br>estimado | Erro<br>puro   | Significância<br>estatística (p) | Coeficiente<br>de regressão |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Média/interação                     | <b>7,31938</b>     | <b>0,37447</b> | <b>0,00261</b>                   | <b>7,31938</b>              |
| t <sub>c</sub> (L)                  | -0,04391           | 0,45932        | 0,93256                          | -0,02195                    |
| t <sub>c</sub> (Q)                  | 0,52656            | 0,54809        | 0,43807                          | 0,26328                     |
| T <sub>c</sub> (L)                  | 0,88170            | 0,45932        | 0,19490                          | 0,44085                     |
| T <sub>c</sub> (Q)                  | -0,58002           | 0,54809        | 0,40087                          | -0,29001                    |
| t <sub>c</sub> × T <sub>c</sub> (L) | -0,18000           | 0,64861        | 0,80744                          | -0,09000                    |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% (p ≤ 0,05)

t<sub>c</sub> – tempo de cristalização / T<sub>c</sub> – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Como indica a Tabela 3.26, pode-se concluir que não foi possível a obtenção de um modelo preditivo para o atributo qualidade do moldado, por não ter apresentado nenhum fator de efeito significativo.

Verifica-se pela Tabela 3.25 que, segundo os provadores que avaliaram os produtos temperados da formulação  $F_0$ , todos se apresentaram bem moldados, pois numa escala de 0 a 9 as notas variaram de 5,95 a 8,06. Embora os experimentos 3 e 8 tenham apresentado alta viscosidade, impedindo sua medição no reômetro, seus produtos apresentaram-se bem moldados, sendo que a nota menor ficou para este último, cuja temperatura de cristalização foi a mais baixa (27,4°C).

#### 3.2.1.5 – Parâmetro $L^*$ e coordenadas cromáticas $a^*$ e $b^*$ da análise de cor

O objetivo da análise de cor neste trabalho foi caracterizar a cor do produto e verificar a relação desta com o *fat bloom*, já que a presença desse defeito modifica a cor do produto tornando-o esbranquiçado.

Para melhor compreensão dos resultados tratados, a Tabela 3.27 apresenta os valores obtidos para o parâmetro  $L^*$  e para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor de cada experimento da formulação  $F_0$ .

**Tabela 3.27.** Valores obtidos para o parâmetro  $L^*$  e para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor dos experimentos de temperagem da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | Parâmetros da análise de cor |                       |                    |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------|--------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização | $L^*$                        | $a^*$                 | $b^*$              |
|              | $T_c$ (°C)                   | $t_c$ (min)            |                              |                       |                    |
| 1            | 28                           | 5                      | $30,26 \pm 0,04^c$           | $10,10 \pm 0,01^c$    | $9,74 \pm 0,04^b$  |
| 2            | 31                           | 5                      | $33,74 \pm 0,57^a$           | $11,16 \pm 0,24^{ab}$ | $12,58 \pm 0,22^a$ |
| 3            | 28                           | 10                     | $30,86 \pm 0,14^c$           | $10,20 \pm 0,04^c$    | $10,13 \pm 0,11^b$ |
| 4            | 31                           | 10                     | $30,65 \pm 0,21^c$           | $10,49 \pm 0,05^{bc}$ | $10,41 \pm 0,12^b$ |
| 5            | 29,5                         | 7,5                    | $30,31 \pm 0,13^c$           | $10,07 \pm 0,04^c$    | $9,86 \pm 0,03^b$  |
| 6            | 29,5                         | 7,5                    | $30,59 \pm 0,23^c$           | $10,13 \pm 0,06^c$    | $10,02 \pm 0,10^b$ |
| 7            | 29,5                         | 7,5                    | $30,55 \pm 0,29^c$           | $10,23 \pm 0,16^c$    | $10,09 \pm 0,25^b$ |
| 8            | 27,4                         | 7,5                    | $30,87 \pm 0,09^c$           | $10,28 \pm 0,02^c$    | $10,22 \pm 0,05^b$ |
| 9            | 31,6                         | 7,5                    | $32,23 \pm 0,28^b$           | $11,59 \pm 0,75^a$    | $12,34 \pm 0,69^a$ |
| 10           | 29,5                         | 4                      | $30,80 \pm 0,12^c$           | $10,40 \pm 0,11^c$    | $10,26 \pm 0,07^b$ |
| 11           | 29,5                         | 11                     | $30,74 \pm 0,09^c$           | $10,14 \pm 0,02^c$    | $10,01 \pm 0,03^b$ |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Médias de três medições.

A Tabela 3.28 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no parâmetro  $L^*$  e nas coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor dos produtos temperados.

**Tabela 3.28.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do parâmetro  $L^*$  e das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>30,48249</b> | <b>0,08743</b> | <b>0,00001</b>                | <b>30,48249</b>          |
| $t_c$ (L)            | <b>-0,64557</b> | <b>0,10724</b> | <b>0,02650</b>                | <b>-0,32279</b>          |
| $t_c$ (Q)            | 0,39659         | 0,12797        | 0,09024                       | 0,19830                  |
| $L^*$ $T_c$ (L)      | <b>1,30077</b>  | <b>0,10724</b> | <b>0,00673</b>                | <b>0,65038</b>           |
| $T_c$ (Q)            | <b>1,18126</b>  | <b>0,12797</b> | <b>0,01153</b>                | <b>0,59063</b>           |
| $t_c \times T_c$ (L) | <b>-1,84500</b> | <b>0,15144</b> | <b>0,00667</b>                | <b>-0,92250</b>          |
| Média/interação      | <b>10,14380</b> | <b>0,04667</b> | <b>0,00002</b>                | <b>10,14380</b>          |
| $t_c$ (L)            | -0,23485        | 0,05724        | 0,05459                       | -0,11742                 |
| $t_c$ (Q)            | 0,06773         | 0,06830        | 0,42588                       | 0,03387                  |
| $a^*$ $T_c$ (L)      | <b>0,80166</b>  | <b>0,05724</b> | <b>0,00506</b>                | <b>0,40083</b>           |
| $T_c$ (Q)            | <b>0,73671</b>  | <b>0,06830</b> | <b>0,00849</b>                | <b>0,36836</b>           |
| $t_c \times T_c$ (L) | <b>-0,38500</b> | <b>0,08083</b> | <b>0,04136</b>                | <b>-0,19250</b>          |
| Média/interação      | <b>9,98999</b>  | <b>0,06807</b> | <b>0,00005</b>                | <b>9,98999</b>           |
| $t_c$ (L)            | <b>-0,53472</b> | <b>0,08349</b> | <b>0,02352</b>                | <b>-0,26736</b>          |
| $t_c$ (Q)            | 0,14749         | 0,09963        | 0,27690                       | 0,07375                  |
| $b^*$ $T_c$ (L)      | <b>1,53186</b>  | <b>0,08349</b> | <b>0,00296</b>                | <b>0,76593</b>           |
| $T_c$ (Q)            | <b>1,29935</b>  | <b>0,09963</b> | <b>0,00583</b>                | <b>0,64967</b>           |
| $t_c \times T_c$ (L) | <b>-1,28000</b> | <b>0,11790</b> | <b>0,00838</b>                | <b>-0,64000</b>          |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ )

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Para o parâmetro  $L^*$  (luminosidade), os efeitos dos fatores tempo de cristalização (L), temperatura de cristalização (L) e (Q) e da interação  $t_c \times T_c$  (L) foram considerados significativos ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 3.28). O efeito do fator tempo de cristalização (L) apresentou-se negativo, ou seja, com o aumento do tempo de cristalização diminuiu-se a luminosidade, isso significa que houve redução na probabilidade do surgimento de *fat bloom*, que por ser esbranquiçado aumenta a luminosidade do produto.

Os termos linear e quadrático da temperatura de cristalização apresentaram efeito positivo, com isso quanto maior a temperatura maior foi o valor do parâmetro  $L^*$ . Verificou-se ainda que houve interação negativa entre os fatores tempo e temperatura de cristalização ( $L$ ), ou seja, com o aumento da temperatura o tempo teve que ser maior para que o valor do parâmetro  $L^*$  não aumentasse. A temperatura de cristalização apresentou efeito mais significativo que o tempo.

Para a coordenada cromática  $a^*$  dos produtos temperados, os efeitos dos fatores temperatura de cristalização ( $L$ ) e ( $Q$ ) e da interação  $t_c \times T_c$  ( $L$ ) foram significativos. Para a coordenada cromática  $b^*$ , além desses, o fator tempo de cristalização ( $L$ ) também foi significativo.

Os termos linear e quadrático da variável temperatura de cristalização apresentaram efeitos positivos para ambas as coordenadas. Logo, o aumento de temperatura ocasionou aumento nos valores das coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ . Isso significa que com a elevação da temperatura de cristalização houve aumento na intensidade da coloração vermelho e amarelo.

Para a coordenada cromática  $b^*$ , o tempo de cristalização ( $L$ ) teve efeito negativo. Portanto, ao se aumentar o tempo de cristalização houve redução no valor desta coordenada, ou seja, diminuiu-se a intensidade da coloração amarela.

A interação  $t_c \times T_c$  ( $L$ ) para ambas as coordenadas apresentou efeito negativo. Logo, ao se elevar à temperatura de cristalização do processo de temperagem da formulação  $F_0$ , deve-se aumentar o tempo de cristalização para reduzir os valores das coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ .

Provavelmente, a alteração da cor está relacionada com a quantidade de gordura (branca amarelada) que se separa migrando para a superfície do produto

(*fat bloom*). Assim, quanto maior a quantidade de *fat bloom* maior o valor do parâmetro  $L^*$  (mais clara). Ao contrário, quando o chocolate é bem temperado, há ausência de *fat bloom*, portanto o produto é mais escuro, ou seja, com valores de  $L^*$  menores e, por a gordura se encontrar bem homogeneizada na amostra, menor é a intensidade do vermelho ( $a^*$ ) e do amarelo ( $b^*$ ).

Assim como para o parâmetro  $L^*$ , as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  também obtiveram os mesmos fatores significativos que os do atributo *fat bloom*, com exceção do tempo de cristalização (Q) da coordenada  $a^*$ , que não foi significativo. E para ambas as coordenadas a temperatura de cristalização apresentou efeito significativo maior que a do tempo de cristalização.

Observa-se pela Tabela 3.17, que os experimentos 2 e 9, que obtiveram maiores notas para o atributo *fat bloom*, ou seja, maior presença de manchas esbranquiçadas, foram os que apresentaram maiores valores do parâmetro  $L^*$  e das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  (Tabela 3.27).

Interpretando os resultados em relação aos experimentos 2 e 4, confirma-se que o aumento do tempo de cristalização reduz a probabilidade do surgimento de *fat bloom*. Pois, a uma temperatura de cristalização de 31°C a um tempo de cristalização de 5 min (experimento 2), os valores do parâmetro  $L^*$  e das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  foram maiores que os obtidos na mesma temperatura com um tempo de cristalização de 10 min (experimento 4). Portanto, nesta temperatura, com o tempo de cristalização menor, houve maior presença de *fat bloom*, alterando a cor do produto.

Eliminando os fatores não significativos, verificou-se na análise de variância, pelo teste F (Tabela 3.29), a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 5%.

**Tabela 3.29.** Análise de variância do modelo ajustado para o parâmetro L\* e para as coordenadas cromáticas a\* e b\* da análise de cor dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

|    | Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ                | Fcal         | *Ftab       |
|----|-------------------|-----------------|----------|-------------------|--------------|-------------|
| L* | Regressão         | <b>9,34708</b>  | <b>4</b> | <b>2,33677</b>    | <b>10,77</b> | <b>4,53</b> |
|    | Resíduo           | 1,30159         | 6        | 0,216931667       |              |             |
|    | Falta de ajuste   | 1,25572         | 4        | 0,31393           | 13,69        | 19,25       |
|    | Erro puro         | 0,04587         | 2        | 0,022935          |              |             |
|    | Total             | 10,64867        | 10       |                   |              |             |
| a* | Regressão         | <b>2,216412</b> | <b>3</b> | <b>0,738804</b>   | <b>26,62</b> | <b>4,35</b> |
|    | Resíduo           | 0,194261        | 7        | 0,027751571       |              |             |
|    | Falta de ajuste   | 0,181194        | 5        | 0,0362388         | 5,55         | 19,30       |
|    | Erro puro         | 0,013067        | 2        | 0,0065335         |              |             |
|    | Total             | 2,410673        | 10       |                   |              |             |
| b* | Regressão         | <b>9,303389</b> | <b>4</b> | <b>2,32584725</b> | <b>44,57</b> | <b>4,53</b> |
|    | Resíduo           | 0,313084        | 6        | 0,052180667       |              |             |
|    | Falta de ajuste   | 0,285284        | 4        | 0,071321          | 5,13         | 19,25       |
|    | Erro puro         | 0,02780         | 2        | 0,0139            |              |             |
|    | Total             | 9,616473        | 10       |                   |              |             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$

Os resultados da análise de variância mostraram que os modelos ajustados para o parâmetro L\* e para as coordenadas cromáticas a\* e b\* da análise de cor (Tabela 3.29), apresentaram regressão significativa ( $F_{cal} > F_{tab}$ ) ao nível de 5% e a falta de ajuste ( $F_{cal} < F_{tab}$ ) não significativa no mesmo nível. Portanto, diante desses resultados e do valor de  $R^2$  (Tabela 3.30), os modelos para o parâmetro L\* e para as coordenadas cromáticas a\* e b\* foram considerados preditivos.

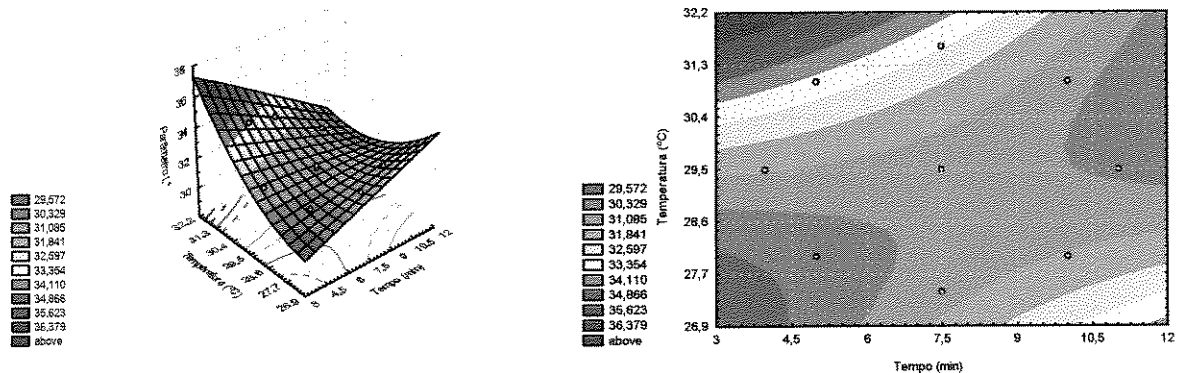
**Tabela 3.30.** Modelos ajustados e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para o parâmetro  $L^*$  e para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Atributo | Modelo                                                                         | $R^2$  |
|----------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|
| $L^*$    | $30,48249 - 0,32279t_c + 0,65038T_c + 0,59063 T_c^2 - 0,92250 t_c \times T_c$  | 0,8778 |
| $a^*$    | $10,14380 + 0,40083 T_c + 0,36836 T_c^2 - 0,19250 t_c \times T_c$              | 0,9194 |
| $b^*$    | $9,98999 - 0,26736 t_c + 0,76593 T_c + 0,64967 T_c^2 - 0,64000 t_c \times T_c$ | 0,9674 |

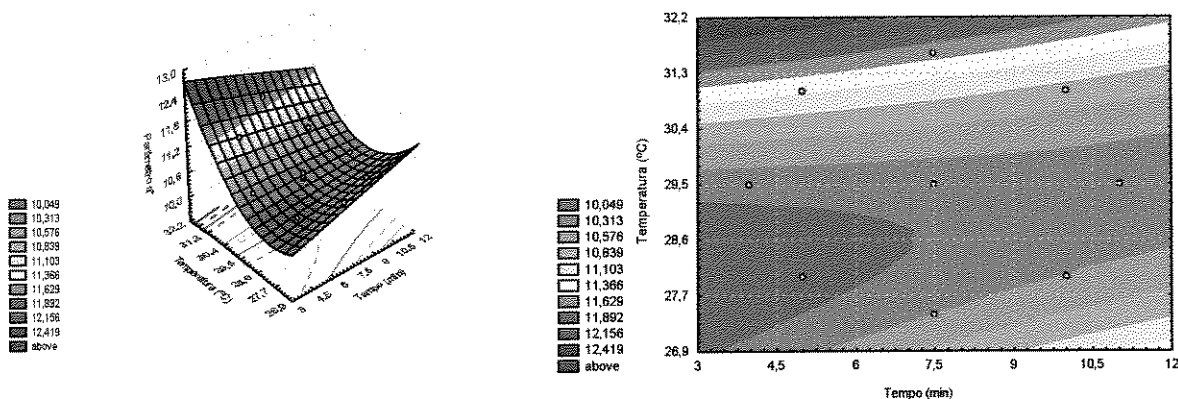
$t_c$  – tempo de cristalização

$T_c$  – temperatura de cristalização

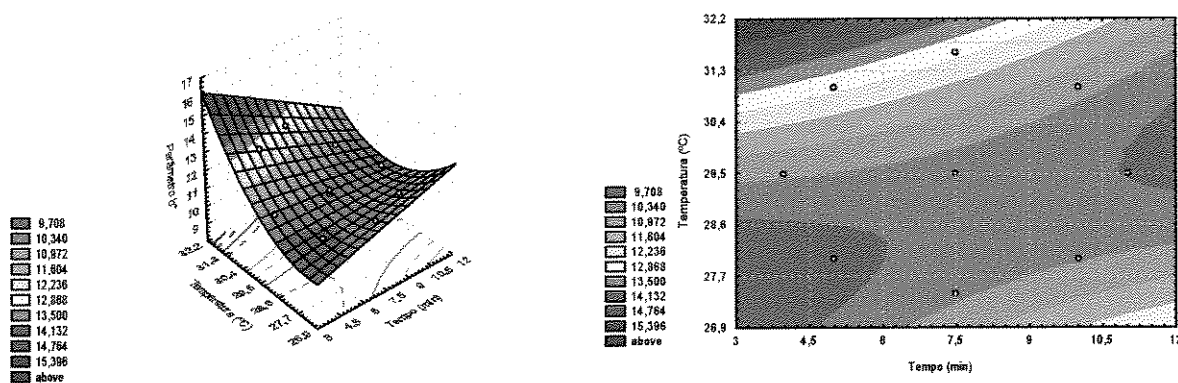
De acordo com os modelos ajustados, foram construídas as superfícies de resposta e de contorno para a avaliação do parâmetro  $L^*$  e das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor (Figuras 3.10, 3.11 e 3.12).



**Figura 3.10.** Superfícies de resposta e de contorno para o parâmetro  $L^*$  da análise de cor dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).



**Figura 3.11** Superfícies de resposta e de contorno para a coordenada cromática  $a^*$  da análise de cor dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).



**Figura 3.12.** Superfícies de resposta e de contorno para a coordenada cromática  $b^*$  da análise de cor dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

De acordo com as Figuras 3.10, 3.11 e 3.12, verifica-se que o tempo e a temperatura de cristalização afetam significativamente o parâmetro  $L^*$  e as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da cor do chocolate. Os valores máximos de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  ocorreram nas regiões de altas temperaturas e curto tempo. Já as amostras com os menores valores para estes parâmetros ocorreram nas regiões de baixa temperatura.

Os resultados obtidos para o atributo *fat bloom* (Item 3.2.1.2) apresentaram comportamentos muito semelhantes aos dos parâmetros da análise de cor, o que leva a concluir que, nestas condições estudadas, os parâmetros de cor podem ser usados para indicar o grau de *fat bloom* do chocolate e que, uma vez estabelecido um padrão de cor, estes parâmetros poderão ser usados para a avaliação do produto temperado.

#### 3.2.1.6. Força de ruptura

O objetivo desta análise foi verificar a influência da variação das condições de temperagem na força de ruptura dos produtos obtidos dos experimentos da formulação  $F_0$ .

A força de ruptura está relacionada ao *snap*, que é um fator de qualidade do chocolate. A dureza do chocolate deve ser alta o suficiente para que a 20°C o produto se quebre sem deformações. Sabe-se que esta característica está relacionada com a formulação do produto e com a eficiência do processo de temperagem. No caso do chocolate ao leite, sua dureza é menor que do chocolate amargo devido a presença da gordura de leite em sua formulação. LUCAS (2001), avaliando 8 amostras de chocolate ao leite em texturômetro TA-XT2i, obteve força de ruptura de 4,52 kg a 7,30 kg. No estudo do referido autor, os processos de temperagem para os produtos foram os mesmos, variando-se somente o tipo de gordura empregada (manteiga de cacau e seus substitutos). Neste trabalho, a formulação foi a mesma (Formulação  $F_0$  – chocolate ao leite), variando-se somente as condições de temperagem empregada, onde, conforme indica a Tabela 3.31, a força de ruptura variou de 3,34 kgf a 5,92 kgf.

**Tabela 3.31.** Valores obtidos para a força de ruptura dos experimentos da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | *Força de ruptura (kgf)    |
|--------------|------------------------------|------------------------|----------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |                            |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |                            |
| 1            | 28                           | 5                      | 4,40 ± 0,42 <sup>bcd</sup> |
| 2            | 31                           | 5                      | 4,31 ± 0,20 <sup>bcd</sup> |
| 3            | 28                           | 10                     | 4,57 ± 0,56 <sup>bc</sup>  |
| 4            | 31                           | 10                     | 5,18 ± 0,12 <sup>ab</sup>  |
| 5            | 29,5                         | 7,5                    | 3,47 ± 0,21 <sup>d</sup>   |
| 6            | 29,5                         | 7,5                    | 3,34 ± 0,16 <sup>d</sup>   |
| 7            | 29,5                         | 7,5                    | 3,59 ± 0,03 <sup>cd</sup>  |
| 8            | 27,4                         | 7,5                    | 5,92 ± 0,44 <sup>a</sup>   |
| 9            | 31,6                         | 7,5                    | 5,85 ± 0,96 <sup>a</sup>   |
| 10           | 29,5                         | 4                      | 3,82 ± 0,39 <sup>cd</sup>  |
| 11           | 29,5                         | 11                     | 4,25 ± 0,58 <sup>bcd</sup> |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Média de quatro medições.

A Tabela 3.32 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização para a força de ruptura dos produtos temperados.

**Tabela 3.32.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo (t<sub>c</sub>) e temperatura (T<sub>c</sub>) de cristalização para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação F<sub>0</sub> (chocolate ao leite).

| Fatores                             | Efeito estimado | Erro Puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação                     | <b>3,46807</b>  | <b>0,07219</b> | <b>0,00043</b>                | <b>3,46807</b>           |
| t <sub>c</sub> (L)                  | <b>0,41280</b>  | <b>0,08854</b> | <b>0,04306</b>                | <b>0,20640</b>           |
| t <sub>c</sub> (Q)                  | 0,39230         | 0,10566        | 0,06549                       | 0,19615                  |
| T <sub>c</sub> (L)                  | 0,10564         | 0,08854        | 0,35518                       | 0,05282                  |
| T <sub>c</sub> (Q)                  | <b>2,25338</b>  | <b>0,10566</b> | <b>0,00219</b>                | <b>1,12669</b>           |
| t <sub>c</sub> × T <sub>c</sub> (L) | 0,35000         | 0,12503        | 0,10744                       | 0,17500                  |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% (p ≤ 0,05)

t<sub>c</sub> – tempo de cristalização / T<sub>c</sub> – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

O termo linear da variável tempo de cristalização e o termo quadrático da variável temperatura de cristalização apresentaram efeitos significativos ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 3.32), sendo ambos positivos. Portanto, a força de ruptura aumentou com o aumento do tempo de cristalização e com a elevação da temperatura de cristalização, sendo que esta última apresentou efeito significativo maior do que o do tempo de cristalização.

Eliminando os fatores não significativos, verificou-se na análise de variância, pelo teste F (Tabela 3.33), a significância da regressão e da falta de ajuste ao nível de 5%.

**Tabela 3.33.** Análise de variância do modelo ajustado para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ               | Fcal         | *Ftab       |
|-------------------|-----------------|----------|------------------|--------------|-------------|
| Regressão         | <b>7,342177</b> | <b>2</b> | <b>3,6710885</b> | <b>41,28</b> | <b>4,46</b> |
| Resíduo           | 0,711441        | 8        | 0,088930125      |              |             |
| Falta de ajuste   | 0,680174        | 6        | 0,113362333      | 7,25         | 19,33       |
| Erro puro         | 0,031267        | 2        | 0,0156335        |              |             |
| Total             | 8,053618        | 10       |                  |              |             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

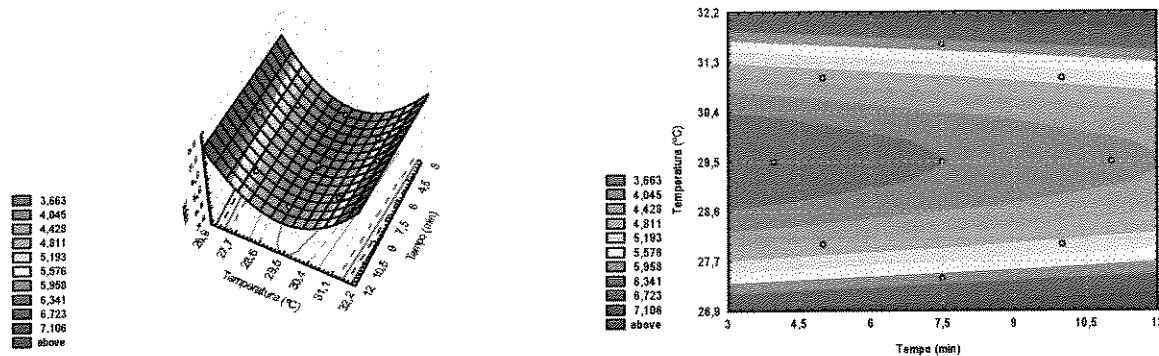
\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

Pelo teste F (Tabela 3.33), verifica-se que a regressão foi significativa ( $F_{cal} > F_{tab}$ ) ao nível de 5% e a falta de ajuste não foi significativa ( $F_{cal} < F_{tab}$ ) no mesmo nível. Diante desses resultados e do valor de  $R^2$  (Tabela 3.34), pode-se concluir que o modelo ajustado para a força de ruptura da formulação  $F_0$  foi preditivo.

**Tabela 3.34.** Modelos ajustados e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) para a força de ruptura da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

| Atributo                             | Modelo                                   | $R^2$  |
|--------------------------------------|------------------------------------------|--------|
| Força de ruptura                     | $3,46807 + 0,206402 t_c + 1,12669 T_c^2$ | 0,9117 |
| $t_c$ – tempo de cristalização       |                                          |        |
| $T_c$ – temperatura de cristalização |                                          |        |

De acordo com o modelo ajustado, foram construídas as superfícies de resposta e de contorno para a força de ruptura (Figura 3.13).



**Figura 3.13.** Superfícies de resposta e de contorno para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação  $F_0$  (chocolate ao leite).

Como mostra a Figura 3.13, os experimentos de maior força de ruptura ficaram na região laranja, que foram os experimentos 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5\text{min}$ ) e 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5\text{min}$ ), que correspondem aos extremos das temperaturas de cristalização do planejamento experimental.

O que se observa de fato é que os produtos que se apresentaram bem temperados em relação ao atributo *fat bloom* (experimentos 1, 11 e dos pontos centrais 5, 6 e 7) obtiveram valores menores de força de ruptura. Isso leva a crer que, para um chocolate bem temperado, sua força de ruptura não é necessariamente maior que para um mal temperado.

### 3.2.2. Formulação F<sub>50</sub>

A formulação F<sub>50</sub> possui três tipos de gorduras, que são: manteiga de cacau, gordura de cupuaçu e gordura de leite. Encontra-se na literatura diversos trabalhos sobre o polimorfismo da manteiga de cacau e da gordura de leite. Quando a gordura de leite é adicionada na formulação do chocolate (chocolate ao leite) a temperatura de cristalização do processo de temperagem é mais baixa e seu tempo mais longo. Recentemente, LUCCAS (2001) realizou um trabalho sobre fracionamento térmico e a obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate, onde concluiu que a gordura de cupuaçu apresentou comportamento polimórfico aproximado ao da manteiga de cacau. Segundo o referido autor, para ambos os casos, os maiores valores obtidos de entalpia de fusão foram para as Formas IV e V, revelando a preferência de cristalização das duas gorduras nessas formas cristalinas quando submetidas ao mesmo processo de temperagem. Os resultados obtidos por LUCCAS (2001) indicaram que, como para a manteiga de cacau, a forma cristalina estável da gordura de cupuaçu também é a Forma V (ou  $\beta$ ).

#### 3.2.2.1. Atributo “brilho”

A Tabela 3.35 apresenta as médias dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub>, cujos valores variaram de 5,14 a 8,10 e, a Tabela 3.36 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no atributo brilho.

**Tabela 3.35.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br>brilho       |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                           |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                           |
| 1            | 28                              | 4,0                       | 7,84 ± 0,83 <sup>a</sup>  |
| 2            | 31                              | 4,0                       | 6,47 ± 2,11 <sup>b</sup>  |
| 3            | 28                              | 9,0                       | 7,58 ± 0,98 <sup>ab</sup> |
| 4            | 31                              | 9,0                       | 7,42 ± 1,35 <sup>ab</sup> |
| 5            | 29,5                            | 6,5                       | 7,84 ± 1,08 <sup>a</sup>  |
| 6            | 29,5                            | 6,5                       | 7,78 ± 1,12 <sup>a</sup>  |
| 7            | 29,5                            | 6,5                       | 8,03 ± 0,85 <sup>a</sup>  |
| 8            | 27,4                            | 6,5                       | 5,14 ± 2,31 <sup>c</sup>  |
| 9            | 31,6                            | 6,5                       | 7,58 ± 0,91 <sup>ab</sup> |
| 10           | 29,5                            | 3,0                       | 7,14 ± 1,54 <sup>ab</sup> |
| 11           | 29,5                            | 10,0                      | 8,10 ± 0,75 <sup>a</sup>  |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

**Tabela 3.36.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo (t<sub>c</sub>) e temperatura (T<sub>c</sub>) de cristalização do atributo brilho dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores                             | Efeito<br>estimado | Erro<br>puro   | Significância<br>estatística (p) | Coeficiente de<br>regressão |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Média/interação                     | <b>7,88198</b>     | <b>0,07535</b> | <b>0,00009</b>                   | <b>7,88198</b>              |
| t <sub>c</sub> (L)                  | <b>0,51493</b>     | <b>0,09242</b> | <b>0,03074</b>                   | <b>0,25747</b>              |
| t <sub>c</sub> (Q)                  | -0,09237           | 0,11029        | 0,49044                          | -0,04618                    |
| T <sub>c</sub> (L)                  | <b>0,48153</b>     | <b>0,09242</b> | <b>0,03492</b>                   | <b>0,24077</b>              |
| T <sub>c</sub> (Q)                  | <b>-1,35991</b>    | <b>0,11029</b> | <b>0,00651</b>                   | <b>-0,67995</b>             |
| t <sub>c</sub> x T <sub>c</sub> (L) | <b>0,60000</b>     | <b>0,13051</b> | <b>0,04420</b>                   | <b>0,30000</b>              |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% (p ≤ 0,05)

t<sub>c</sub> – tempo de cristalização / T<sub>c</sub> – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Pela Tabela 3.36, verifica-se que os efeitos dos fatores tempo de cristalização (L), temperatura de cristalização (L) e (Q) e a interação  $t_c \times T_c$  (L), foram significativos para o atributo brilho dos produtos temperados ( $p \leq 0,05$ ).

O fator tempo de cristalização (L) apresentou efeito positivo, portanto ao se aumentar o tempo de cristalização do processo de temperagem, intensificou-se o brilho do produto. O aumento do tempo de cristalização promove maior formação de cristais estáveis, conferindo ao produto temperado melhores qualidades sensoriais.

Na Tabela 3.35, observa-se que na temperatura de cristalização de 29,5°C no tempo de cristalização de 6,5 min (experimentos 5, 6 e 7) os valores atribuídos para o brilho foram de 7,78 a 8,03. Permanecendo na mesma temperatura e aumentando o tempo para 10 min (experimento 11), a nota subiu para 8,10, ou seja, houve aumento no valor do atributo brilho com o aumento do tempo. Entretanto, baixando-se o tempo para 3 min (experimento 10), a nota do atributo brilho reduziu para 7,14. O mesmo fato ocorreu na temperatura de cristalização de 31°C, onde no tempo de cristalização de 4 min (experimento 2), o valor do atributo brilho foi de 6,47, aumentando para 7,42 ao se prolongar o tempo para 9 min (experimento 4).

Para o termo linear da temperatura de cristalização o seu coeficiente foi positivo, enquanto que para o termo quadrático foi negativo. Isso indica que, dentro dos valores de temperatura estipulados, o brilho se intensificou com a elevação da temperatura, porém a continuidade do aumento desta ocasionou redução de brilho nos produtos temperados.

O aumento excessivo da temperatura de cristalização prejudica o processo de temperagem, uma vez que esta não pode estar acima do ponto de fusão dos cristais estáveis. Por outro lado, nas temperaturas muito baixas há grande

formação de cristais instáveis e, portanto, maior tendência à formação de *fat bloom* e perda de brilho.

A interação  $t_c \times T_c$  (L) apresentou efeito positivo. Logo, ao se aumentar a temperatura de cristalização do processo de temperagem, o tempo de cristalização teve que ser prolongado na tentativa de promover maior formação de cristais estáveis para melhorar o grau de temperagem e, assim, intensificar o brilho do produto. Eliminando o fator não significativo tempo de cristalização (Q), verifica-se pela análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste ( $p \leq 0,05$ ). Na Tabela 3.37, encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 3.37.** Análise de variância do modelo ajustado para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ                | Fcal         | *Ftab        |
|-------------------|-----------------|----------|-------------------|--------------|--------------|
| Regressão         | 4,070373        | 4        | 1,01759325        | 1,78         | 4,53         |
| Resíduo           | 3,4229          | 6        | 0,570483333       |              |              |
| Falta de ajuste   | <b>3,388833</b> | <b>4</b> | <b>0,84720825</b> | <b>49,74</b> | <b>19,25</b> |
| Erro puro         | 0,034067        | 2        | 0,0170335         |              |              |
| Total             | 7,493273        | 10       |                   |              |              |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

Embora o atributo brilho tenha apresentado três fatores de efeitos significativos, seu modelo não foi preditivo, por apresentar regressão não significativa e sua falta de ajuste significativa ( $p \leq 0,05$ ), não havendo confiabilidade no modelo. Seu coeficiente de determinação foi de 0,5432.

### 3.2.2.2. Atributo “fat bloom”

A Tabela 3.38 apresenta as médias dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub>. Os valores variam de 0,22 a 1,77.

**Tabela 3.38.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br><i>fat bloom</i> |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                               |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                               |
| 1            | 28                              | 4,0                       | 0,40 ± 0,66 <sup>ab</sup>     |
| 2            | 31                              | 4,0                       | 1,77 ± 2,13 <sup>a</sup>      |
| 3            | 28                              | 9,0                       | 0,81 ± 1,22 <sup>ab</sup>     |
| 4            | 31                              | 9,0                       | 0,47 ± 0,65 <sup>ab</sup>     |
| 5            | 29,5                            | 6,5                       | 0,45 ± 0,67 <sup>ab</sup>     |
| 6            | 29,5                            | 6,5                       | 0,44 ± 1,10 <sup>ab</sup>     |
| 7            | 29,5                            | 6,5                       | 0,22 ± 0,39 <sup>b</sup>      |
| 8            | 27,4                            | 6,5                       | 1,19 ± 1,33 <sup>ab</sup>     |
| 9            | 31,6                            | 6,5                       | 1,76 ± 2,34 <sup>a</sup>      |
| 10           | 29,5                            | 3,0                       | 1,53 ± 2,01 <sup>ab</sup>     |
| 11           | 29,5                            | 10,0                      | 0,28 ± 0,37 <sup>ab</sup>     |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

A Tabela 3.39 apresenta os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no atributo *fat bloom*.

**Tabela 3.39.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>0,37132</b>  | <b>0,07506</b> | <b>0,03851</b>                | <b>0,37132</b>           |
| $t_c$ (L)            | <b>-0,66510</b> | <b>0,09206</b> | <b>0,01863</b>                | <b>-0,33255</b>          |
| $t_c$ (Q)            | 0,36968         | 0,10985        | 0,07810                       | 0,18484                  |
| $T_c$ (L)            | <b>0,45979</b>  | <b>0,09206</b> | <b>0,03783</b>                | <b>0,22990</b>           |
| $T_c$ (Q)            | <b>0,94310</b>  | <b>0,10985</b> | <b>0,01330</b>                | <b>0,47155</b>           |
| $t_c \times T_c$ (L) | <b>-0,85500</b> | <b>0,13000</b> | <b>0,02235</b>                | <b>-0,42750</b>          |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ )

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Pela Tabela 3.39, observa-se que o efeito do fator tempo de cristalização (L) foi considerado significativo ( $p \leq 0,05$ ) e negativo dentro da faixa que lhe foi estipulado, ou seja, a probabilidade do surgimento de *fat bloom* no produto diminuiu com o aumento do tempo de cristalização. Sabe-se que quanto maior o tempo de cristalização no processo de temperagem, mais cristais estáveis se formam evitando o aparecimento de *fat bloom*.

Os fatores temperatura de cristalização (L) e (Q) também foram significativos de efeitos positivos, o que significa que com a elevação da temperatura de cristalização a probabilidade do aparecimento de *fat bloom* aumentou. Pois, ao se aumentar a temperatura acima do ponto de fusão dos cristais estáveis, estes não são formados, ocorrendo o aparecimento de *fat bloom* no produto.

A interação  $t_c \times T_c$  (L) apresentou efeito significativo negativo, ou seja, ao se elevar a temperatura de cristalização, é necessário prolongar o tempo de

cristalização na tentativa de promover a formação de cristais estáveis, para assim reduzir a probabilidade do aparecimento de *fat bloom*.

Eliminando o fator não significativo tempo de cristalização (Q), verifica-se pela análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste a 5% de significância ( $p \leq 0,05$ ). Na Tabela 3.40, encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 3.40.** Análise de variância do modelo ajustado para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ                | Fcal        | *Ftab       |
|-------------------|-----------------|----------|-------------------|-------------|-------------|
| Regressão         | <b>3,102663</b> | <b>4</b> | <b>0,77566575</b> | <b>8,49</b> | <b>4,53</b> |
| Resíduo           | 0,548155        | 6        | 0,091359467       |             |             |
| Falta de ajuste   | 0,514355        | 4        | 0,12858875        | 7,61        | 19,25       |
| Erro puro         | 0,03380         | 2        | 0,01690           |             |             |
| Total             | 3,650818        | 10       |                   |             |             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

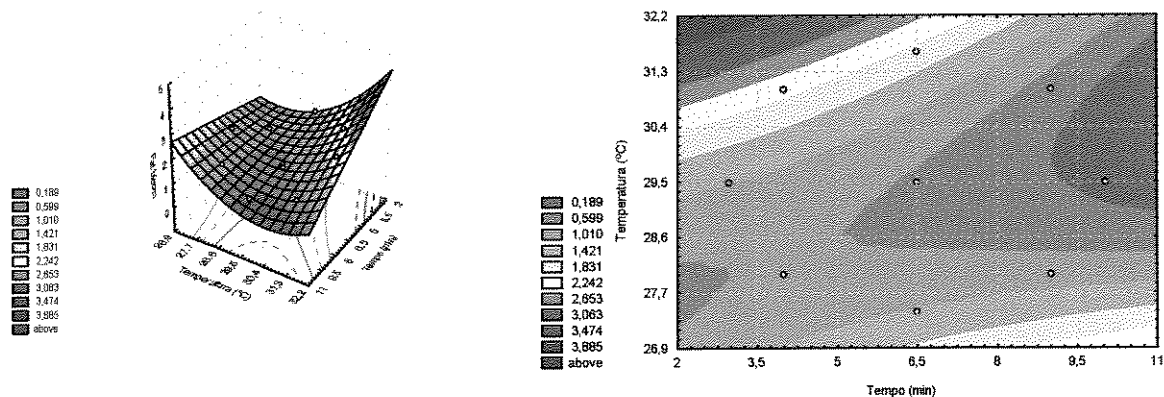
O modelo para o atributo *fat bloom* foi considerado preditivo por apresentar fatores de efeitos significativos, regressão significativa ( $p \leq 0,05$ ), falta de ajuste não significativa ( $p \leq 0,05$ ) e valor do coeficiente de determinação de 0,8499.

A Tabela 3.41 apresenta o modelo ajustado para o atributo sensorial *fat bloom* e seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Tabela 3.41.** Modelo ajustado e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) do atributo sensorial *fat bloom* da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Atributo                              | Modelo                                                                         | $R^2$  |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------|
| <i>Fat bloom</i>                      | $0,37132 - 0,33255 t_c + 0,22990 T_c + 0,47155 T_c^2 - 0,42750 t_c \times T_c$ | 0,8499 |
| $t_c$ – tempo de cristalização.       |                                                                                |        |
| $T_c$ – temperatura de cristalização. |                                                                                |        |

De acordo com o modelo ajustado, foram construídas as superfícies de resposta e de contorno para a avaliação do atributo sensorial *fat bloom* (Figura 3.14).



**Figura 3.14.** Superfícies de resposta e de contorno para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

Pela análise de superfície (Figura 3.14) pode-se observar que a região ótima, ou seja, aquela cujo produto não apresentou *fat bloom*, é a região verde escuro, onde se encontra o experimento 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=10\text{min}$ ). Os produtos com maior quantidade de *fat bloom* foram os provenientes dos experimentos 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$  e  $t_c=4\text{min}$ ) e 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=6,5\text{min}$ ), que se encontram na região amarela e verde claro, respectivamente. De acordo com a superfície de resposta, verifica-se que nas condições estudadas, a ocorrência de *fat bloom* foi maior nas altas temperaturas de cristalização com tempos curtos.

### 3.2.2.3. Atributo “presença de bolhas”

A Tabela 3.42 apresenta as médias dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub>, cujos valores variaram de 1,67 a 3,82.

**Tabela 3.42.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br>presença de bolhas |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                                 |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                                 |
| 1            | 28                              | 4,0                       | 2,74 ± 2,39 <sup>ab</sup>       |
| 2            | 31                              | 4,0                       | 2,09 ± 1,88 <sup>b</sup>        |
| 3            | 28                              | 9,0                       | 3,82 ± 2,63 <sup>a</sup>        |
| 4            | 31                              | 9,0                       | 1,80 ± 1,85 <sup>b</sup>        |
| 5            | 29,5                            | 6,5                       | 1,67 ± 1,37 <sup>b</sup>        |
| 6            | 29,5                            | 6,5                       | 2,70 ± 2,08 <sup>ab</sup>       |
| 7            | 29,5                            | 6,5                       | 2,59 ± 2,21 <sup>ab</sup>       |
| 8            | 27,4                            | 6,5                       | 2,62 ± 2,24 <sup>ab</sup>       |
| 9            | 31,6                            | 6,5                       | 1,96 ± 1,92 <sup>b</sup>        |
| 10           | 29,5                            | 3,0                       | 2,41 ± 1,88 <sup>ab</sup>       |
| 11           | 29,5                            | 10,0                      | 3,15 ± 2,31 <sup>ab</sup>       |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

A Tabela 3.43 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no atributo presença de bolhas dos produtos temperados.

**Tabela 3.43.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro Puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>2,31970</b>  | <b>0,32654</b> | <b>0,01925</b>                | <b>2,31970</b>           |
| $t_c$ (L)            | 0,45972         | 0,40053        | 0,36983                       | 0,22986                  |
| $t_c$ (Q)            | 0,50139         | 0,47794        | 0,40422                       | 0,25070                  |
| $T_c$ (L)            | -0,90284        | 0,40053        | 0,15292                       | -0,45142                 |
| $T_c$ (Q)            | 0,00846         | 0,47794        | 0,98749                       | 0,00423                  |
| $t_c \times T_c$ (L) | -0,68500        | 0,56560        | 0,34954                       | -0,34250                 |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ )

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Pela Tabela 3.43, verifica-se que nenhum dos fatores tempo e temperatura de cristalização foram significativos com relação ao atributo presença de bolhas, pois todos os valores de “p” foram superiores a 0,05 ( $p > 0,05$ ), tornando o modelo não preditivo. Isso indica que as faixas de tempo e temperatura de cristalização, estipuladas por planejamento experimental, não influenciaram de forma significativa no atributo presença de bolhas dos produtos temperados.

#### 3.2.2.4. Atributo “qualidade do moldado”

A Tabela 3.44 apresenta as médias dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação  $F_{50}$ , enquanto que a Tabela 3.45 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no atributo qualidade do moldado dos produtos temperados.

**Tabela 3.44.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br>qualidade do moldado |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                                   |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                                   |
| 1            | 28                              | 4,0                       | 7,60 ± 1,57 <sup>a</sup>          |
| 2            | 31                              | 4,0                       | 7,89 ± 1,16 <sup>a</sup>          |
| 3            | 28                              | 9,0                       | 6,27 ± 2,18 <sup>a</sup>          |
| 4            | 31                              | 9,0                       | 7,56 ± 1,56 <sup>a</sup>          |
| 5            | 29,5                            | 6,5                       | 7,86 ± 1,44 <sup>a</sup>          |
| 6            | 29,5                            | 6,5                       | 7,65 ± 1,71 <sup>a</sup>          |
| 7            | 29,5                            | 6,5                       | 6,66 ± 2,51 <sup>a</sup>          |
| 8            | 27,4                            | 6,5                       | 3,01 ± 2,62 <sup>b</sup>          |
| 9            | 31,6                            | 6,5                       | 7,70 ± 1,86 <sup>a</sup>          |
| 10           | 29,5                            | 3,0                       | 7,48 ± 1,70 <sup>a</sup>          |
| 11           | 29,5                            | 10,0                      | 6,96 ± 2,03 <sup>a</sup>          |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

**Tabela 3.45.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo (t<sub>c</sub>) e temperatura (T<sub>c</sub>) de cristalização do atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores                             | Efeito<br>estimado | Erro<br>puro   | Significância<br>estatística (p) | Coeficiente de<br>regressão |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Média/interação                     | <b>7,38584</b>     | <b>0,37000</b> | <b>0,00250</b>                   | <b>7,38584</b>              |
| t <sub>c</sub> (L)                  | -0,60009           | 0,45383        | 0,31704                          | -0,30004                    |
| t <sub>c</sub> (Q)                  | 0,36084            | 0,54154        | 0,57378                          | 0,18042                     |
| T <sub>c</sub> (L)                  | <b>2,05434</b>     | <b>0,45383</b> | <b>0,04550</b>                   | <b>1,02717</b>              |
| T <sub>c</sub> (Q)                  | -1,51533           | 0,54154        | 0,10751                          | -0,75766                    |
| t <sub>c</sub> x T <sub>c</sub> (L) | 0,50000            | 0,64086        | 0,51695                          | 0,25000                     |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% (p ≤ 0,05).

t<sub>c</sub> – tempo de cristalização / T<sub>c</sub> – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Somente o efeito do fator temperatura de cristalização (L) apresentou efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ), sendo positivo (Tabela 3.45). Portanto, o aumento linear da temperatura de cristalização proporcionou a obtenção de produtos bem moldados. De fato, pela Tabela 3.44, pode-se observar que pelo teste de tukey a 5% de significância, as notas atribuídas ao atributo qualidade do moldado dos produtos obtidos dos experimentos de temperagem da formulação F<sub>50</sub> não diferiram entre si, com exceção do experimento 8 que recebeu a menor nota (3,01) e, cuja temperatura de cristalização também foi a menor (27,4°C). Os demais produtos obtiveram notas de 6,27 a 7,89.

Na seção 3.1.2, verifica-se pela Tabela 3.13, que não foi possível medir a viscosidade plástica do experimento 8 devido este se apresentar extremamente viscoso. A alta viscosidade do produto dificulta o processo de moldagem, podendo ocorrer defeitos em seu formato.

Embora não tenha sido realizada a medição da viscosidade dos experimentos 1 e 3, por estes também se apresentarem demasiadamente viscosos, foi possível a obtenção de seus produtos bem moldados. Isso porque a temperatura dos experimentos 1 e 3 (28°C) foi mais alta que a do experimento 8 (27,4°C). Sabe-se que quanto maior a temperatura menor é a viscosidade.

Eliminando os fatores não significativos, verifica-se pela análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste ( $p \leq 0,05$ ). Na Tabela 3.46, encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 3.46.** Análise de variância do modelo ajustado para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fonte de variação | SQ             | GL       | MQ             | Fcal        | *Ftab       |
|-------------------|----------------|----------|----------------|-------------|-------------|
| Regressão         | <b>8,41549</b> | <b>1</b> | <b>8,41549</b> | <b>6,59</b> | <b>5,12</b> |
| Resíduo           | 11,49113       | 9        | 1,276792222    |             |             |
| Falta de ajuste   | 10,66973       | 7        | 1,524247143    | 3,71        | 19,35       |
| Erro puro         | 0,8214         | 2        | 0,4107         |             |             |
| Total             | 19,90662       | 10       |                |             |             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

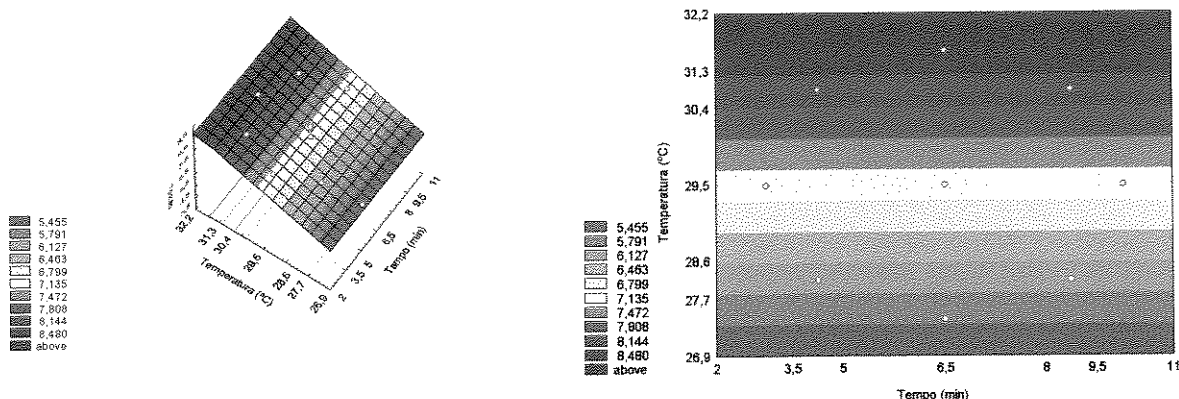
O modelo para o atributo qualidade do moldado foi considerado preditivo por apresentar fatores de efeitos significativos, regressão significativa ( $p \leq 0,05$ ), falta de ajuste não significativa ( $p \leq 0,05$ ) e valor do coeficiente de determinação aceitável para um atributo avaliado por análise sensorial, segundo RESURRECION (1998). A Tabela 3.47 apresenta o modelo ajustado para o atributo sensorial qualidade do moldado e seu coeficiente de determinação ( $R^2$ ).

**Tabela 3.47.** Modelo ajustado e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) do atributo sensorial qualidade do moldado da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Atributo             | Modelo                  | $R^2$  |
|----------------------|-------------------------|--------|
| Qualidade do moldado | $7,38584 + 1,02717 T_c$ | 0,4228 |

$T_c$  – temperatura de cristalização.

De acordo com o modelo ajustado, foram construídas as superfícies de resposta e de contorno para a avaliação do atributo qualidade do moldado (Figura 3.15).



**Figura 3.15.** Superfícies de resposta e de contorno para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

Pela Figura 3.15, pode-se observar que o produto mais bem moldado encontra-se na região negrito escuro, que é o experimento 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=6,5\text{min}$ ), os experimentos mais próximos desta região são os experimentos 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$  e  $t_c=4\text{min}$ ) e 4 ( $T_c=31^\circ\text{C}$  e  $t_c=9\text{min}$ ).

Sabe-se que nas altas temperaturas de cristalização não se obtém produto adequadamente temperado, com isso não ocorre contração de volume nos moldes, dificultando o processo de desmoldagem. Entretanto, na faixa de temperatura estudada para este trabalho foi possível obter esta contração de volume nas temperaturas mais altas ( $31^\circ\text{C}$  a  $31,6^\circ\text{C}$ ), porém o tempo necessário para que essa contração ocorresse durante o resfriamento foi maior que para os produtos temperados na faixa de  $27,4$  a  $29,5^\circ\text{C}$ .

### 3.2.2.5. Parâmetro L\* e coordenadas cromáticas a\* e b\* da análise de cor

A Tabela 3.48 apresenta os valores dos parâmetros L\* e das coordenadas cromáticas a\* e b\* da análise de cor dos experimentos da Formulação F<sub>50</sub>.

**Tabela 3.48.** Valores obtidos para o parâmetro L\* e para as coordenadas cromáticas a\* e b\* da análise de cor dos experimentos de temperagem da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | Parâmetros da análise de cor |                             |                            |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização | L*                           | a*                          | b*                         |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |                              |                             |                            |
| 1            | 28                           | 4                      | 32,81 ± 0,05 <sup>bc</sup>   | 11,45 ± 0,06 <sup>cd</sup>  | 12,30 ± 0,06 <sup>d</sup>  |
| 2            | 31                           | 4                      | 33,54 ± 0,30 <sup>abc</sup>  | 12,29 ± 0,02 <sup>ab</sup>  | 13,99 ± 0,29 <sup>ab</sup> |
| 3            | 28                           | 9                      | 34,20 ± 0,06 <sup>ab</sup>   | 11,67 ± 0,03 <sup>bcd</sup> | 13,12 ± 0,13 <sup>c</sup>  |
| 4            | 31                           | 9                      | 33,83 ± 0,52 <sup>abc</sup>  | 11,93 ± 0,29 <sup>bcd</sup> | 13,91 ± 0,22 <sup>ab</sup> |
| 5            | 29,5                         | 6,5                    | 32,68 ± 0,23 <sup>bc</sup>   | 11,34 ± 0,06 <sup>d</sup>   | 12,28 ± 0,11 <sup>d</sup>  |
| 6            | 29,5                         | 6,5                    | 32,59 ± 0,12 <sup>c</sup>    | 11,41 ± 0,04 <sup>cd</sup>  | 12,38 ± 0,08 <sup>d</sup>  |
| 7            | 29,5                         | 6,5                    | 32,68 ± 0,14 <sup>bc</sup>   | 11,39 ± 0,06 <sup>d</sup>   | 12,40 ± 0,08 <sup>d</sup>  |
| 8            | 27,4                         | 6,5                    | 35,11 ± 0,70 <sup>a</sup>    | 11,93 ± 0,06 <sup>bcd</sup> | 13,70 ± 0,13 <sup>bc</sup> |
| 9            | 31,6                         | 6,5                    | 33,58 ± 0,51 <sup>abc</sup>  | 12,82 ± 0,13 <sup>a</sup>   | 14,20 ± 0,23 <sup>ab</sup> |
| 10           | 29,5                         | 3                      | 34,24 ± 1,36 <sup>ab</sup>   | 12,17 ± 0,80 <sup>abc</sup> | 14,40 ± 0,45 <sup>a</sup>  |
| 11           | 29,5                         | 10                     | 32,75 ± 0,14 <sup>bc</sup>   | 11,38 ± 0,04 <sup>d</sup>   | 12,33 ± 0,03 <sup>d</sup>  |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de quatro medições.

A Tabela 3.49 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no parâmetro L\* e nas coordenadas cromáticas a\* e b\* da análise de cor dos produtos temperados.

**Tabela 3.49.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do parâmetro  $L^*$  e das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor dos produtos temperados da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>32,65132</b> | <b>0,03000</b> | <b>0,00000</b>                | <b>32,65132</b>          |
| $t_c$ (L)            | -0,10554        | 0,03680        | 0,10310                       | -0,05277                 |
| $t_c$ (Q)            | <b>0,68144</b>  | <b>0,04391</b> | <b>0,00413</b>                | <b>0,34072</b>           |
| $L^*$ $T_c$ (L)      | <b>-0,45067</b> | <b>0,03680</b> | <b>0,00660</b>                | <b>-0,22533</b>          |
| $T_c$ (Q)            | <b>1,53653</b>  | <b>0,04391</b> | <b>0,00082</b>                | <b>0,76826</b>           |
| $t_c \times T_c$ (L) | <b>-0,55000</b> | <b>0,05196</b> | <b>0,00881</b>                | <b>-0,27500</b>          |
| Média/interação      | <b>11,38097</b> | <b>0,02082</b> | <b>0,00000</b>                | <b>11,38097</b>          |
| $t_c$ (L)            | <b>-0,31441</b> | <b>0,02553</b> | <b>0,00653</b>                | <b>-0,15721</b>          |
| $t_c$ (Q)            | <b>0,27358</b>  | <b>0,03047</b> | <b>0,01218</b>                | <b>0,13679</b>           |
| $a^*$ $T_c$ (L)      | <b>0,59048</b>  | <b>0,02553</b> | <b>0,00187</b>                | <b>0,29524</b>           |
| $T_c$ (Q)            | <b>0,87718</b>  | <b>0,03047</b> | <b>0,00120</b>                | <b>0,43859</b>           |
| $t_c \times T_c$ (L) | <b>-0,29000</b> | <b>0,03606</b> | <b>0,01511</b>                | <b>-0,14500</b>          |
| Média/interação      | <b>12,35466</b> | <b>0,03712</b> | <b>0,00001</b>                | <b>12,35466</b>          |
| $t_c$ (L)            | <b>-0,54630</b> | <b>0,04553</b> | <b>0,00687</b>                | <b>-0,27315</b>          |
| $t_c$ (Q)            | <b>0,84773</b>  | <b>0,05433</b> | <b>0,00408</b>                | <b>0,42387</b>           |
| $b^*$ $T_c$ (L)      | <b>0,79863</b>  | <b>0,04553</b> | <b>0,00323</b>                | <b>0,39931</b>           |
| $T_c$ (Q)            | <b>1,43624</b>  | <b>0,05433</b> | <b>0,00143</b>                | <b>0,71812</b>           |
| $t_c \times T_c$ (L) | <b>-0,45000</b> | <b>0,06429</b> | <b>0,01981</b>                | <b>-0,22500</b>          |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ )

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Para o parâmetro  $L^*$  (luminosidade) (Tabela 3.49), os efeitos dos fatores tempo de cristalização (Q), temperatura de cristalização (L) e (Q) e da interação  $t_c \times T_c$  (L) foram considerados significativos ( $p \leq 0,05$ ).

O efeito do tempo de cristalização (Q) foi positivo, logo o seu elevado aumento ocasionou aumento do parâmetro  $L^*$  do produto, ou seja, na ocorrência de *fat bloom*. Sabe-se que, quanto maior o tempo de cristalização, há mais

formação de cristais estáveis. No entanto, o prolongamento excessivo desse tempo ocasiona aumento na viscosidade, dificultando o processo de moldagem e, com isso, comprometendo o processo de cristalização, uma vez que esta se inicia na temperagem, se estendendo até o túnel de resfriamento.

Com relação à temperatura de cristalização (L) e (Q) do parâmetro  $L^*$ , o termo linear foi negativo e o termo quadrático foi positivo. Isso significa que inicialmente o aumento da temperatura ocasionou redução no valor do parâmetro  $L^*$ , porém a continuidade da elevação da temperatura de cristalização proporcionou aumento na luminosidade, devido ao surgimento de *fat bloom*. Pois, como visto no Item 3.2.2.2, o elevado aumento da temperatura de cristalização causa o aparecimento de *fat bloom* nos produtos.

A interação  $t \times T_c$  (L) do parâmetro  $L^*$  apresentou efeito negativo, ou seja, com o aumento da temperatura de cristalização, o tempo de cristalização tem que ser maior para que ocorra a formação dos cristais estáveis, reduzindo a probabilidade da ocorrência de *fat bloom*, diminuindo a luminosidade. O mesmo ocorreu com o atributo *fat bloom*, cuja interação tempo e temperatura de cristalização também foi negativa.

Para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$ , todos os fatores apresentaram efeitos significativos ( $p \leq 0,05$ ), sendo o efeito do termo linear do tempo de cristalização negativo e o termo quadrático positivo. Isso significa que os valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  diminuíram com o aumento linear do tempo de cristalização e, com o prolongamento deste ocorreu o aumento nos valores das coordenadas, ou seja, o aparecimento de *fat bloom* nos produtos, assim como ocorrido no termo quadrático do tempo de cristalização do parâmetro  $L^*$ . Os efeitos dos termos linear e quadrático da temperatura de cristalização foram positivos. Com isso, elevando-se a temperatura os valores das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  aumentaram. A interação  $t \times T_c$  (L) apresentou efeito negativo.

Logo, ao se elevar à temperatura de cristalização, tornou-se necessário o aumento do tempo de cristalização para que os valores das coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  diminuíssem, ou seja, a redução da intensidade do vermelho e do amarelo, respectivamente.

Verificou-se na análise de variância (Tabela 3.50), pelo teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste ( $p \leq 0,05$ ) para o parâmetro  $L^*$  e para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$ .

**Tabela 3.50.** Análise de variância do modelo ajustado para o parâmetro  $L^*$  e para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor dos produtos temperados da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

|       | Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ                 | Fcal          | *Ftab        |
|-------|-------------------|-----------------|----------|--------------------|---------------|--------------|
| $L^*$ | Regressão         | 4,09744         | 4        | 1,02436025         | 2,17          | 4,53         |
|       | Resíduo           | 2,838832        | 6        | 0,473138667        |               |              |
|       | Falta de ajuste   | <b>2,833432</b> | <b>4</b> | <b>0,708358</b>    | <b>262,35</b> | <b>19,25</b> |
|       | Erro puro         | 0,00540         | 2        | 0,00270            |               |              |
|       | Total             | 6,936273        | 10       |                    |               |              |
| $a^*$ | Regressão         | <b>2,054532</b> | <b>5</b> | <b>0,4109064</b>   | <b>8,41</b>   | <b>5,05</b>  |
|       | Resíduo           | 0,244232        | 5        | 0,0488464          |               |              |
|       | Falta de ajuste   | <b>0,241632</b> | <b>3</b> | <b>0,080544</b>    | <b>61,96</b>  | <b>19,16</b> |
|       | Erro puro         | 0,00260         | 2        | 0,00130            |               |              |
|       | Total             | 2,298764        | 10       |                    |               |              |
| $b^*$ | Regressão         | 5,240212        | 5        | 1,0480424          | 2,27          | 5,05         |
|       | Resíduo           | 2,306806        | 5        | 0,4613612          |               |              |
|       | Falta de ajuste   | <b>2,298539</b> | <b>3</b> | <b>0,766179667</b> | <b>185,36</b> | <b>19,16</b> |
|       | Erro puro         | 0,008267        | 2        | 0,0041335          |               |              |
|       | Total             | 7,547018        | 10       |                    |               |              |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).  
 SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.  
 Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado. / \*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$

Para o parâmetro  $L^*$  e para a coordenada cromática  $b^*$  (Tabela 3.50), os modelos apresentaram regressão não significativa ao nível de 5% de significância

e falta de ajuste significativa no mesmo nível. Seus coeficientes de determinação ( $R^2$ ) foram de 0,5907 e 0,6943, respectivamente, sendo estes valores abaixo do recomendado para atributos avaliados por análise instrumental (0,85). Portanto, diante desses resultados, os modelos ajustados para o parâmetro  $L^*$  e para a coordenada cromática  $b^*$  da análise de cor não foram preditivos, embora tenham apresentado fatores de efeitos significativos.

O modelo ajustado para a coordenada cromática  $a^*$  apresentou fatores de efeitos significativos, regressão significativa ao nível de 5% de significância e coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,8938. No entanto, seu modelo não foi preditivo por apresentar a falta de ajuste significativa ( $F_{cal} > F_{tab}$ ) ( $p \leq 0,05$ ).

Pela análise de cor (Item 3.7.3, capítulo 2), sabe-se que o *liquor* de cupuaçu LF2, que é um dos ingredientes da formulação  $F_{50}$ , apresentou valores de coordenadas cromáticas  $a^*$  (7,57) e  $b^*$  (9,32) significativamente ( $p \leq 0,05$ ) superiores aos do *liquor* de cacau LFC ( $a^* = 4,85$  e  $b^* = 7,10$ ), também presente nesta formulação, o que influenciou na coloração do produto. Tal fato pode ter dificultado detectar com segurança por análise de cor a presença ou ausência de *fat bloom* nos produtos obtidos pelos experimentos de temperagem da formulação  $F_{50}$ , devido aos altos valores das coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  do *liquor* de cupuaçu. Pois quando há presença de *fat bloom* no produto, os valores dessas coordenadas são altos, segundo os resultados obtidos para o chocolate (Item 3.2.1.5).

#### 3.2.2.6. Força de ruptura

A Tabela 3.51 apresenta os valores de força de ruptura dos experimentos da formulação  $F_{50}$  e a Tabela 3.52 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização para a força de ruptura dos produtos temperados.

**Tabela 3.51.** Valores obtidos para a força de ruptura dos experimentos da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | Força de Ruptura (kgf)     |
|--------------|------------------------------|------------------------|----------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |                            |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |                            |
| 1            | 28                           | 4,0                    | 5,03 ± 0,80 <sup>a</sup>   |
| 2            | 31                           | 4,0                    | 4,18 ± 0,52 <sup>abc</sup> |
| 3            | 28                           | 9,0                    | 3,61 ± 0,36 <sup>cd</sup>  |
| 4            | 31                           | 9,0                    | 3,80 ± 0,34 <sup>bcd</sup> |
| 5            | 29,5                         | 6,5                    | 3,68 ± 0,44 <sup>bcd</sup> |
| 6            | 29,5                         | 6,5                    | 3,15 ± 0,14 <sup>d</sup>   |
| 7            | 29,5                         | 6,5                    | 3,45 ± 0,44 <sup>cd</sup>  |
| 8            | 27,4                         | 6,5                    | 3,48 ± 0,23 <sup>cd</sup>  |
| 9            | 31,6                         | 6,5                    | 3,68 ± 0,17 <sup>bcd</sup> |
| 10           | 29,5                         | 3,0                    | 4,35 ± 0,17 <sup>abc</sup> |
| 11           | 29,5                         | 10,0                   | 4,60 ± 0,15 <sup>ab</sup>  |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância). \*Média de quatro medições.

**Tabela 3.52.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo (t<sub>c</sub>) e temperatura (T<sub>c</sub>) de cristalização da força de ruptura dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores                             | Efeito estimado | Erro puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação                     | <b>3,42618</b>  | <b>0,15344</b> | <b>0,00200</b>                | <b>3,42618</b>           |
| t <sub>c</sub> (L)                  | -0,36296        | 0,18821        | 0,19359                       | -0,18148                 |
| t <sub>c</sub> (Q)                  | <b>1,11742</b>  | <b>0,22458</b> | <b>0,03810</b>                | <b>0,55871</b>           |
| T <sub>c</sub> (L)                  | -0,09478        | 0,18821        | 0,66453                       | -0,04739                 |
| T <sub>c</sub> (Q)                  | 0,21707         | 0,22458        | 0,43575                       | 0,10853                  |
| t <sub>c</sub> x T <sub>c</sub> (L) | 0,52000         | 0,26577        | 0,18954                       | 0,26000                  |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% (p≤0,05).

t<sub>c</sub> – tempo de cristalização / T<sub>c</sub> – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Somente o efeito do fator tempo de cristalização (Q) foi significativo ( $p \leq 0,05$ ), sendo positivo (Tabela 3.52). Logo, a força de ruptura se intensificou com o aumento do tempo de cristalização. Ao se aumentar o tempo de cristalização do processo de temperagem, o produto apresenta maior quantidade de cristais estáveis, conferindo maior contração de volume da massa nos moldes devido à geometria desses cristais.

Eliminando os fatores não significativos, verificou-se na análise de variância, pelo teste F (Tabela 3.53), a significância da regressão e da falta de ajuste a 5%.

**Tabela 3.53.** Análise de variância do modelo ajustado da força de ruptura dos produtos temperados da formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ              | Fcal         | *Ftab       |
|-------------------|-----------------|----------|-----------------|--------------|-------------|
| Regressão         | <b>1,700677</b> | <b>1</b> | <b>1,700677</b> | <b>10,35</b> | <b>5,12</b> |
| Resíduo           | 1,478323        | 9        | 0,164258111     |              |             |
| Falta de ajuste   | 1,337056        | 7        | 0,191008        | 2,70         | 19,35       |
| Erro puro         | 0,141267        | 2        | 0,0706335       |              |             |
| Total             | 3,179           | 10       |                 |              |             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

Embora a força de ruptura tenha apresentado um fator de efeito significativo, com regressão significativa e falta de ajuste não significativa ( $p \leq 0,05$ ), seu coeficiente de determinação (0,5350) foi inferior ao valor aceito (0,85) para um atributo avaliado por análise instrumental. Portanto, o modelo ajustado para a força de ruptura não foi preditivo.

### 3.2.3. Formulação F<sub>100</sub>

A formulação F<sub>100</sub> possui dois tipos de gordura, que são: gordura de cupuaçu e gordura de leite. Segundo LUCAS (2001), a forma cristalina estável da gordura de cupuaçu, assim como para a manteiga de cacau, é a forma V, resultado este obtido por DSC. Esta informação poderá servir para auxiliar na definição do processo de temperagem dos produtos análogos ao chocolate elaborados com gordura de cupuaçu.

#### 3.2.3.1. Atributo “brilho”

**Tabela 3.54.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | *Atributo brilho         |
|--------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |                          |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |                          |
| 1            | 28                           | 1,0                    | 7,25 ± 1,81 <sup>a</sup> |
| 2            | 31                           | 1,0                    | 6,85 ± 2,22 <sup>a</sup> |
| 3            | 28                           | 2,5                    | 7,25 ± 1,32 <sup>a</sup> |
| 4            | 31                           | 2,5                    | 7,08 ± 1,11 <sup>a</sup> |
| 5            | 29,5                         | 1,75                   | 7,27 ± 1,45 <sup>a</sup> |
| 6            | 29,5                         | 1,75                   | 6,73 ± 1,76 <sup>a</sup> |
| 7            | 29,5                         | 1,75                   | 7,32 ± 1,32 <sup>a</sup> |
| 8            | 27,4                         | 1,75                   | 3,18 ± 3,24 <sup>b</sup> |
| 9            | 31,6                         | 1,75                   | 7,03 ± 1,56 <sup>a</sup> |
| 10           | 29,5                         | 0,7                    | 6,91 ± 1,83 <sup>a</sup> |
| 11           | 29,5                         | 2,8                    | 7,68 ± 1,05 <sup>a</sup> |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

A Tabela 3.55 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no atributo brilho.

**Tabela 3.55.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo brilho dos produtos temperados da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro Puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>7,10327</b>  | <b>0,18888</b> | <b>0,00071</b>                | <b>7,10327</b>           |
| $t_c$ (L)            | 0,34244         | 0,23168        | 0,27746                       | 0,17122                  |
| $t_c$ (Q)            | 0,62419         | 0,27646        | 0,15252                       | 0,31210                  |
| $T_c$ (L)            | <b>1,13533</b>  | <b>0,23168</b> | <b>0,03921</b>                | <b>0,56766</b>           |
| $T_c$ (Q)            | <b>-1,44311</b> | <b>0,27646</b> | <b>0,03480</b>                | <b>-0,72155</b>          |
| $t_c \times T_c$ (L) | 0,14000         | 0,32716        | 0,71038                       | 0,07000                  |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Observa-se pela Tabela 3.55 que os efeitos dos termos linear e quadrático da temperatura de cristalização foram significativos ( $p \leq 0,05$ ), apresentando o primeiro efeito positivo e o segundo efeito negativo. Isso implica que o brilho dos produtos se intensificou com a elevação de temperatura até um certo ponto, pois a continuidade do aumento desta começou a provocar redução do brilho, o que já é previsto. Pois, para que o produto se apresente bem temperado, ou seja, com a formação de cristais estáveis, não se deve aumentar a temperatura de cristalização do processo de temperagem acima do ponto de fusão desses cristais.

Eliminando os fatores não significativos, verifica-se pela análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste ( $p \leq 0,05$ ). Na Tabela 3.56, encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 3.56.** Análise de variância do modelo ajustado para o atributo brilho dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fonte de variação | SQ       | GL | MQ         | Fcal | *Ftab |
|-------------------|----------|----|------------|------|-------|
| Regressão         | 6,61128  | 2  | 3,30564    | 4,09 | 4,46  |
| Resíduo           | 6,46277  | 8  | 0,80784625 |      |       |
| Falta de ajuste   | 6,2487   | 6  | 1,04145    | 9,73 | 19,33 |
| Erro puro         | 0,21407  | 2  | 0,107035   |      |       |
| Total             | 13,07405 | 10 |            |      |       |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

Embora o atributo brilho da formulação F<sub>100</sub> tenha apresentado fatores de efeitos significativos, falta de ajuste não significativa ( $p \leq 0,05$ ) e coeficiente de determinação (0,5057) aceitável para um atributo avaliado por análise sensorial, segundo RESURRECION (1998), seu modelo foi considerado não preditivo devido sua regressão não ter sido significativa ao nível de 5%.

### 3.2.3.2. Atributo “*fat bloom*”

A Tabela 3.57 apresenta as médias dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub>, enquanto que a Tabela 3.58 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização do atributo *fat bloom* dos produtos temperados

**Tabela 3.57.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br><i>fat bloom</i> |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                               |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                               |
| 1            | 28                              | 1,0                       | 4,69 ± 2,79 <sup>cd</sup>     |
| 2            | 31                              | 1,0                       | 6,72 ± 2,57 <sup>ab</sup>     |
| 3            | 28                              | 2,5                       | 3,12 ± 2,59 <sup>de</sup>     |
| 4            | 31                              | 2,5                       | 4,58 ± 2,44 <sup>cd</sup>     |
| 5            | 29,5                            | 1,75                      | 4,91 ± 2,21 <sup>bcd</sup>    |
| 6            | 29,5                            | 1,75                      | 5,06 ± 2,79 <sup>bcd</sup>    |
| 7            | 29,5                            | 1,75                      | 3,75 ± 2,06 <sup>cde</sup>    |
| 8            | 27,4                            | 1,75                      | 1,78 ± 2,19 <sup>e</sup>      |
| 9            | 31,6                            | 1,75                      | 7,21 ± 2,12 <sup>a</sup>      |
| 10           | 29,5                            | 0,7                       | 6,76 ± 1,93 <sup>ab</sup>     |
| 11           | 29,5                            | 2,8                       | 5,46 ± 2,37 <sup>abc</sup>    |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Média de duas medições.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

**Tabela 3.58.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo (t<sub>c</sub>) e temperatura (T<sub>c</sub>) de cristalização do atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores                             | Efeito<br>estimado | Erro<br>Puro   | Significância<br>estatística (p) | Coeficiente<br>de regressão |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Média/interação                     | <b>4,57543</b>     | <b>0,41393</b> | <b>0,00809</b>                   | <b>4,57543</b>              |
| t <sub>c</sub> (L)                  | -1,38988           | 0,50772        | 0,11155                          | -0,69494                    |
| t <sub>c</sub> (Q)                  | 1,27750            | 0,60585        | 0,16949                          | 0,63875                     |
| T <sub>c</sub> (L)                  | <b>2,79489</b>     | <b>0,50772</b> | <b>0,03145</b>                   | <b>1,39745</b>              |
| T <sub>c</sub> (Q)                  | -0,34717           | 0,60585        | 0,62446                          | -0,17359                    |
| t <sub>c</sub> x T <sub>c</sub> (L) | -0,28500           | 0,71696        | 0,72940                          | -0,14250                    |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% (p ≤ 0,05).

t<sub>c</sub> – tempo de cristalização / T<sub>c</sub> – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Somente o termo linear da temperatura de cristalização apresentou efeito significativo ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 3.58), sendo positivo. Portanto, com a elevação da temperatura de cristalização ocorreu o aparecimento de *fat bloom* no produto.

Pela Tabela 3.57 verifica-se que na temperatura de cristalização de 31,6°C (maior temperatura de cristalização dos experimentos – experimento 9) o atributo *fat bloom* recebeu a maior nota (7,21) por parte dos provadores, ou seja, o produto apresentou grande quantidade deste defeito. O produto que recebeu a menor nota (1,78) para tal atributo foi o experimento 8, cuja temperatura de cristalização é a menor de todos os experimentos da formulação F<sub>100</sub>.

Era esperado que o experimento 8, que apresentou menor nota para o atributo *fat bloom*, fosse o que recebesse maior nota para o atributo brilho (Tabela 54). Pois, um produto bem temperado implica em ausência de *fat bloom* e brilho apreciável. Entretanto, o brilho deste recebeu a menor nota por parte dos avaliadores, isso porque o produto obtido por este experimento apresentou alta viscosidade, impedindo a acomodação adequada da massa nos moldes, resultando em produto de aparência global desagradável, influenciando na avaliação do brilho.

Eliminando os fatores não significativos, verifica-se pela análise de variância através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste ( $p \leq 0,05$ ). Na Tabela 3.59 encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 3.59.** Análise de variância do modelo ajustado para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ              | Fcal         | *Ftab       |
|-------------------|-----------------|----------|-----------------|--------------|-------------|
| Regressão         | <b>15,57634</b> | <b>1</b> | <b>15,57634</b> | <b>12,47</b> | <b>5,12</b> |
| Resíduo           | 11,24108        | 9        | 1,24900889      |              |             |
| Falta de ajuste   | 10,21301        | 7        | 1,45900143      | 2,84         | 19,35       |
| Erro puro         | 1,02807         | 2        | 0,514035        |              |             |
| Total             | 26,81742        | 10       |                 |              |             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 95% de significância ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

Devido o atributo *fat bloom* ter obtido um fator de efeito significativo, apresentando regressão significativa e falta de ajuste não significativa ( $p \leq 0,05$ ), com coeficiente de determinação acima do valor aceito para um atributo avaliado por análise sensorial, conclui-se que seu modelo foi preditivo.

A Tabela 3.60 apresenta o modelo ajustado e o coeficiente de determinação do atributo sensorial *fat bloom*.

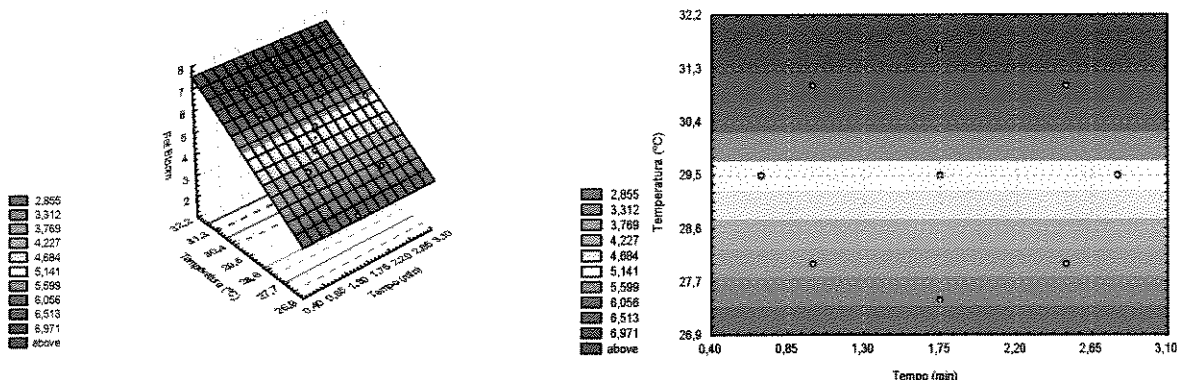
**Tabela 3.60.** Modelo ajustado e coeficiente de regressão ( $R^2$ ) do atributo sensorial *fat bloom* da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Atributo         | Modelo                  | $R^2$  |
|------------------|-------------------------|--------|
| <i>Fat bloom</i> | $4,57543 + 1,39745 T_c$ | 0,5808 |

$T_c$  – temperatura de cristalização.

A Figura 3.16 apresenta a variação da presença de *fat bloom* com o aumento da temperatura de cristalização.

Foram construídas as superfícies de resposta e de contorno para a avaliação do atributo sensorial *fat bloom*.



**Figura 3.16.** Superfícies de resposta e de contorno para o atributo *fat bloom* dos produtos temperados da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

Pela Figura 3.16, verifica-se que nenhum experimento do processo de temperagem da formulação  $F_{100}$  atingiu a região ótima (região verde escuro), ou seja, aquela onde não há presença de *fat bloom* nos produtos. O experimento mais próximo desta região foi o experimento 8 ( $T_c=27,4^{\circ}\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ).

### 3.2.3.3. Atributo “presença de bolhas”

A Tabela 3.61 apresenta as médias dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação  $F_{100}$  e a Tabela 3.62 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização do referido atributo.

**Tabela 3.61.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br>presença de bolhas |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                                 |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                                 |
| 1            | 28                              | 1,0                       | 4,00 ± 2,01 <sup>a</sup>        |
| 2            | 31                              | 1,0                       | 2,91 ± 2,49 <sup>ab</sup>       |
| 3            | 28                              | 2,5                       | 2,76 ± 2,28 <sup>ab</sup>       |
| 4            | 31                              | 2,5                       | 1,25 ± 0,98 <sup>b</sup>        |
| 5            | 29,5                            | 1,75                      | 2,02 ± 1,56 <sup>b</sup>        |
| 6            | 29,5                            | 1,75                      | 2,65 ± 2,03 <sup>ab</sup>       |
| 7            | 29,5                            | 1,75                      | 2,06 ± 1,57 <sup>b</sup>        |
| 8            | 27,4                            | 1,75                      | 2,30 ± 2,36 <sup>ab</sup>       |
| 9            | 31,6                            | 1,75                      | 1,55 ± 1,33 <sup>b</sup>        |
| 10           | 29,5                            | 0,7                       | 2,42 ± 1,71 <sup>ab</sup>       |
| 11           | 29,5                            | 2,8                       | 2,07 ± 2,06 <sup>b</sup>        |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata. Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

**Tabela 3.62.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo (t<sub>c</sub>) e temperatura (T<sub>c</sub>) de cristalização do atributo presença de bolhas dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores                             | Efeito<br>estimado | Erro<br>Puro   | Significância<br>estatística (p) | Coeficiente<br>de regressão |
|-------------------------------------|--------------------|----------------|----------------------------------|-----------------------------|
| Média/interação                     | <b>2,24077</b>     | <b>0,20366</b> | <b>0,00816</b>                   | <b>2,24077</b>              |
| t <sub>c</sub> (L)                  | -0,85091           | 0,24981        | 0,07644                          | -0,42545                    |
| t <sub>c</sub> (Q)                  | 0,32915            | 0,29808        | 0,38548                          | 0,16457                     |
| T <sub>c</sub> (L)                  | -0,91710           | 0,24981        | 0,06684                          | -0,45855                    |
| T <sub>c</sub> (Q)                  | 0,00723            | 0,29808        | 0,98285                          | 0,00362                     |
| t <sub>c</sub> x T <sub>c</sub> (L) | -0,21000           | 0,35275        | 0,61202                          | -0,10500                    |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% (p ≤ 0,05).

t<sub>c</sub> – tempo de cristalização / T<sub>c</sub> – temperatura de cristalização

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Observa-se pela Tabela 3.62 que nenhum dos fatores tempo e temperatura de cristalização foram significativos ( $p > 0,05$ ) com relação ao atributo presença de bolhas, tornando o modelo não preditivo. Isso implica que a variação do tempo e temperatura de cristalização não influenciou no atributo presença de bolhas dos experimentos de temperagem da formulação F<sub>100</sub>.

### 3.2.3.4. Atributo “qualidade do moldado”

A Tabela 3.63 apresenta as médias dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub>.

**Tabela 3.63.** Média dos valores atribuídos pelos avaliadores para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem         |                           | *Atributo<br>qualidade do moldado |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
|              | Temperatura de<br>cristalização | Tempo de<br>cristalização |                                   |
|              | T <sub>c</sub> (°C)             | t <sub>c</sub> (min)      |                                   |
| 1            | 28                              | 1,0                       | 6,85 ± 2,20 <sup>ab</sup>         |
| 2            | 31                              | 1,0                       | 7,22 ± 1,51 <sup>ab</sup>         |
| 3            | 28                              | 2,5                       | 6,86 ± 1,29 <sup>ab</sup>         |
| 4            | 31                              | 2,5                       | 8,34 ± 0,64 <sup>a</sup>          |
| 5            | 29,5                            | 1,75                      | 7,73 ± 1,37 <sup>ab</sup>         |
| 6            | 29,5                            | 1,75                      | 7,20 ± 1,88 <sup>ab</sup>         |
| 7            | 29,5                            | 1,75                      | 7,49 ± 1,25 <sup>ab</sup>         |
| 8            | 27,4                            | 1,75                      | 1,48 ± 2,01 <sup>c</sup>          |
| 9            | 31,6                            | 1,75                      | 7,43 ± 1,59 <sup>ab</sup>         |
| 10           | 29,5                            | 0,7                       | 7,28 ± 1,47 <sup>ab</sup>         |
| 11           | 29,5                            | 2,8                       | 6,34 ± 2,55 <sup>b</sup>          |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

\*Valores obtidos em duplicata.

Escala não-estruturada de 0 a 9 pontos.

Na seção 3.1.3, Tabela 3.14, observa-se que não foi possível a medição da viscosidade plástica do experimento 8 por ter se apresentado, na temperatura de cristalização de 27,4°C, extremamente viscoso. A altíssima viscosidade da massa dificultou seu processo de moldagem, pois ao se colocar o produto no molde, este se solidificou rapidamente, não sendo possível a realização do processo de vibração para a acomodação da massa no molde, apresentado o produto com defeitos em seu formato, obtendo nota mais baixa (1,48) para o atributo qualidade do moldado.

Embora não tenha sido possível também a medição da viscosidade dos experimentos 1 e 3 devido estarem excessivamente viscosos, estes por apresentarem temperatura de cristalização superior (28°C) ao do experimento 8 (27,4°C), possibilitou um processo de moldagem adequado. A Tabela 3.64 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no atributo qualidade do moldado dos produtos temperados.

**Tabela 3.64.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro Puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>7,46661</b>  | <b>0,15322</b> | <b>0,00042</b>                | <b>7,46661</b>           |
| $t_c$ (L)            | -0,04900        | 0,18794        | 0,81871                       | -0,02450                 |
| $t_c$ (Q)            | 0,19251         | 0,22426        | 0,48111                       | 0,09626                  |
| $T_c$ (L)            | <b>2,56751</b>  | <b>0,18794</b> | <b>0,00532</b>                | <b>1,28376</b>           |
| $T_c$ (Q)            | <b>-2,17658</b> | <b>0,22426</b> | <b>0,01045</b>                | <b>-1,08829</b>          |
| $t_c \times T_c$ (L) | 0,55500         | 0,26539        | 0,17163                       | 0,27750                  |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Os efeitos dos fatores temperatura de cristalização (L) e (Q) foram significativos ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 3.64), sendo o termo linear de efeito positivo e o termo quadrático de efeito negativo. Isso implica que a elevação da temperatura de cristalização até um certo ponto proporcionou a obtenção de produtos bem moldados. Entretanto, a continuidade do aumento desta provocou deformidade no formato dos produtos. Quando o produto é mal temperado não há a devida contração de volume da massa nos moldes, dificultando a desmoldagem. Ou seja, o produto encontra-se tão aderido aos moldes que ao tentar removê-lo, pode ocorrer que parte dele não consiga ser retirado.

Eliminando os fatores não significativos, verifica-se pela análise de variância, através do teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste ( $p \leq 0,05$ ). Na Tabela 3.65, encontram-se os valores calculados e tabelados de F.

**Tabela 3.65.** Análise de variância do modelo ajustado para o atributo qualidade do moldado dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fonte de variação | SQ              | GL       | MQ                | Fcal         | *Ftab        |
|-------------------|-----------------|----------|-------------------|--------------|--------------|
| Regressão         | <b>20,77366</b> | <b>2</b> | <b>10,38683</b>   | <b>6,71</b>  | <b>4,46</b>  |
| Resíduo           | 12,39216        | 8        | 1,54902           |              |              |
| Falta de ajuste   | <b>12,25129</b> | <b>6</b> | <b>2,04188167</b> | <b>30,00</b> | <b>19,33</b> |
| Erro puro         | 0,14087         | 2        | 0,070435          |              |              |
| Total             | 33,16582        | 10       |                   |              |              |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

\*Valores tabelados de F a  $p \leq 0,05$ .

Embora o atributo qualidade do moldado tenha apresentado dois fatores de efeitos significativos, regressão significativa e coeficiente de determinação (0,6264) de valor aceitável para um atributo avaliado por análise sensorial, seu modelo foi considerado não preditivo por apresentar a falta de ajuste significativa ( $p \leq 0,05$ ), não conferindo confiabilidade no modelo.

### 3.2.3.5. Parâmetro L\* e coordenadas cromáticas a\* e b\* da análise de cor

Para melhor compreensão dos resultados tratados, a Tabela 3.66 mostra os valores do parâmetro L\* e das coordenadas cromáticas a\* e b\* da análise de cor dos experimentos da Formulação F<sub>100</sub>.

**Tabela 3.66.** Valores do parâmetro L\* e das coordenadas cromáticas a\* e b\* da análise de cor dos experimentos de temperagem da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | Parâmetros da análise de cor |                            |                              |
|--------------|------------------------------|------------------------|------------------------------|----------------------------|------------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização | L*                           | a*                         | b*                           |
|              | T <sub>c</sub> (°C)          | t <sub>c</sub> (min)   |                              |                            |                              |
| 1            | 28                           | 1                      | 36,62 ± 0,25 <sup>d</sup>    | 13,21 ± 0,08 <sup>ab</sup> | 16,28 ± 0,06 <sup>d</sup>    |
| 2            | 31                           | 1                      | 38,80 ± 0,43 <sup>abc</sup>  | 13,69 ± 0,10 <sup>a</sup>  | 18,29 ± 0,07 <sup>a</sup>    |
| 3            | 28                           | 2,5                    | 37,13 ± 0,31 <sup>cd</sup>   | 13,40 ± 0,03 <sup>ab</sup> | 16,65 ± 0,17 <sup>bcd</sup>  |
| 4            | 31                           | 2,5                    | 38,73 ± 0,22 <sup>abc</sup>  | 13,32 ± 0,49 <sup>ab</sup> | 17,35 ± 0,44 <sup>abcd</sup> |
| 5            | 29,5                         | 1,75                   | 39,54 ± 0,15 <sup>a</sup>    | 13,27 ± 0,73 <sup>ab</sup> | 17,57 ± 0,97 <sup>abcd</sup> |
| 6            | 29,5                         | 1,75                   | 39,24 ± 1,50 <sup>ab</sup>   | 13,44 ± 0,60 <sup>ab</sup> | 18,10 ± 1,29 <sup>ab</sup>   |
| 7            | 29,5                         | 1,75                   | 39,75 ± 0,46 <sup>a</sup>    | 12,56 ± 0,31 <sup>b</sup>  | 17,02 ± 0,31 <sup>abcd</sup> |
| 8            | 27,4                         | 1,75                   | 37,37 ± 0,22 <sup>bcd</sup>  | 13,24 ± 0,09 <sup>ab</sup> | 16,52 ± 0,07 <sup>cd</sup>   |
| 9            | 31,6                         | 1,75                   | 38,19 ± 0,45 <sup>abcd</sup> | 13,42 ± 0,01 <sup>ab</sup> | 17,62 ± 0,19 <sup>abcd</sup> |
| 10           | 29,5                         | 0,7                    | 38,83 ± 0,67 <sup>abc</sup>  | 13,29 ± 0,33 <sup>ab</sup> | 17,87 ± 0,13 <sup>abc</sup>  |
| 11           | 29,5                         | 2,8                    | 39,00 ± 1,46 <sup>ab</sup>   | 13,24 ± 0,22 <sup>ab</sup> | 17,58 ± 0,50 <sup>abcd</sup> |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de três medições.

A Tabela 3.67 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização no parâmetro L\* e nas coordenadas cromáticas a\* e b\* dos produtos temperados.

**Tabela 3.67.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização do parâmetro  $L^*$  e das coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor dos produtos temperados da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>39,51206</b> | <b>0,14799</b> | <b>0,00001</b>                | <b>39,51206</b>          |
| $t_c$ (L)            | 0,17043         | 0,18152        | 0,44688                       | 0,08522                  |
| $t_c$ (Q)            | -0,86246        | 0,21660        | 0,05770                       | -0,43123                 |
| $L^*$ $T_c$ (L)      | <b>1,23773</b>  | <b>0,18152</b> | <b>0,02084</b>                | <b>0,61887</b>           |
| $T_c$ (Q)            | <b>-2,00425</b> | <b>0,21660</b> | <b>0,01148</b>                | <b>-1,00213</b>          |
| $t_c \times T_c$ (L) | -0,29000        | 0,25632        | 0,37530                       | -0,14500                 |
| Média/interação      | <b>13,08958</b> | <b>0,26950</b> | <b>0,00042</b>                | <b>13,08958</b>          |
| $t_c$ (L)            | -0,06281        | 0,33057        | 0,86684                       | -0,03141                 |
| $t_c$ (Q)            | 0,22992         | 0,39445        | 0,61894                       | 0,11496                  |
| $a^*$ $T_c$ (L)      | 0,16394         | 0,33057        | 0,66908                       | 0,08197                  |
| $T_c$ (Q)            | 0,29531         | 0,39445        | 0,53214                       | 0,14765                  |
| $t_c \times T_c$ (L) | -0,28000        | 0,46680        | 0,60953                       | -0,14000                 |
| Média/interação      | <b>17,56434</b> | <b>0,31178</b> | <b>0,00032</b>                | <b>17,56434</b>          |
| $t_c$ (L)            | -0,24546        | 0,38243        | 0,58673                       | -0,12273                 |
| $t_c$ (Q)            | 0,03386         | 0,45634        | 0,94760                       | 0,01693                  |
| $b^*$ $T_c$ (L)      | 1,06843         | 0,38243        | 0,10780                       | 0,53421                  |
| $T_c$ (Q)            | -0,62506        | 0,45634        | 0,30428                       | -0,31253                 |
| $t_c \times T_c$ (L) | -0,65500        | 0,54003        | 0,34899                       | -0,32750                 |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Para o parâmetro  $L^*$  (luminosidade) da análise de cor (Tabela 3.67), os efeitos dos fatores temperatura de cristalização (L) e (Q) foram considerados significativos ( $p \leq 0,05$ ), sendo o termo linear de efeito positivo e o termo quadrático de efeito negativo. Portanto, a luminosidade aumentou com a elevação da temperatura de cristalização até um certo ponto, e a continuidade do aumento desta ocasionou a redução do valor do parâmetro  $L^*$ . Entretanto, sabe-se que o elevado aumento de temperatura provoca o surgimento de *fat bloom* nos

produtos, pois para que um produto esteja bem temperado, a temperatura de cristalização tem que estar abaixo do ponto de fusão dos cristais estáveis para que ocorra a formação destes, o que não condiz com os resultados obtidos pela análise instrumental de cor.

Para as coordenadas cromáticas  $a^*$  e  $b^*$ , todos os fatores apresentaram efeitos não significativos ( $p>0,05$ ), tornando os modelos não preditivos.

Verificou-se na análise de variância (Tabela 3.68), pelo teste F, a significância da regressão e da falta de ajuste ( $p\leq 0,05$ ) para o parâmetro  $L^*$  da análise de cor.

**Tabela 3.68.** Análise de variância do modelo ajustado para o parâmetro  $L^*$  da análise de cor dos produtos temperados da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fonte de variação | SQ             | GL       | MQ             | Fcal         | *Ftab       |
|-------------------|----------------|----------|----------------|--------------|-------------|
| Regressão         | <b>7,75744</b> | <b>2</b> | <b>3,87872</b> | <b>11,44</b> | <b>4,46</b> |
| Resíduo           | 2,71218        | 8        | 0,3390225      |              |             |
| Falta de ajuste   | 2,58078        | 6        | 0,43013        | 6,55         | 19,33       |
| Erro puro         | 0,1314         | 2        | 0,0657         |              |             |
| Total             | 10,46962       | 10       |                |              |             |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p\leq 0,05$ ).

SQ – soma quadrática / GL – graus de liberdade / MQ – média quadrática.

Fcal – F calculado / Ftab – F tabelado.

\*Valores tabelados de F a  $p\leq 0,05$ .

Embora o parâmetro  $L^*$  tenha apresentado fatores de efeitos significativos (Tabela 3.68), com regressão significativa ( $F_{cal}>F_{tab}$ ) ao nível de 5% de significância e a falta de ajuste não significativa ( $F_{cal}<F_{tab}$ ) no mesmo nível, seu modelo não foi considerado preditivo por apresentar coeficiente de determinação (0,7410) abaixo do valor aceito (0,85) para um atributo avaliado por análise instrumental, o que torna o modelo não confiável, o que de fato já foi observado.

## 3.2.3.6. Força de ruptura

**Tabela 3.69.** Valores obtidos para a força de ruptura dos experimentos da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Experimentos | Condições de temperagem      |                        | Força de Ruptura (kgf)           |
|--------------|------------------------------|------------------------|----------------------------------|
|              | Temperatura de cristalização | Tempo de cristalização |                                  |
|              | $T_c$ (°C)                   | $t_c$ (min)            |                                  |
| 1            | 28                           | 1,0                    | $1,78 \pm 0,15$ <sup>def</sup>   |
| 2            | 31                           | 1,0                    | $1,85 \pm 0,15$ <sup>cdef</sup>  |
| 3            | 28                           | 2,5                    | $2,94 \pm 0,27$ <sup>a</sup>     |
| 4            | 31                           | 2,5                    | $2,13 \pm 0,49$ <sup>bcd</sup>   |
| 5            | 29,5                         | 1,75                   | $1,95 \pm 0,19$ <sup>bcde</sup>  |
| 6            | 29,5                         | 1,75                   | $2,48 \pm 0,34$ <sup>ab</sup>    |
| 7            | 29,5                         | 1,75                   | $2,36 \pm 0,18$ <sup>abcd</sup>  |
| 8            | 27,4                         | 1,75                   | $1,89 \pm 0,18$ <sup>bcdef</sup> |
| 9            | 31,6                         | 1,75                   | $1,29 \pm 0,15$ <sup>f</sup>     |
| 10           | 29,5                         | 0,7                    | $1,41 \pm 0,07$ <sup>ef</sup>    |
| 11           | 29,5                         | 2,8                    | $2,42 \pm 0,26$ <sup>abc</sup>   |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 95% de significância).

\* Média de quatro medições.

Pode-se observar pela Tabela 3.69 que o valor da força de ruptura para os experimentos da formulação  $F_{100}$  foram baixos, variando de 1,29 a 2,94 kgf. Ou seja, às características da gordura de cupuaçu e sua incorporação com manteiga de cacau e gordura de leite proporcionou ao produto alta maciez quando comparada as formulações  $F_0$  e  $F_{50}$ , sendo que esta última foi menor que a de  $F_0$ . No entanto, como será visto na seção 3.4, a textura da formulação  $F_{100}$  foi bem aceita na avaliação sensorial com consumidores, recebendo em uma escala de 1 a 9 nota 7,95.

Ao se comparar com a força de ruptura do chocolate ao leite (Item 3.2.1.6), verifica-se que da formulação  $F_{100}$  é significativamente inferior, pois segundo LUCAS (2001), embora a gordura de cupuaçu apresente ponto de fusão mais

alto (33,9°C) que da manteiga de cacau (31°C), aquela possui teor de ácidos graxos monoinsaturados (38,15% a 39,19%) maior que esta (25,39%), principalmente o de ácido oléico, podendo ser esta a causa da sua maior maciez em relação à manteiga de cacau. A Tabela 3.70 mostra os efeitos dos fatores tempo e temperatura de cristalização para a força de ruptura dos produtos temperados.

**Tabela 3.70.** Estimativa dos efeitos, erro puro, grau de significância e coeficiente de regressão dos fatores tempo ( $t_c$ ) e temperatura ( $T_c$ ) de cristalização para a força de ruptura dos produtos temperados da formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Fatores              | Efeito estimado | Erro puro      | Significância estatística (p) | Coeficiente de regressão |
|----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------------|
| Média/interação      | <b>2,26165</b>  | <b>0,16045</b> | <b>0,00500</b>                | <b>2,26165</b>           |
| $t_c$ (L)            | 0,71816         | 0,19680        | 0,06757                       | 0,35908                  |
| $t_c$ (Q)            | -0,13468        | 0,23484        | 0,62421                       | -0,06734                 |
| $T_c$ (L)            | -0,39768        | 0,19680        | 0,18072                       | -0,19884                 |
| $T_c$ (Q)            | -0,46162        | 0,23484        | 0,18825                       | -0,23081                 |
| $t_c \times T_c$ (L) | -0,44000        | 0,27791        | 0,25420                       | -0,22000                 |

Valores em negrito apresentam-se significativos ao nível de 5% ( $p \leq 0,05$ ).

$t_c$  – tempo de cristalização /  $T_c$  – temperatura de cristalização.

(L) – termo linear / (Q) – termo quadrático.

Nenhum dos fatores tempo e temperatura de cristalização apresentaram efeitos significativos ( $p > 0,05$ ) (Tabela 3.70), tornando o modelo não preditivo. Isso implica que as variações do tempo e temperatura de cristalização estipuladas, não influenciaram na força de ruptura dos produtos obtidos dos experimentos de temperagem.

### 3.3. Análises térmicas das formulações $F_0$ , $F_{50}$ e $F_{100}$

Para a realização da análise de calorimetria de varredura diferencial foram selecionados dois produtos de cada formulação, sendo um bem temperado e outro mal temperado. A seleção foi baseada segundo os resultados obtidos por superfície de resposta (Item 3.2) com relação ao atributo *fat bloom*. Portanto, os produtos bem temperados foram aqueles pertencentes a região ótima para tal atributo, ou seja, sem *fat bloom*. E os produtos mal temperados foram aqueles que mais se distanciaram da região ótima. Como a formulação  $F_0$  apresentou mais de um produto dentro desta região, a seleção foi feita com o experimento cuja nota para o atributo *fat bloom* foi a menor. Para a formulação  $F_{50}$  somente um experimento se apresentou nesta região. No caso da formulação  $F_{100}$ , por esta não ter apresentado nenhum experimento dentro da região ótima, foi selecionado o mais próximo desta. Os resultados encontram-se na Tabela 3.71.

**Tabela 3.71.** Comportamento térmico das formulações  $F_0$  (chocolate ao leite),  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) e  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

| Formulação                                                                         | $T_{onset}$<br>(°C) | $T_{máx}$<br>(°C) | $T_{endset}$<br>(°C) | Altura máxima<br>(mW/mg) | $\Delta H$<br>(J/g) |
|------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------|----------------------|--------------------------|---------------------|
| * $F_0$ (experimento 1 -<br>$T_c=28^\circ\text{C}$ e $t_c=5\text{min}$ )           | 35,06               | 41,07             | 41,45                | 1,63                     | 35,42               |
| ** $F_0$ (experimento 9 -<br>$T_c=31,6^\circ\text{C}$ e $t_c=7,5\text{min}$ )      | 36,20               | 41,40             | 44,72                | 1,31                     | 34,09               |
| * $F_{50}$ (experimento 11 -<br>$T_c=29,5^\circ\text{C}$ e $t_c=10\text{min}$ )    | 34,84               | 41,74             | 45,08                | 1,34                     | 28,72               |
| ** $F_{50}$ (experimento 2 -<br>$T_c=31^\circ\text{C}$ e $t_c=4\text{min}$ )       | 35,96               | 42,37             | 45,57                | 1,32                     | 28,74               |
| * $F_{100}$ (experimento 8 -<br>$T_c=27,4^\circ\text{C}$ e $t_c=1,75\text{min}$ )  | 37,55               | 42,73             | 45,57                | 1,31                     | 24,02               |
| ** $F_{100}$ (experimento 9 -<br>$T_c=31,6^\circ\text{C}$ e $t_c=1,75\text{min}$ ) | 37,07               | 42,67             | 44,70                | 1,26                     | 25,56               |

\*Produto bem temperado.

\*\*Produto mal temperado.

O objetivo da análise de calorimetria de varredura diferencial neste trabalho foi o de averiguar se havia diferença entre o comportamento térmico de um produto mal temperado de um bem temperado. Pelos resultados obtidos por DSC, verificou-se que para as três formulações ( $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ ) não foi possível detectar com segurança essa diferença (Tabela 3.71).

Os termogramas obtidos (Anexo B) das formulações apresentaram somente um pico endotérmico de fusão bem definido. A faixa de fusão para a formulação  $F_0$  foi de 35,06 a 44,72°C, com temperatura máxima de 41,40°C. Para a formulação  $F_{50}$  a faixa de fusão apresentou-se mais extensa, de 34,84 a 45,57°C, com temperatura máxima de 42,37°C. A faixa de fusão para a formulação  $F_{100}$  foi a de menor extensão, de 37,07 a 45,57°C, com temperatura máxima de 42,73°C (Tabela 3.71).

LUCCAS (2001) ao estudar o comportamento térmico da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau, obteve por DSC termograma com dois picos endotérmicos de fusão bem definidos. Segundo o referido autor, o primeiro pico, de menor magnitude, representou principalmente a fusão de triglicerídios di-insaturados de menor ponto de fusão, tais como POO e SOO. O segundo pico, de maior magnitude, representou a fusão dos triglicerídios monoinsaturados de ponto de fusão mais elevado, como POP, POS, SOS e SOA. A faixa de fusão para a gordura de cupuaçu foi de 26,1°C a 38,8°C, com temperatura máxima de 32,4°C. Para a manteiga de cacau foi de 28,4°C a 40,2°C, com temperatura máxima de 31,9°C.

Neste trabalho, para as três formulações, as faixas de fusão foram superiores as da gordura de cupuaçu e da manteiga de cacau puras. Vale ressaltar que a Formulação  $F_0$  possui dois tipos de gorduras, que são a gordura de leite e a manteiga de cacau. Já a formulação  $F_{50}$  apresenta gordura de leite, manteiga de cacau e gordura de cupuaçu e a formulação  $F_{100}$  gordura de leite e gordura de cupuaçu. Portanto, era de se esperar que seu comportamento térmico fosse diferente, já que se trata de misturas binárias e ternárias de gorduras.

Segundo NASSU (1994), a entalpia de fusão corresponde ao calor latente, isto é, a energia que deve ser fornecida à amostra para que ocorra a fusão completa. Os valores de entalpia para a formulação  $F_0$  foram de 34,09 J/g e 35,42 J/g, apresentando-se maiores que os da formulação  $F_{50}$  (28,72 J/g e 28,74 J/g) e da formulação  $F_{100}$  (24,02 J/g e 25,56 J/g).

LUCCAS (2001) obteve valor de entalpia de fusão do segundo pico da manteiga de cacau (64,6 J/g) maior que o da gordura de cupuaçu (59,1 J/g). Segundo o autor, o maior valor de entalpia de fusão da manteiga de cacau é devido ao seu maior teor de triglicerídios monoinsaturados e maiores teores de gordura sólida.

De fato, a formulação  $F_0$  que apresenta manteiga de cacau foi a que obteve maior entalpia de fusão, enquanto que a formulação  $F_{100}$  que apresenta gordura de cupuaçu obteve menor entalpia de fusão. Já a formulação  $F_{50}$  que possui ambas as gorduras apresentou valores de entalpia de fusão intermediários entre ambas as formulações ( $F_0$  e  $F_{50}$ ).

### 3.4. Análise sensorial

Para a realização da análise sensorial foi selecionado o melhor experimento de temperagem de cada formulação ( $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ ), segundo os resultados obtidos por superfície de resposta (item 3.2).

A Tabela 3.72 e a Figura 3.17 mostram as médias dos resultados obtidos pelo teste de aceitação realizado com consumidores para os produtos das formulações  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ .

**Tabela 3.72.** Médias dos resultados obtidos do teste de aceitação dos produtos das formulações  $F_0$  (chocolate ao leite),  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) e  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu).

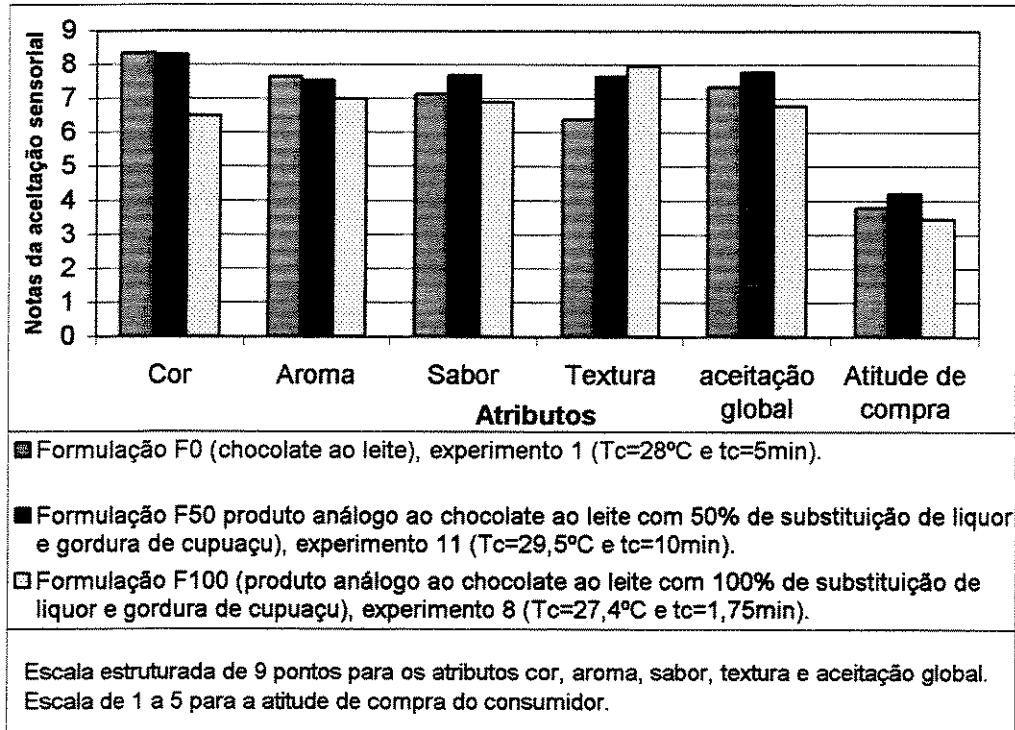
| Formulação                                                           | Atributos         |                   |                    |                   |                    |                     |
|----------------------------------------------------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|
|                                                                      | *Cor              | *Aroma            | *Sabor             | *Textura          | *Aceitação global  | **Atitude de compra |
| $F_0$                                                                |                   |                   |                    |                   |                    |                     |
| Experimento 1<br>( $T_c=28^\circ\text{C}$ e $t_c=5\text{min}$ )      | 8,35 <sup>a</sup> | 7,65 <sup>a</sup> | 7,13 <sup>ab</sup> | 6,38 <sup>b</sup> | 7,35 <sup>ab</sup> | 3,78 <sup>b</sup>   |
| $F_{50}$                                                             |                   |                   |                    |                   |                    |                     |
| Experimento 11<br>( $T_c=29,5^\circ\text{C}$ e $t_c=10\text{min}$ )  | 8,28 <sup>a</sup> | 7,53 <sup>a</sup> | 7,68 <sup>a</sup>  | 7,65 <sup>a</sup> | 7,78 <sup>a</sup>  | 4,20 <sup>a</sup>   |
| $F_{100}$                                                            |                   |                   |                    |                   |                    |                     |
| Experimento 8<br>( $T_c=27,4^\circ\text{C}$ e $t_c=1,75\text{min}$ ) | 6,50 <sup>b</sup> | 6,98 <sup>b</sup> | 6,90 <sup>b</sup>  | 7,95 <sup>a</sup> | 6,78 <sup>b</sup>  | 3,45 <sup>b</sup>   |

Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de 40 consumidores.

\* Escala estruturada de 9 pontos.

\*\* Escala de 1 a 5.

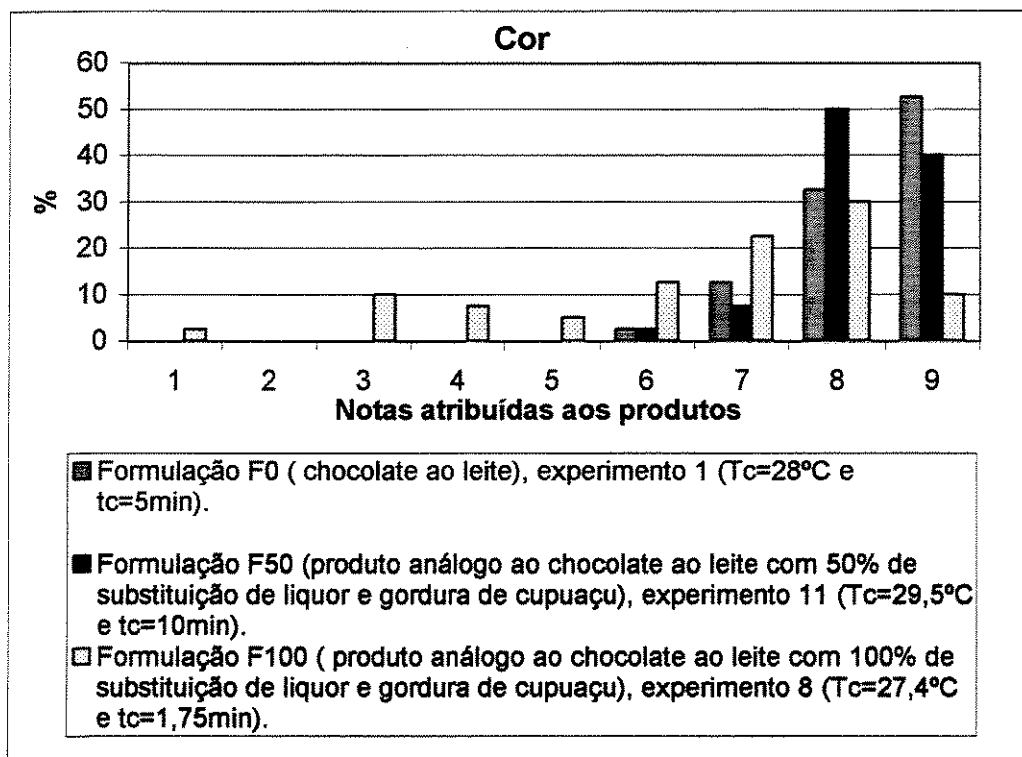


**Figura 3.17.** Histograma das médias dos resultados obtidos do teste de aceitação dos produtos das formulações F<sub>0</sub>, F<sub>50</sub> e F<sub>100</sub>.

#### • Atributo cor

Com relação ao atributo cor, o produto F<sub>100</sub> foi quem apresentou menor aceitação (6,50), diferindo ao nível de 5% de significância dos produtos F<sub>0</sub> (8,35) e F<sub>50</sub> (8,28), sendo que estes últimos não diferiram entre si ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 3.72).

A Figura 3.18 ilustra o histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo cor dos três produtos.



**Figura 3.18.** Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo cor dos produtos  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ .

Conforme indica a Figura 3.18, ambos os produtos  $F_0$  e  $F_{50}$  receberam dos provadores 97,5% das notas de 7 a 9, enquanto que o produto  $F_{100}$  obteve 62,5%.

A Tabela 3.73 apresenta os resultados da análise instrumental de cor dos experimentos 1, 11 e 8 das formulações  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ , respectivamente, extraídos das Tabelas 3.27, 3.48 e 3.66.

**Tabela 3.73.** Resultados da análise instrumental de cor dos experimentos 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  e  $t_c=5\text{min}$ ), 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=10\text{min}$ ) e 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) da temperagem das formulações  $F_0$  (chocolate ao leite),  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) e  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu), respectivamente.

| Formulações | $L^*$              | $a^*$              | $b^*$              |
|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| $F_0$       | $30,26 \pm 0,04^c$ | $10,10 \pm 0,01^c$ | $9,74 \pm 0,04^c$  |
| $F_{50}$    | $32,75 \pm 0,14^b$ | $11,38 \pm 0,04^b$ | $12,33 \pm 0,03^b$ |
| $F_{100}$   | $37,37 \pm 0,22^a$ | $13,24 \pm 0,09^a$ | $16,52 \pm 0,07^a$ |

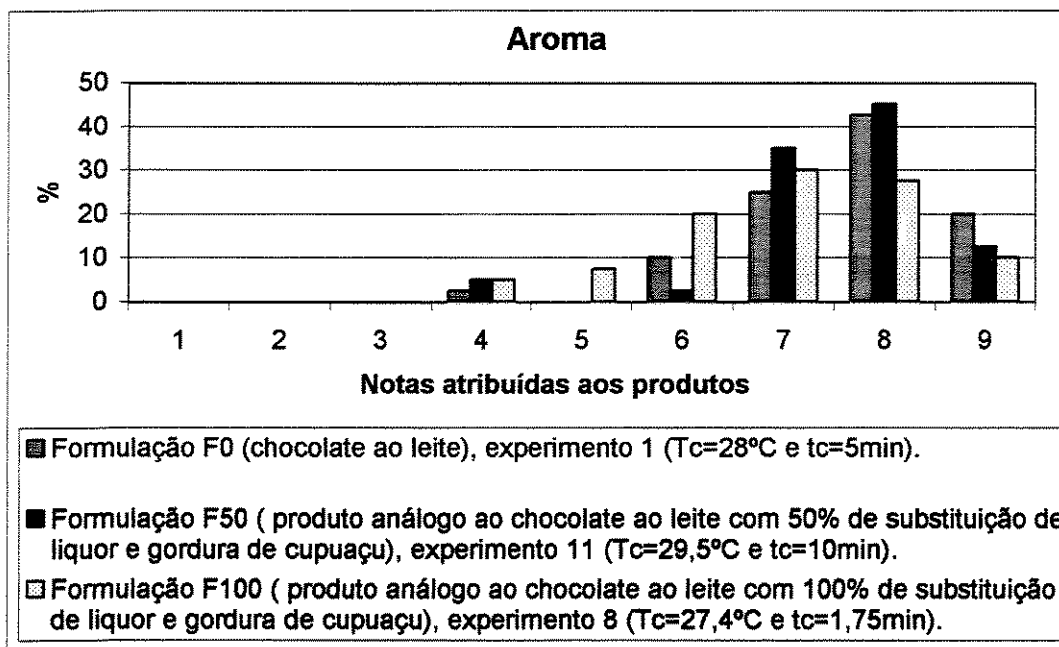
Os valores de uma mesma coluna, com a mesma letra, não diferem significativamente entre si (Teste de Tukey a 5% de significância).

Média de três medições.

Verifica-se que pelos resultados apresentados na Tabela 3.73, o produto  $F_{100}$ , elaborado com *liquor* de cupuaçu, possui cor mais clara ( $L^*=37,37$ ) e intensidade de vermelho ( $a^*=13,24$ ) e amarelo ( $b^*=16,52$ ) superiores aos das formulações  $F_0$  e  $F_{50}$ . Apesar de  $F_{50}$  apresentar luminosidade e intensidade de vermelho e amarelo maior que de  $F_0$ , de acordo com os resultados obtidos pelo teste de aceitação com consumidores (Tabela 3.72), não houve diferença ao nível de 5% de significância na aceitação do atributo cor de ambas as formulações. Isso indica que, com a substituição de 50% de *liquor* de cupuaçu (produto  $F_{50}$ ), não foi detectado, por análise sensorial, diferença de cor com relação ao chocolate (produto  $F_0$ ), que possui em sua formulação somente *liquor* de cacau.

#### • Atributo aroma

Conforme indica a Figura 3.17, a aceitação do atributo aroma foi alta para os três produtos, apresentando o produto  $F_{100}$  (Tabela 3.72) a menor nota (6,98), diferindo significativamente ( $p \leq 0,05$ ) dos produtos  $F_0$  (7,65) e  $F_{50}$  (7,53), sendo que estes últimos não diferiram entre si ao nível de 5% de significância. A Figura 3.19 ilustra o histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo aroma dos três produtos.



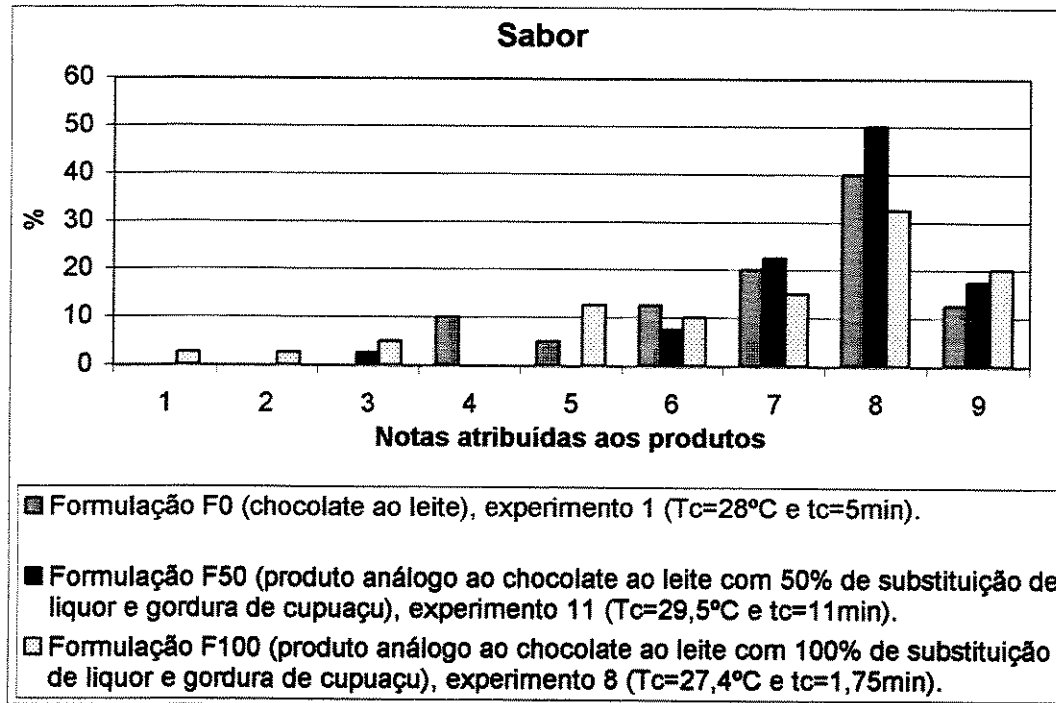
**Figura 3.19.** Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo aroma dos produtos  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ .

De acordo com a Figura 3.19, verifica-se que os produtos  $F_0$  e  $F_{50}$  obtiveram, respectivamente, 87,5% e 92,5%, das notas de 7 a 9, enquanto que  $F_{100}$  obteve 67,5%.

#### • Atributo sabor

Pela Tabela 3.72, observa-se que a maior nota obtida para o atributo sabor foi a do produto  $F_{50}$  (7,68). Embora o produto  $F_{100}$  tenha apresentado a menor aceitação, este não diferiu ao nível de 5% de significância do chocolate (produto  $F_0$ ), que ficou em segundo lugar. Tais resultados indicam que a substituição de 50% de *liquor* e gordura de cupuaçu na formulação do chocolate favoreceu a elaboração de produto de sabor apreciado pelos consumidores.

A Figura 3.20 ilustra o histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo sabor dos três produtos.



**Figura 3.20.** Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo sabor dos produtos  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ .

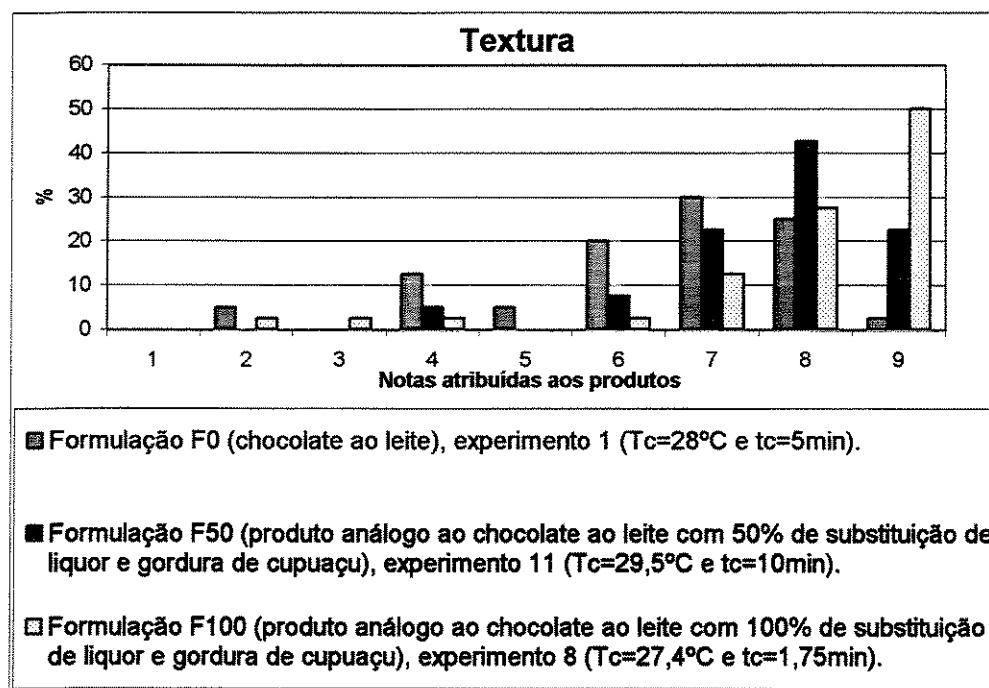
Conforme indica a Figura 3.20, o produto  $F_{50}$  foi quem obteve maior percentagem (90%) de notas de 7 a 9, ficando  $F_0$  e  $F_{100}$  com 72,5% e 67,5%, respectivamente.

#### • Atributo textura

Como mostra a Tabela 3.72, para o atributo textura, o produto  $F_{100}$  foi quem obteve maior aceitação (7,95) por parte dos consumidores, sendo que este não diferiu ao nível de 5% de significância do produto  $F_{50}$  (7,65). A menor nota para tal atributo foi para o produto  $F_0$  (6,38).

Tais resultados indicam que a elaboração de produtos análogos ao chocolate com 50% (produto  $F_{50}$ ) e 100% (produto  $F_{100}$ ) de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu, proporciona produtos de texturas apreciadas pelos consumidores. Segundo comentários feitos por estes no teste sensorial, o principal

motivo pela alta aceitação dos produtos  $F_{50}$  e  $F_{100}$  para tal atributo foi a maciez durante a mordida. Essa maciez é devido a gordura de cupuaçu, que apresenta menor percentagem de gordura sólida em relação a manteiga de cacau presente no chocolate. A Figura 3.21 ilustra o histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo textura dos três produtos.



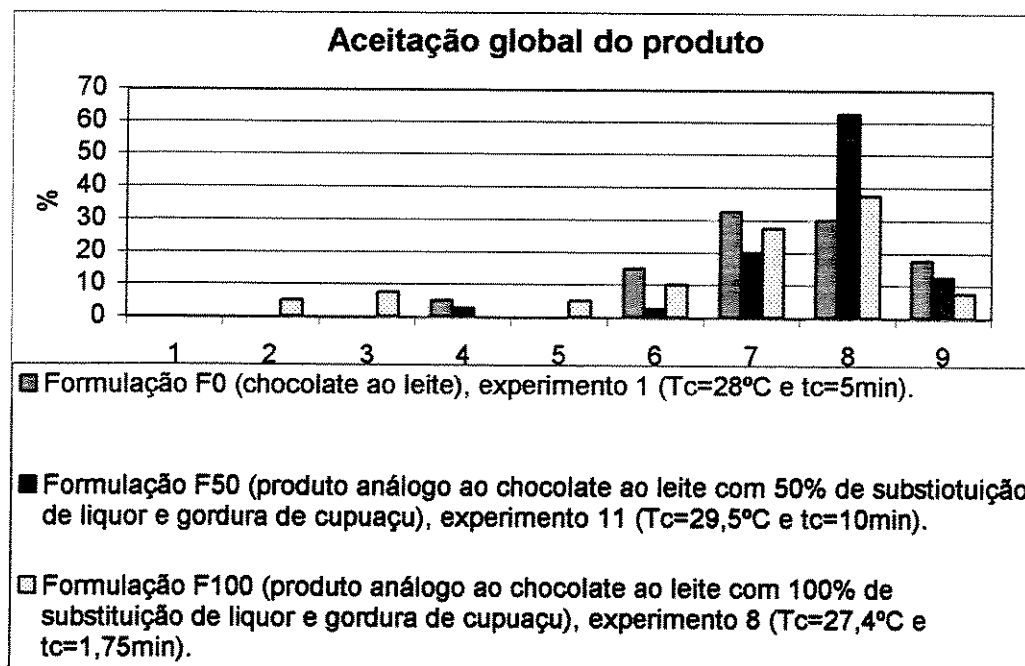
**Figura 3.21.** Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota do atributo textura dos produtos  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ .

Verifica-se pela Figura 3.21 que o produto  $F_{100}$  obteve a maior percentagem (90%) de notas de 7 a 9, ficando o produto  $F_{50}$  um pouco abaixo (87,5%), enquanto que  $F_0$  apresentou a menor percentagem (57,5%).

#### • Aceitação global

Verifica-se pela Tabela 3.72 que o produto  $F_{50}$  obteve a maior aceitação global (7,78) pelos consumidores. Embora  $F_{100}$  tenha apresentado a menor nota (6,78) para tal atributo, este não diferiu ao nível de 5% de significância do produto  $F_0$  (7,35), onde este, por sua vez, não diferiu de  $F_{50}$  no mesmo nível.

A Figura 3.22 ilustra o histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota da aceitação global dos três produtos.



**Figura 3.22.** Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota da aceitação global dos produtos  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ .

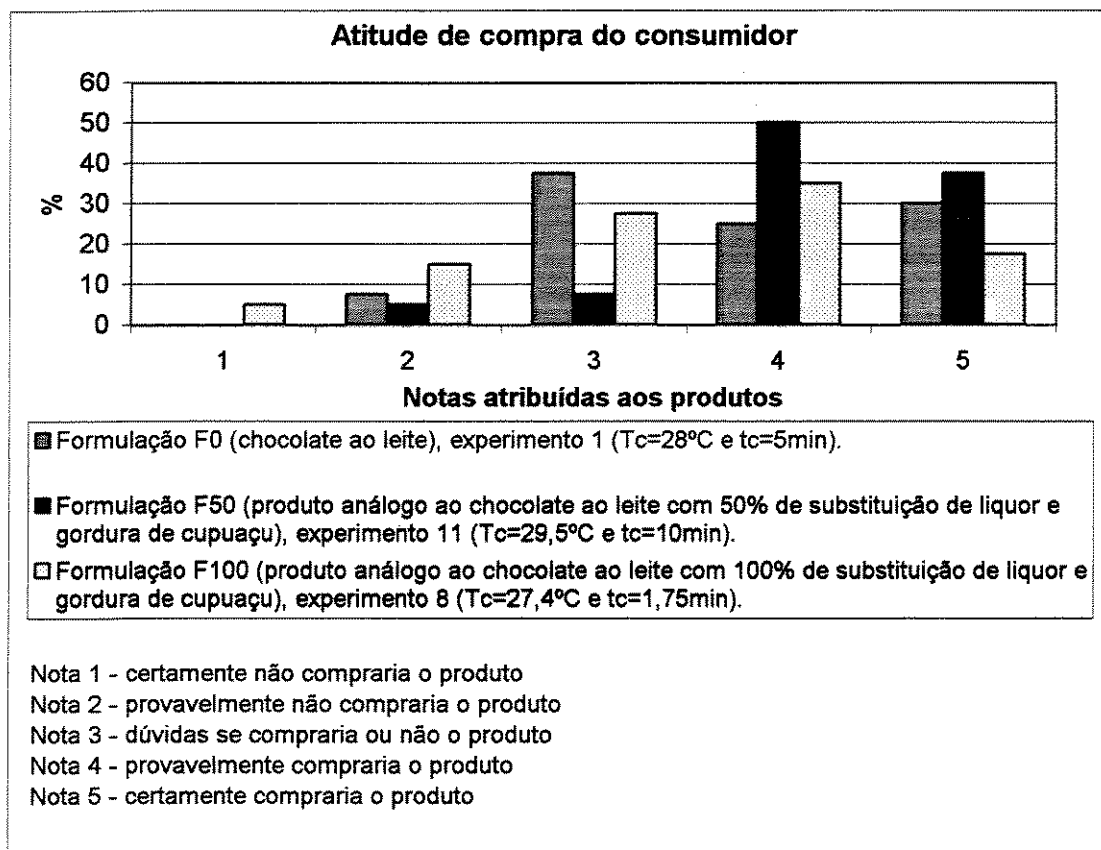
De acordo com a Figura 3.22, o produto  $F_{50}$  obteve 95% de notas de 7 a 9, ficando  $F_0$  com 80% e  $F_{100}$  com 72,5%.

Pelos resultados obtidos, observa-se que o produto análogo ao chocolate elaborado com 50% de substituição de *liquor* e de gordura de cupuaçu (produto  $F_{50}$ ), foi bastante apreciado pelos consumidores.

#### • Atitude de compra do consumidor

O produto  $F_{50}$  apresentou (Tabela 3.72) a maior nota (4,20) com relação a atitude de compra do consumidor, diferindo ao nível de 5% de significância dos produtos  $F_0$  (3,78) e  $F_{100}$  (3,45), sendo que estes dois últimos não diferiram entre si ( $p \leq 0,05$ ).

A Figura 3.23 ilustra o histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota da atitude de compra do consumidor dos três produtos.



**Figura 3.23.** Histograma referente à percentagem atribuída pelos consumidores para cada nota da atitude de compra dos produtos  $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ .

Pela Figura 3.23, observa-se que com relação ao produto  $F_{50}$ , 50% dos consumidores provavelmente comprariam este produto, enquanto que 37,5% certamente o comprariam. Para o produto  $F_0$  essas percentagens foram de 25% e 30%, respectivamente. E para o produto  $F_{100}$  foi de 35% e 17,5%, respectivamente.

Pode-se concluir que a substituição de 50% de *liquor* e gordura de cupuaçu (produto  $F_{50}$ ) na formulação do chocolate tem futuro promissor em sua comercialização.

Embora a substituição completa de *liquor* de cupuaçu na formulação do chocolate (produto  $F_{100}$ ) tenha apresentado a menor nota entre os três produtos para a atitude de compra do consumidor, seu produto apresenta-se competitivo em relação ao chocolate, uma vez que sua nota não diferiu significativamente ( $p \leq 0,05$ ) deste (produto  $F_0$ ).

## 4. CONCLUSÕES

### 4.1. Viscosidade plástica de Casson e limite de escoamento dos produtos temperados

- De um modo geral, verifica-se que para as formulações  $F_0$  (chocolate),  $F_{50}$  e  $F_{100}$ , a variação das condições de temperagem (temperatura de cristalização de 27,4 a 31,6°C para as três formulações e, tempo de cristalização de 4 a 11 min para  $F_0$ , de 3 a 10 min para  $F_{50}$  e de 0,7 a 2,8 min para  $F_{100}$ ) influenciou significativamente no comportamento reológico dos produtos.
- As substituições de *liquor* de cacau por *liquor* de cupuaçu e de manteiga de cacau por gordura de cupuaçu na formulação do chocolate proporcionam aumento de viscosidade plástica e, quanto maior a percentagem dessas substituições, mais elevado será o valor da viscosidade. Logo, para que o processo de temperagem possa ser conduzido adequadamente, para todas as temperaturas de cristalização, quanto maior à percentagem de *liquor* e gordura de cupuaçu, menor terá que ser o tempo de cristalização.
- Os valores de viscosidade plástica dos experimentos das formulações  $F_0$  e  $F_{100}$  foram aproximados (2,67 a 5,04 Pa.s e 2,51 a 5,07 Pa.s, respectivamente), sendo que os da formulação  $F_0$  foram menores. Essa proximidade é devido à significativa redução do tempo de cristalização dos experimentos de temperagem de  $F_{100}$ , pois caso esses tempos não fossem reduzidos, ou seja, se fosse utilizado os mesmos tempos de  $F_0$ , seria inviável a realização do processo de temperagem por causa da alta viscosidade do produto  $F_{100}$ . Para a formulação  $F_{50}$ , os valores de viscosidade foram superiores (3,31 a 9,14 Pa.s) as demais formulações.
- Nas condições de temperagem estudadas, os experimentos da formulação  $F_0$  (chocolate) não apresentaram sobre-temperagem, ou seja, os experimentos não obtiveram valores de viscosidade plástica acima do dobro do valor da viscosidade

dos produtos fundidos a 40°C. Para a formulação  $F_{50}$  houve sobre-temperagem nos experimentos 5, 6, 7 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=6,5$  min) e 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=10$  min), provavelmente devido o tempo de cristalização empregado ter sido alto, pois nesta formulação há presença de *liquor* e gordura de cupuaçu na proporção de 50% de substituição em relação ao *liquor* de cacau e manteiga de cacau, respectivamente, o que aumenta a viscosidade. Em  $F_{100}$  só não ocorreu sobre-temperagem devido seus tempos de cristalização terem sido significativamente inferiores aos empregados para  $F_0$  e  $F_{50}$ , pois quanto maior o tempo de cristalização mais cristais de gordura se formam, aumentando o valor da viscosidade.

#### 4.2. Resposta da variação de tempo e temperatura de cristalização no processo de temperagem

##### Formulação $F_0$ (chocolate ao leite)

- Os efeitos da variação de tempo e temperatura de cristalização do processo de temperagem da formulação  $F_0$ , não foram significativos nos atributos brilho e qualidade do moldado, não gerando modelos preditivos.
- Para esta formulação, verificou-se que as menores notas para o atributo brilho foram para os experimentos que apresentaram a maior quantidade de *fat bloom*, que foram os experimentos 2 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$ ,  $t_c=5$  min) e 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$ ,  $t_c=7,5$  min), ou seja, nas regiões de altas temperaturas de cristalização, cujas notas foram de 5,14 e 5,38, respectivamente e, as notas dos demais experimentos de 6,50 a 7,76.
- Os modelos ajustados para os atributos sensoriais *fat bloom* e presença de bolhas e para as análises instrumentais de cor e força de ruptura, mostraram boa capacidade preditiva, os quais poderão servir como ferramentas no controle do processo de temperagem. Entretanto, torna-se necessário ressaltar que estes modelos representam o comportamento de propriedades estudadas para as faixas

de tempo e temperatura de cristalização, estabelecidas para esta formulação e para a mini-temperadeira TABLE TOP TEMPER.

- Os produtos que não apresentaram *fat bloom*, ou seja, os experimentos que ficaram dentro da região ótima em relação a esse atributo, foram os experimentos 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  e  $t_c=5$  min), 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=11$  min) e dos pontos centrais 5, 6 e 7 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5$  min), que ficaram na fronteira desta.
- Para o atributo presença de bolhas, os experimentos 5, 6 e 7 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5$  min) (pontos centrais), 10 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=4$  min) e 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=11$  min) ficaram dentro da região ótima, ou seja, na região de produtos com menor quantidade de bolhas.
- O atributo presença de bolhas sofreu efeito somente da temperatura de cristalização e, a mínima formação de bolhas de ar ocorreu entre 29 a 30°C. Os extremos de temperaturas proporcionaram a sua formação, onde a agitação nas altas temperaturas favoreceu a incorporação de ar e, nas baixas temperaturas a saída de ar foi dificultada pelo excesso de viscosidade.
- A qualidade do moldado não sofreu variações significativas com as condições de temperagem estudadas (temperatura de cristalização de 27,4 a 31,6°C e tempo de cristalização de 4 a 11 min), tanto que, numa escala de 0 a 9 pontos, os valores obtidos para este atributo foi de 5,95 a 8,06.
- Na prática, observou-se que para todos os experimentos de temperagem da formulação  $F_0$ , seus produtos não apresentaram dificuldade de desmoldagem, mesmo aqueles que apresentaram maior quantidade de *fat bloom*.
- Para o chocolate, verificou-se que as condições de temperagem empregadas influenciaram na cor dos produtos, onde para os experimentos que apresentaram maior quantidade de *fat bloom*, que foram os experimentos 2 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  e  $t_c=5$  min)

e 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5$  min), os valores do parâmetro  $L^*$  (luminosidade-33,74 e 32,23, respectivamente) e das coordenadas cromáticas  $a^*$  (vermelho-11,16 e 11,59, respectivamente) e  $b^*$  (amarelo-12,58 e 12,34, respectivamente), foram maiores que os demais experimentos (30,26 a 30,87 para o parâmetro  $L^*$ , 10,10 a 10,49 para a coordenada  $a^*$  e 9,74 a 10,41 para a coordenada  $b^*$ ).

- Os parâmetros da análise de cor apresentaram comportamento semelhante aos do atributo *fat bloom*, o que leva a concluir que, nestas condições estudadas, os parâmetros de cor podem ser usados para indicar o grau de *fat bloom* do chocolate e que, uma vez estabelecido um padrão de cor, estes parâmetros poderão ser usados para a avaliação do produto temperado.

- Para o chocolate, os produtos provenientes dos experimentos 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5$  min) e 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5$  min) foram os que apresentaram maior força de ruptura. Verificou-se que os produtos que se apresentaram bem temperados em relação ao atributo *fat bloom*, obtiveram valores menores de força de ruptura. Isso leva a crer que, para um chocolate bem temperado, sua força de ruptura não é necessariamente maior que para um mal temperado.

- Numa análise geral, conclui-se que os experimentos 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  e  $t_c=5$  min), 5, 6 e 7 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5$  min), e 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=11$  min), foram adequadamente temperados por se apresentarem sem *fat bloom*, com brilho apreciável, bem moldados e com pouca presença de bolhas.

#### Formulação F<sub>50</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu)

- Para a formulação F<sub>50</sub>, dentro das condições estudadas (temperatura de cristalização de 27,4 a 31,6°C e tempo de cristalização de 3 a 10 min), os modelos dos atributos sensoriais brilho e presença de bolhas, e das análises instrumentais de cor e força de ruptura, não apresentaram capacidade preditiva. No entanto, os

modelos dos atributos *fat bloom* e qualidade do moldado apresentaram boa capacidade preditiva.

- Os produtos provenientes dos experimentos de temperagem da formulação F<sub>50</sub> não sofreram alterações no brilho ao nível de 5% de significância com as condições de tempo e temperatura de cristalização empregadas, com exceção do experimento 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$  e  $t_c=4$  min), que apresentou a menor nota (5,14), ficando os demais experimentos com 6,47 a 8,03.
- Para o atributo *fat bloom*, somente um experimento da formulação F<sub>50</sub> se apresentou na região ótima que foi o experimento 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=10$  min). Os experimentos 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$  e  $t_c=4$  min) e 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=6,5$  min) apresentaram as maiores notas para tal atributo, que foram 1,77 e 1,76, respectivamente, menores que as notas obtidas para os produtos com as maiores quantidades de *fat bloom* do chocolate.
- A ocorrência máxima de *fat bloom* ficou nas regiões de altas temperaturas de cristalização e curto tempo.
- O efeito da variação do tempo e temperatura de cristalização da temperagem dos produtos da formulação F<sub>50</sub> não influenciou significativamente no atributo presença de bolhas, cujos valores para tal atributo foram de 1,67 a 3,82.
- Os produtos mais bem moldados foram os que apresentaram as temperaturas de cristalização mais altas, independente do tempo, que são os experimentos 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=6,5$  min), 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$  e  $t_c=4$  min) e 4 ( $T_c=31^\circ\text{C}$  e  $t_c=9$  min). Entretanto, as notas dos demais experimentos não diferiram destes ao nível de 5% de significância, com exceção do experimento 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$  e  $t_c=6,5$  min), que obteve a menor nota (3,01) e o que apresentou maior dificuldade de moldagem devido a sua alta viscosidade.

- De maneira geral, os produtos obtidos dos experimentos de temperagem da formulação F<sub>50</sub> não apresentaram dificuldades para a desmoldagem, sendo que os experimentos de temperaturas de cristalização mais altas (31 a 31,6°C) necessitaram de um período de tempo maior no resfriamento para a desmoldagem.
- Não foi possível estabelecer uma correlação entre o parâmetro L\* e as coordenadas a\* e b\* da análise de cor dos produtos F<sub>50</sub> com o atributo *fat bloom*, provavelmente devido o *liquor* de cupuaçu apresentar altos valores das coordenadas a\* e b\*, pois, segundo os resultados obtidos para o chocolate, produto com *fat bloom* apresenta elevados valores do parâmetro L e das coordenadas a\* e b\*, quando comparado a um produto sem *fat bloom*. Como a formulação F<sub>50</sub> apresenta em sua formulação *liquor* de cupuaçu, este influenciou em sua coloração.
- Para a formulação F<sub>50</sub> a variação do tempo e temperatura de cristalização do processo de temperagem não influenciou significativamente na força de ruptura.
- Verificou-se que o melhor produto temperado da formulação F<sub>50</sub> foi o proveniente do experimento 11 (T<sub>c</sub>=29,5C e t<sub>c</sub>=10 min), por se apresentar sem *fat blom*, com brilho apreciável e bem moldado.

Formulação F<sub>100</sub> (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu)

- Os modelos para os atributos sensoriais brilho, presença de bolhas e qualidade do moldado, e para as análises instrumentais de cor e força de ruptura, não apresentaram capacidade preditiva, sendo somente o modelo do atributo *fat bloom* preditivo.

- A variação das condições de tempo e temperatura de cristalização não influenciou significativamente no atributo brilho dos produtos obtidos pelos experimentos de temperagem da formulação F<sub>100</sub>, onde numa escala de 0 a 9, as notas deste atributo variou de 6,73 a 7,68, somente o experimento 8 ( $T_c=27,4^{\circ}\text{C}$  e  $t_c=1,75$  min) adquiriu nota inferior (3,18), diferindo ao nível de 5% de significância dos demais.
- Nenhum experimento do processo de temperagem da formulação F<sub>100</sub> atingiu a região ótima para o atributo *fat bloom*, ou seja, aquela onde não houve presença desse defeito nos produtos. O experimento que mais se aproximou desta região foi o experimento 8 ( $T_c=27,4^{\circ}\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ).
- Esperava-se que o experimento 8, cuja nota para o atributo *fat bloom* foi a menor (1,78), recebesse a maior nota para o atributo brilho. Pois, um produto bem temperado implica em ausência de *fat bloom* e brilho apreciável. Entretanto, o brilho deste recebeu a menor nota por parte dos avaliadores, isso porque o produto obtido por este experimento apresentou alta viscosidade, impedindo a acomodação adequada da massa nos moldes, resultando em produto de aparência global desagradável, influenciando na avaliação do brilho.
- Verificou-se que o mínimo de *fat bloom* para os produtos provenientes dos experimentos de temperagem da formulação F<sub>100</sub> ocorreu nas regiões de baixas temperaturas de cristalização, independente do tempo, sendo que o intervalo de tempo estudado foi pequeno devido a alta viscosidade da massa.
- O efeito da variação do tempo e temperatura de cristalização da temperagem dos produtos da formulação F<sub>100</sub> não influenciou significativamente no atributo presença de bolhas, cujos valores para tal atributo foram de 1,25 a 4,00.
- De um modo geral, a formulação F<sub>100</sub> apresentou dificuldades em seu processo de moldagem devido a sua alta viscosidade plástica, sendo que o produto

proveniente do experimento 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75$  min) recebeu a menor nota, 1,48, ficando os demais experimentos com notas de 6,34 a 8,34. Isso porque o produto se apresentou com graves defeitos em seu formato, pois durante o processo de moldagem, a excessiva viscosidade da massa dificultou a sua adequada acomodação nos moldes.

- Nas altas temperaturas de cristalização, os produtos provenientes dos experimentos de temperagem da formulação  $F_{100}$ , apresentaram dificuldades em sua desmoldagem, necessitando de um tempo maior no resfriamento para que houvesse contração da massa nos moldes para facilitar o seu desprendimento.
- Assim como para a formulação  $F_{50}$ , não foi possível estabelecer uma correlação entre o parâmetro  $L^*$  e as coordenadas  $a^*$  e  $b^*$  da análise de cor dos produtos da formulação  $F_{100}$  com o atributo *fat bloom*, provavelmente devido ao *liquor* de cupuaçu apresentar altos valores das coordenadas  $a^*$  e  $b^*$ .
- A variação do tempo e temperatura de cristalização não influenciou de forma significativa na força de ruptura dos produtos provenientes dos experimentos de temperagem da formulação  $F_{100}$ .
- O produto  $F_{100}$  apresentou força de ruptura significativamente inferior (1,29 a 2,94 kgf) ao do chocolate (3,34 a 5,94 kgf) e do produto  $F_{50}$  (3,15 a 5,03), devido às características da gordura de cupuaçu presente nesta formulação. Embora o produto  $F_{50}$  também apresente gordura de cupuaçu, seus valores de força de ruptura ficaram próximos ao do chocolate, isso porque a presença dessa gordura é de 50% em substituição a manteiga de cacau, sendo que para o produto  $F_{100}$  essa substituição é de 100%.

### 4.3. Comportamento térmico dos produtos temperados

- Por calorimetria de varredura diferencial, não foi possível detectar com segurança, para as três formulações ( $F_0$ ,  $F_{50}$  e  $F_{100}$ ), se houve diferença entre o comportamento térmico de um produto mal temperado de um bem temperado.

### 4.4. Resposta do teste de aceitação

- A maior aceitação por parte dos consumidores para os atributos cor e aroma foi dado para o chocolate (produto  $F_0$ ); sendo o produto  $F_{50}$  o mais aceito em relação aos atributos sabor, aceitação global e a atitude de compra. Já o produto  $F_{100}$  foi quem apresentou maior aceitação em relação ao atributo textura.
- Não foi detectado, por análise sensorial, diferença de cor entre o chocolate e o produto  $F_{50}$ .
- Pode-se concluir que a substituição de 50% de *liquor* de cacau e manteiga de cacau por *liquor* e gordura de cupuaçu (produto  $F_{50}$ ) na formulação do chocolate, tem futuro promissor em sua comercialização. Embora o produto proveniente da substituição de 100% (produto  $F_{100}$ ) desses mesmos ingredientes na formulação do chocolate tenha apresentado a menor nota entre os três produtos para a atitude de compra do consumidor, seu produto apresenta-se competitivo em relação ao chocolate, uma vez que sua nota não diferiu significativamente ( $p \leq 0,05$ ) deste (produto  $F_0$ ).

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROCO, H.E. & MENEZES, J.A.S. Aspectos Físicos, Econômicos e Políticos dos Chocolates Brasileiros; 1976-84. Série Estudos Econômicos; nº10, 1987.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I.S.; BRUNS, R.E. Planejamento e otimização de experimentos (2 ed.). Campinas: Editora UNICAMP. 1996.

BOX, G.E.P.; HUNTER, W.G.; & HUNTER, J.S. Statistic for experimenters. An introduction to design, data and model building. New York: Wiley, 1978.

CHAPMAN, G.M; AKEHURTS, E.E & WRIGHT, W.B. Cocoa Butter and Confectionery fats. Studies using Programmed Temperature X-Ray Diffraction and Differential Scanning Calorimetry. Journal of the American Oil Chemists' Society; 48(12):824-830, 1971.

CHEVALLEY, j. Chocolate flow properties. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.139-155, 1994.

HARTEL, R.W. Crystallization process. The Manufacturing Confectioner. v.71, n.8, p.61-66, 1991.

JORGE, M.C.; RODRIGUEZ, I.; HOMBRE, R. Evaluation of an instrumental method of texture analysis for quality control of chocolate bars. Alimentaria, Madrid, v.36, n.305, p.73-76, 1999.

KHURI, A.I.; & CORNELL, J.A. Response surface – designs and analyses. New York: Marcel Dekker, 1987.

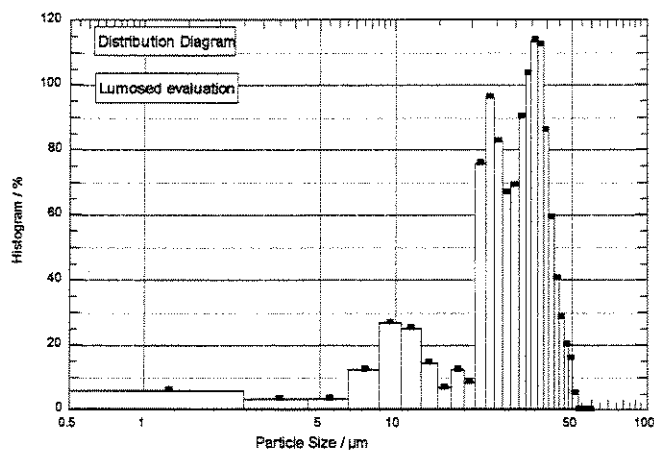
KUSTER, W. Particle Size. The Manufacturing Confectioner. p.57-60, 1991.

- LAWLER, P.J. & DIMICK, P.S. Crystallization and polymorphism of fats. In: Food Lipids, Chemistry, Nutrition and Biotechnology, Marcel Dekker, Inc., New York, 816p., 1998.
- LUCCAS, V. Fracionamento térmico e obtenção de gorduras de cupuaçu alternativas à manteiga de cacau para uso na fabricação de chocolate. Campinas, 2001. 195p. Dissertação (Doutorado). Faculdade de Engenharia Química – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP).
- MINIFIE, B.W. Chocolate, cocoa and confectionary: science and technology, 3. Ed. Na AVI Book published by Van Nostrand Reinold, 940p. New York, 1985.
- NELSON, R.B. Pumps and tempering. In: Industrial Chocolate Manufacture and Use. Editado por Beckett, 2.ed. England: Clays Ltd., p.167-209, 1994.
- NASSU, R.T. Estudo do comportamento térmico de óleos e gorduras por calorimetria de varredura diferencial (DSC). Campinas, 1994. 94p. Dissertação (Mestrado) FEA-UNICAMP.
- OICC. Analytical methods of the Office International du Cacao et du Chocolat. [S.I.], 1973. P. 8b.
- REDDY, S.Y.; FULL, N.; DIMICK, P.S. and ZIEGLER, G.R. Tempering Method for Chocolate Containing Milk-Fat Fractions. Journal of the American Oil Chemists'-Society; 73(6):723-727, 1996.
- RESURRECION, A.V.A. Consumer sensory testing for product development. Gaithersburg, Maryland: Chapman & Hall Food Science Book. Aspen Publishers, 1998.

STONE, H.; & SIDEL, J.L. Affective testing. In: Sensory evaluations practices (p. 227-252). FL, USA: Academic Press, 1985.

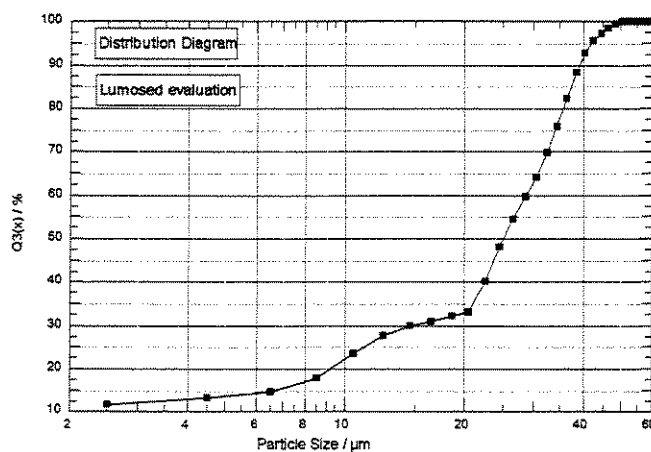
WAKELING, I.N.; MACFIE, H.J.H. Designing consumer trials balanced for first and higher orders of carry-over effect when only a subset of  $k$  samples from  $t$  may be tested. Food Quality and Preference 6 (1995). p.299-308.

# ANEXO A

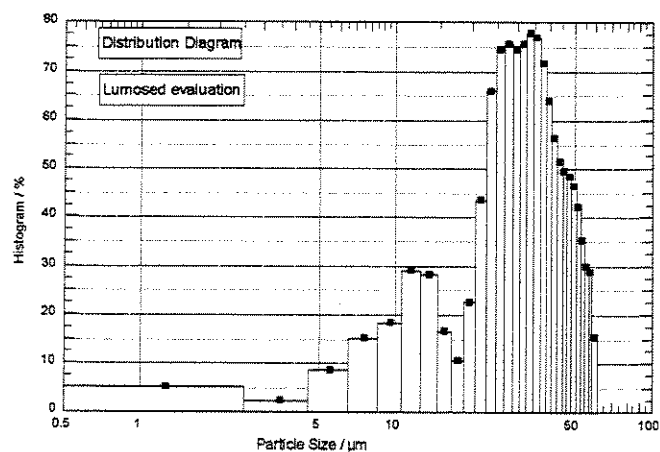


Densidade de LF1 desengordurada e seca – 1661 kg/m<sup>3</sup>

**Figura A.1.** Histograma da distribuição do tamanho das partículas do *liquor* de cupuaçu LF1 (proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco.

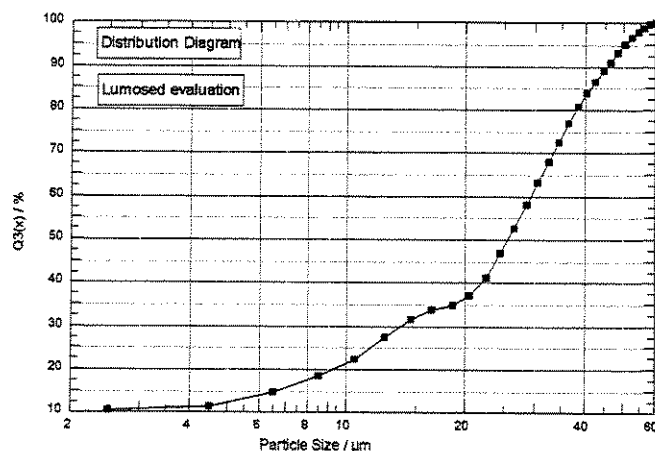


**Figura A.2.** Curva de frequência acumulada do *liquor* de cupuaçu LF1 (proveniente do lote F1 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco.

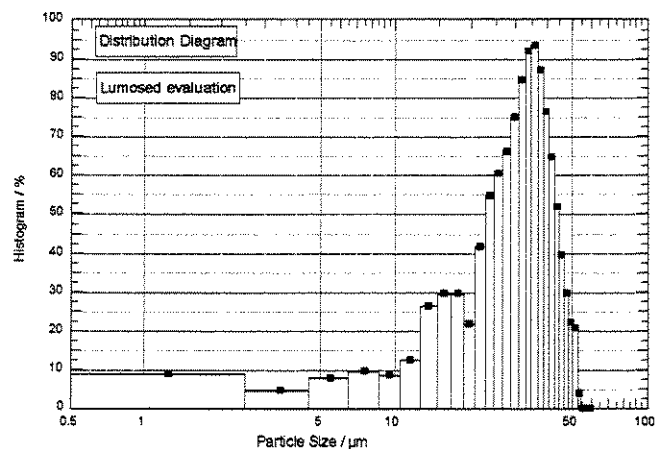


Densidade de LF2 desengordurada e seca –  $1437 \text{ kg/m}^3$

**Figura A.3.** Histograma da distribuição do tamanho das partículas do *liquor* de cupuaçu LF2 (proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco.

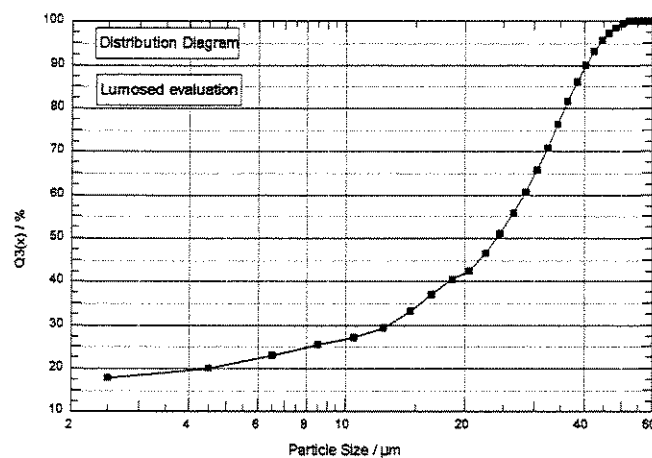


**Figura A.4.** Curva de frequência acumulada do *liquor* de cupuaçu LF2 (proveniente do lote F2 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco.

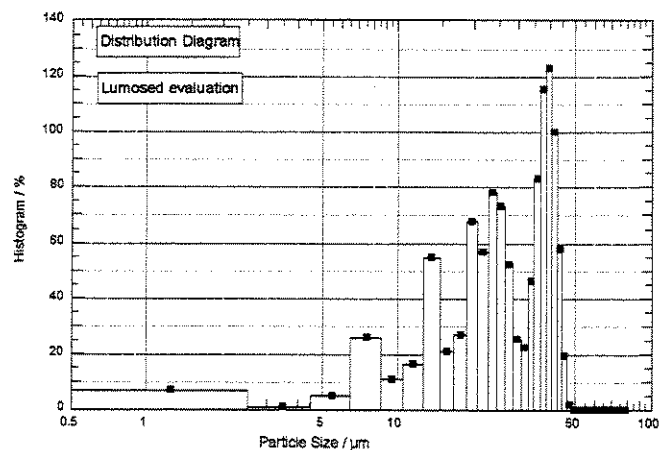


Densidade de LF3 desengordurada e seca – 1604 kg/m<sup>3</sup>

**Figura A.5.** Histograma da distribuição do tamanho das partículas do *liquor* de cupuaçu LF3 (proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco.

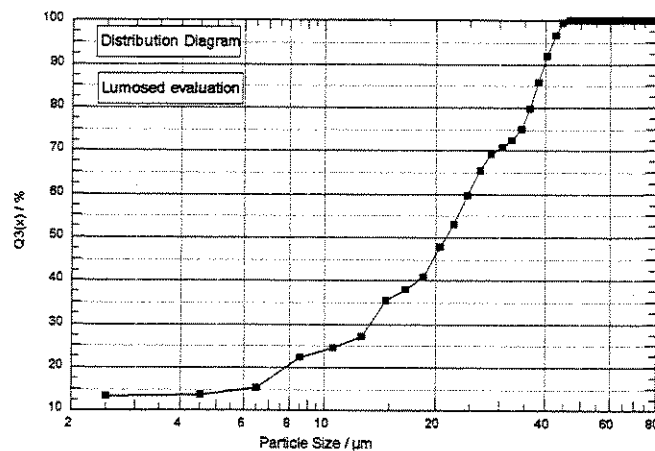


**Figura A.6.** Curva de frequência acumulada do *liquor* de cupuaçu LF3 (proveniente do lote F3 de sementes fermentadas e secas de cupuaçu) desengordurado e seco.



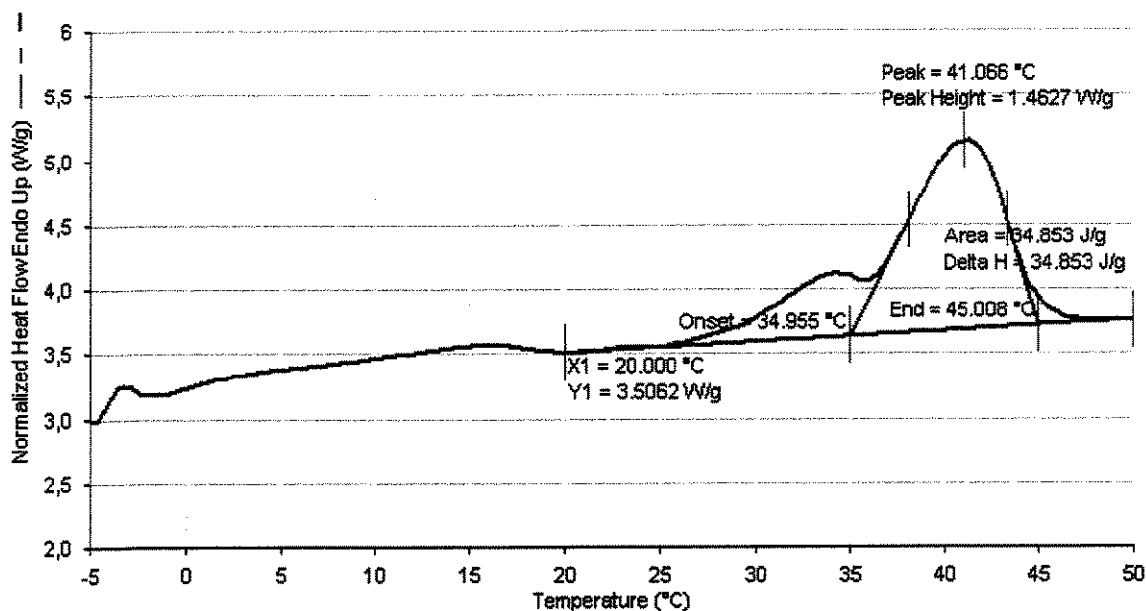
Densidade de LFC desengordurada e seca – 1623 kg/m<sup>3</sup>

**Figura A.7.** Histograma da distribuição do tamanho das partículas do *liquor* de cacau LFC (proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau) desengordurado e seco.

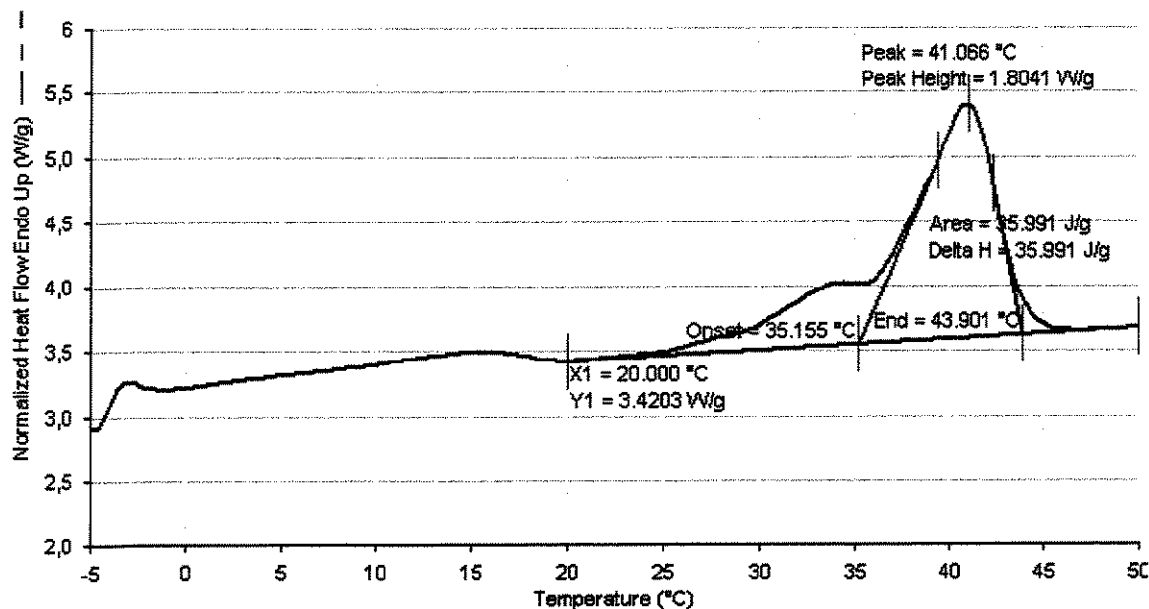


**Figura A.8.** Curva de frequência acumulada do *liquor* de cacau LFC (proveniente do lote FC de sementes fermentadas e secas de cacau) desengordurado e seco.

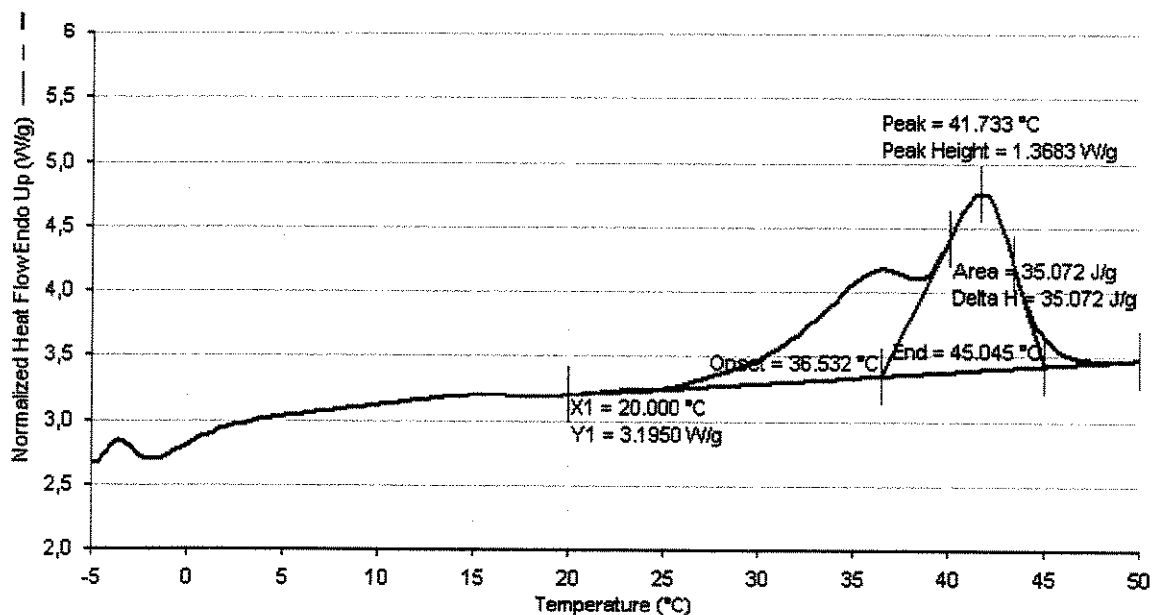
## ANEXO B



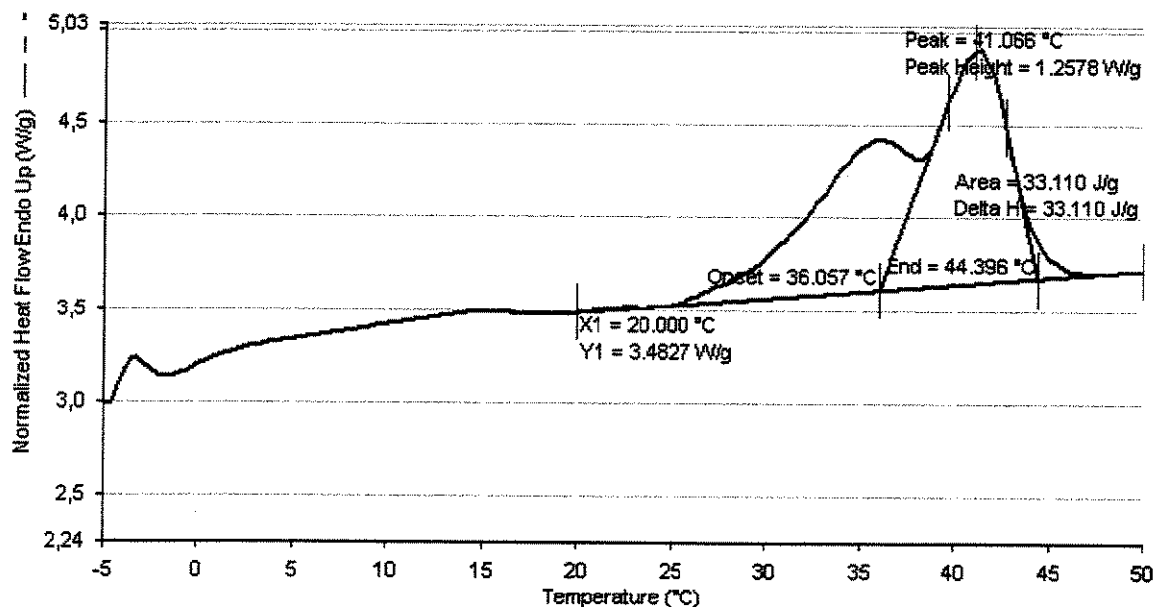
**Figura B.1.** Termograma obtido em DSC para o experimento 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  e  $t_c=5\text{min}$ ) da formulação  $F_0$  (Chocolate ao leite) – 1º repetição.



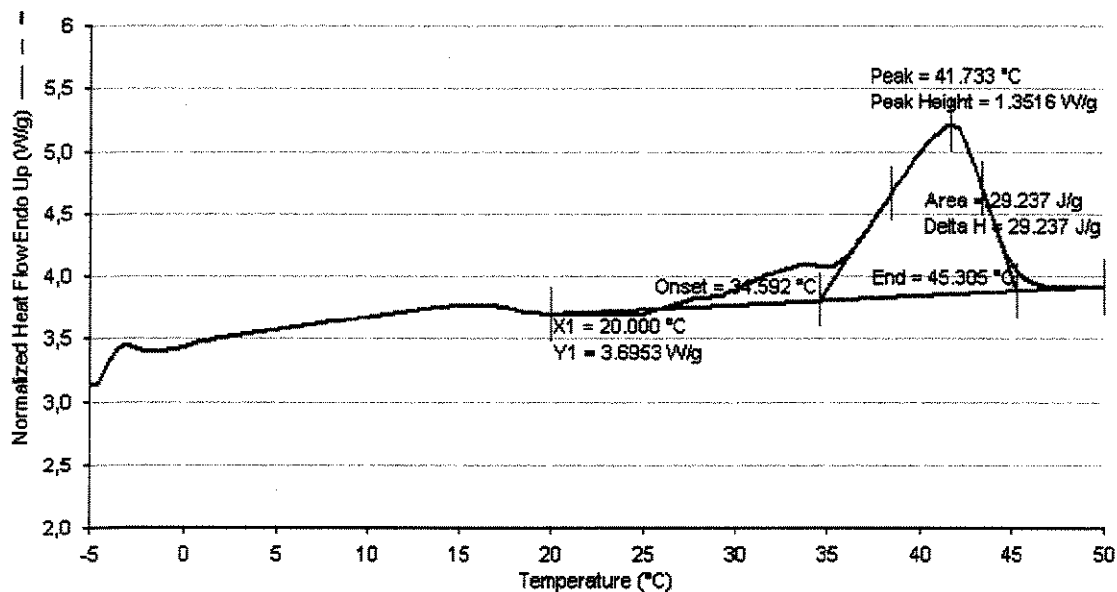
**Figura B.2.** Termograma obtido em DSC para o experimento 1 ( $T_c=28^\circ\text{C}$  e  $t_c=5\text{min}$ ) da formulação  $F_0$  (Chocolate ao leite) – 2º repetição.



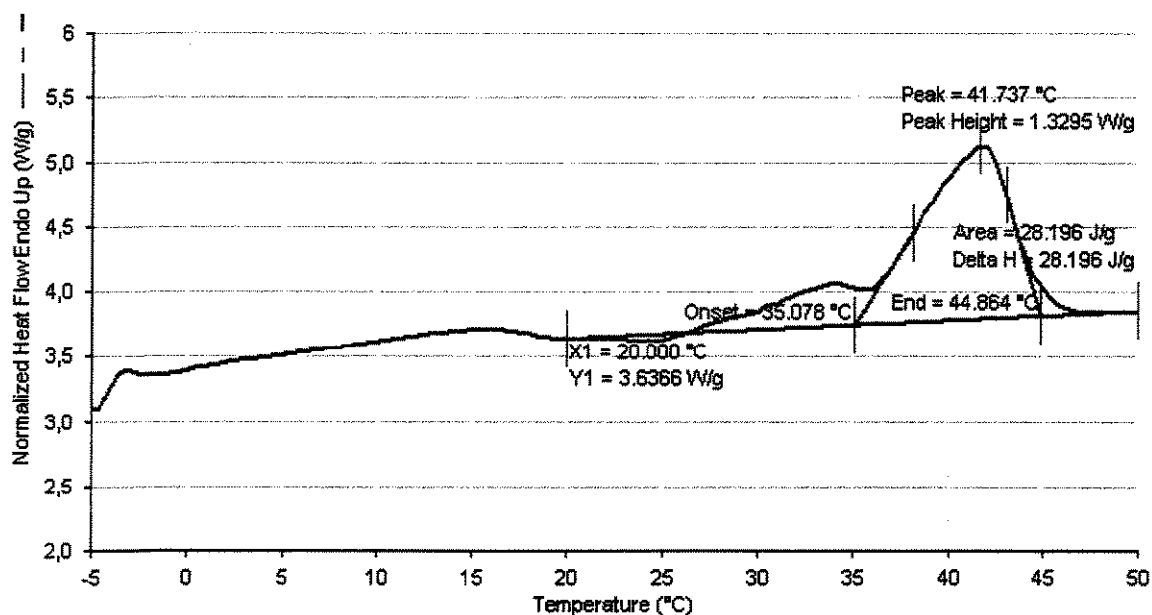
**Figura B.3.** Termograma obtido em DSC para o experimento 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5\text{min}$ ) da formulação  $F_0$  (Chocolate ao leite) – 1º repetição.



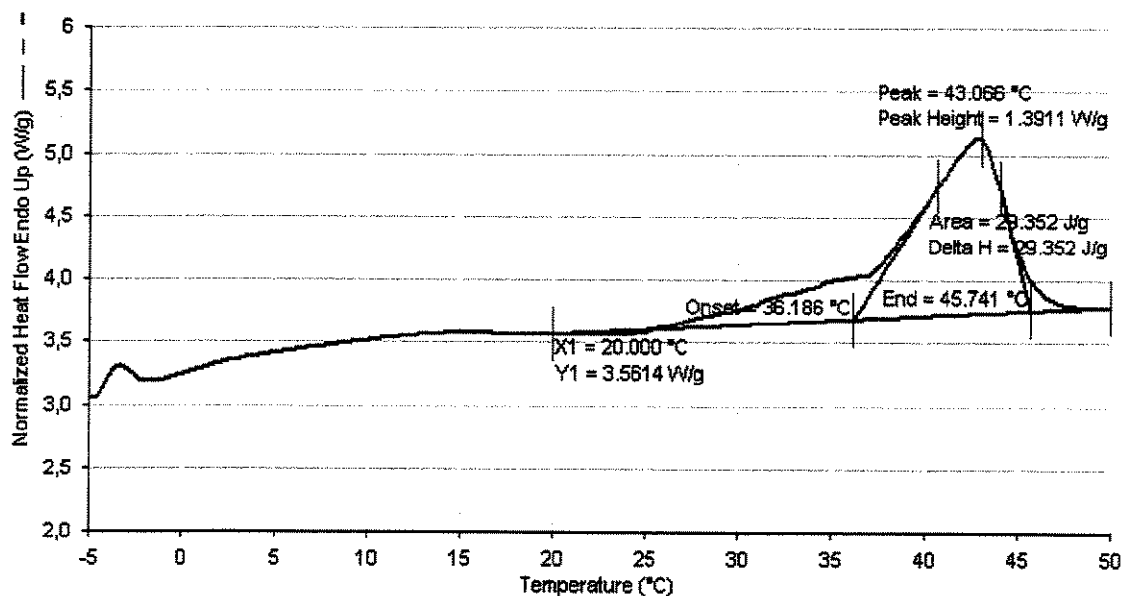
**Figura B.4.** Termograma obtido em DSC para o experimento 9 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=7,5\text{min}$ ) da formulação  $F_0$  (Chocolate ao leite) – 2º repetição.



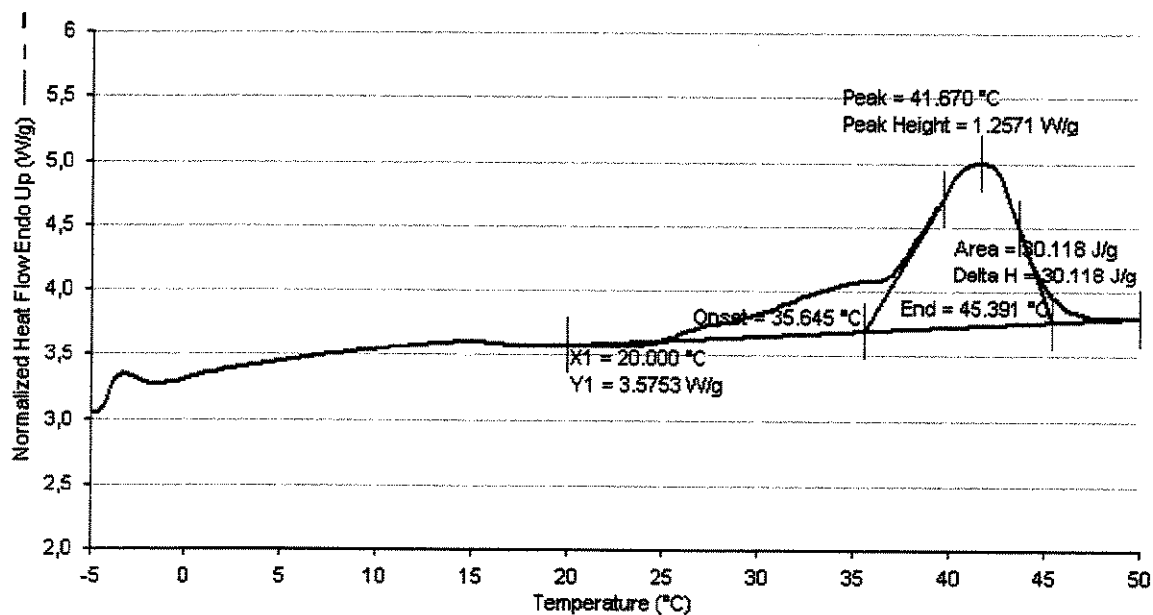
**Figura B.5.** Termograma obtido em DSC para o experimento 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=10\text{min}$ ) da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 1ª repetição.



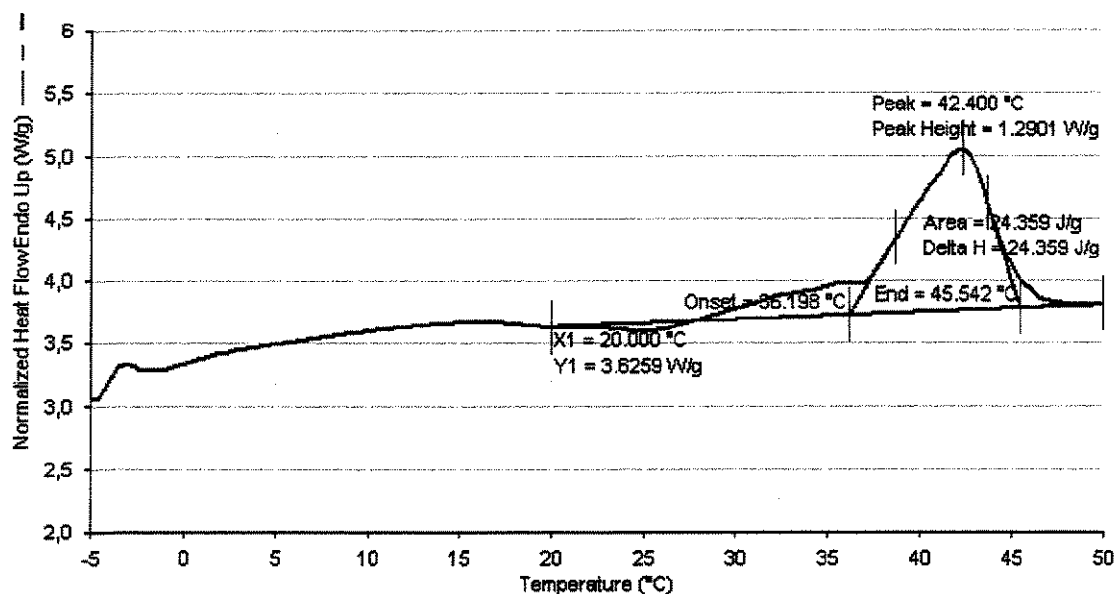
**Figura B.6.** Termograma obtido em DSC para o experimento 11 ( $T_c=29,5^\circ\text{C}$  e  $t_c=10\text{min}$ ) da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 2ª repetição.



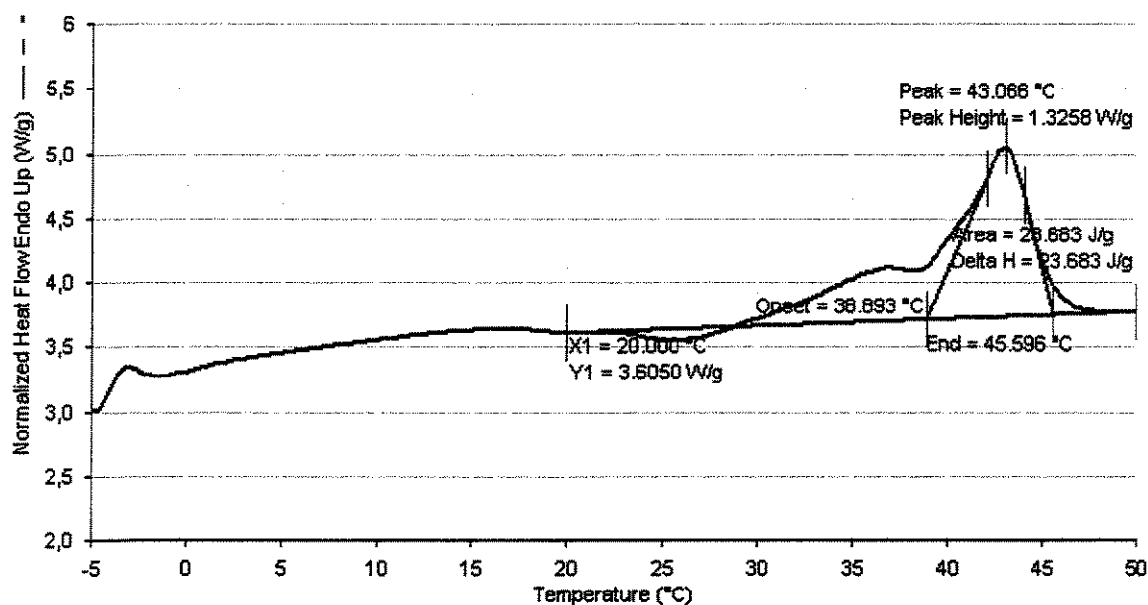
**Figura B.7.** Termograma obtido em DSC para o experimento 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$  e  $t_c=4\text{min}$ ) da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 1º repetição.



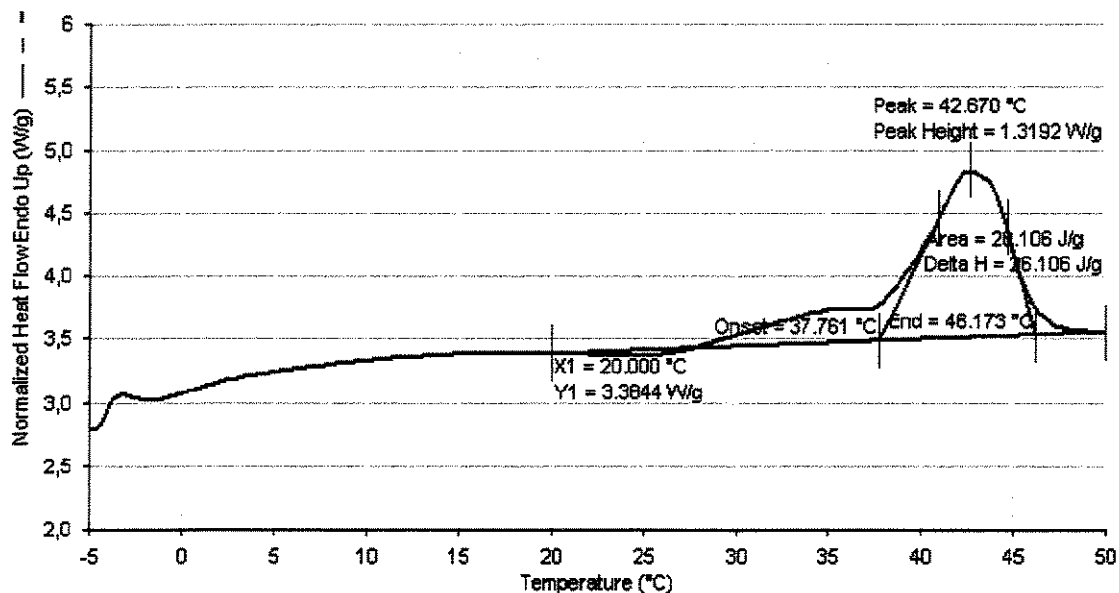
**Figura B.8.** Termograma obtido em DSC para o experimento 2 ( $T_c=31^\circ\text{C}$  e  $t_c=4\text{min}$ ) da formulação  $F_{50}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 50% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 2º repetição.



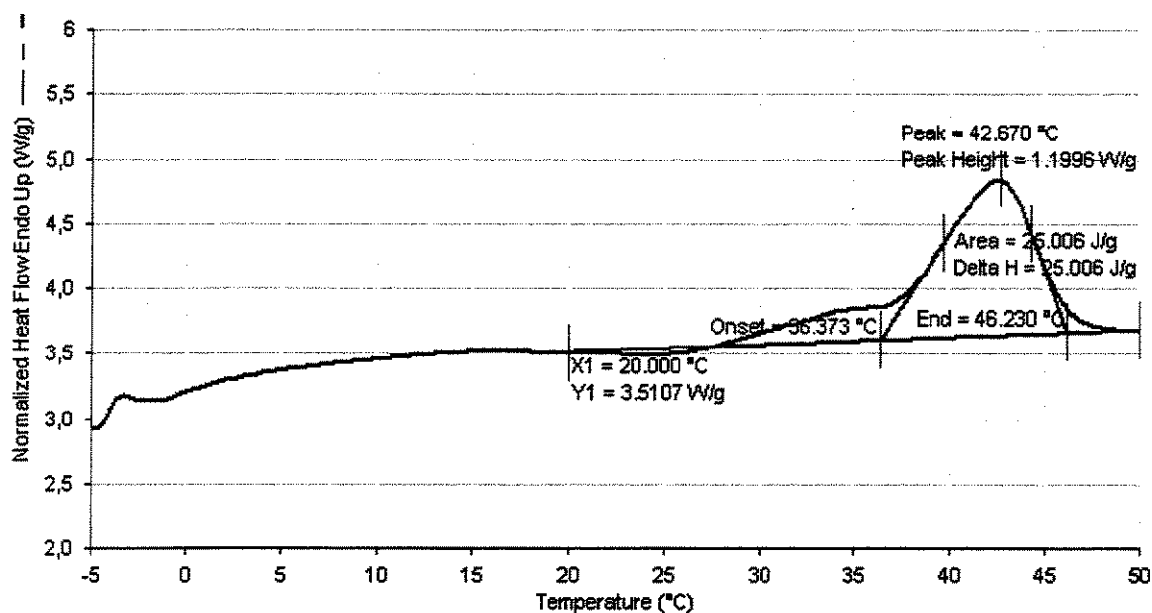
**Figura B.9.** Termograma obtido em DSC para o experimento 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 1º repetição.



**Figura B.10.** Termograma obtido em DSC para o experimento 8 ( $T_c=27,4^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 2º repetição.



**Figura B.11.** Termograma obtido em DSC para o experimento 2 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 1º repetição.



**Figura B.12.** Termograma obtido em DSC para o experimento 2 ( $T_c=31,6^\circ\text{C}$  e  $t_c=1,75\text{min}$ ) da formulação  $F_{100}$  (produto análogo ao chocolate ao leite com 100% de substituição de *liquor* e gordura de cupuaçu) – 2º repetição.