

## Propriedades físicas de substitutos do cacau

### *Physical properties of cocoa substitutes*

Magda Leite MEDEIROS<sup>1</sup>, Suzana Caetano da Silva LANNES<sup>1\*</sup>

#### Resumo

O cacau em pó é obtido a partir da pasta de cacau, preparada com sementes que passaram pelos processos de fermentação, secagem, torrefação, moagem e prensa (para separação da manteiga de cacau). Nos últimos anos, houve aumento na oferta de gorduras substitutas à manteiga de cacau, diminuindo a dependência da indústria alimentícia em relação a esta, mas aumentando a demanda por cacau em pó. Nos países líderes de produção, o preço do cacau é afetado pelo clima, pragas e fatores políticos. Substitutos de cacau são substâncias que podem entrar na formulação de produtos que utilizam cacau em pó para substituí-lo parcial ou totalmente, com a finalidade de reduzir o preço do produto final, garantir a qualidade dos produtos dependentes de cacau na entressafra ou mesmo na possível ausência do cacau em pó no mercado. Os substitutos avaliados foram: farinha tostada de alfarroba, cupuaçu em pó, composto da semente de cacau e aromas. O objetivo neste trabalho foi avaliar fisicamente o cacau e seus substitutos por meio das análises de compactação, densidade, ângulo de repouso, isoterma de adsorção de umidade, tamanho de partícula, molhabilidade e umidade crítica relativa. Concluiu-se que os produtos analisados apresentaram diferentes propriedades físicas daquelas do cacau, sendo estas refletidas nas formulações em que serão aplicados e no melhor tipo de embalagem a ser utilizada.

**Palavras-chave:** *cacau; substitutos de cacau; propriedades físicas.*

#### Abstract

Cocoa powder is obtained from the paste of cocoa prepared with fermented, dried, toasted, grinded, and pressed seeds (to separate cocoa butter). In the last years, there has been more offers of cocoa butter substitutes decreasing the food industry dependence but increasing the demand for cocoa powder. Moreover, in the producing leader countries, the price of cocoa sub-products is affected by the climate, pests, and political issues. Cocoa substitutes are substances that can substitute, total or partially, the cocoa powder in the formulation of different products with the purpose of reducing the final price, guaranteeing the quality in the off season, or even during a possible short availability of cocoa powder in the market. The chosen substitutes were: toasted carob powder, cupuassu powder, and cocoa seed and aroma compound. The objective of this study was to evaluate cocoa and its substitutes through the analysis of physical parameters such as compaction, density, angle of repose, sorption isotherm, particle size, wettability, and critical relative humidity). As result, the substitutes showed different physical properties from those of cocoa, which can affect the formulations in which they could be applied.

**Keywords:** *cocoa; cocoa substitute; physical properties.*

## 1 Introdução

Originário da América Central e do Sul, o cacauero é uma árvore tropical e de clima úmido, que produz anualmente de 0,5 a 2 kg de sementes, já fermentadas e secadas, por árvore (BELITZ; GROSCH, 1999; ICCO, 2008).

Existem basicamente três variedades de cacau: Forastero, Criollo e Trinidário. A variedade Forastero possui cotilédones de cor púrpura, devido à presença de antocianinas e é, comercialmente, a variedade mais abundante. O cacau Criollo, classificado como mais suave (já que as antocianinas responsáveis pelo sabor 'forte' e adstringente estão ausentes), possui cotilédones brancos sendo considerado de qualidade superior; entretanto, é menos vigoroso e mais vulnerável a doenças que o primeiro. A terceira variedade, Trinidário, é um híbrido entre o Forastero e o Criollo. Possui esse nome pois foi

extensamente cultivada na ilha de Trinidad depois de uma devastação, no século XVII, das árvores da variedade Criollo. Seus cotilédones possuem coloração que varia de branco até púrpura (HANCOCK, 1994; BART-PLANGE; BARYEH, 2003). Ainda, o cultivo de cacau orgânico vem se expandindo bastante nos últimos anos.

Após a colheita dos frutos, as sementes são removidas com o auxílio de facões e, imediatamente, se inicia o processo de fermentação. Beckett (2000) enumera as etapas de beneficiamento das sementes da seguinte forma: fermentação, secagem, limpeza das sementes, torrefação, trituração. Nessa última etapa, se obtém a massa ou licor de cacau (assim chamado pois sob altas temperaturas apresenta-se fluido), formado por aproximadamente 55% de gordura.

Recebido para publicação em 31/7/2008

Aceito para publicação em 9/2/2010 (003754)

<sup>1</sup> Departamento de Tecnologia Bioquímica-Farmacêutica, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo – USP, Av. Prof. Lineu Prestes, 580 – Bloco 16, Cidade Universitária, CEP 05508-900, São Paulo – SP, Brasil, E-mail: scslan@usp.br

\*A quem a correspondência deve ser enviada

As etapas de beneficiamento não necessariamente seguem essa ordem. A remoção das cascas pode ser feita antes da torrefação. Pode ainda haver acréscimo de outras etapas, dependendo da matéria-prima original bem como do produto final que se deseja obter. Uma delas é a alcalinização. Através da adição de uma solução básica, normalmente carbonato de potássio, ocorre a neutralização de ácidos melhorando o *flavour* do cacau e favorecendo as propriedades de dispersão: molhabilidade e suspensão (para evitar o depósito do achocolatado no fundo do copo) (BELITZ; GROUSCH, 1999; BECKETT, 2000).

Os substitutos de cacau são substâncias que podem entrar na formulação de biscoitos, massas para panificação, sobremesas, sorvetes, bebidas lácteas e achocolatados, para substituir parcial ou totalmente o cacau, com o intuito de garantir a qualidade do produto final durante a entressafra do cacau, diminuir o preço ou acrescentar alguma nova característica ao produto final (MEDEIROS; LANNES, 2009). Dentre os possíveis substitutos, destacam-se:

- Farinha tostada de alfarroba: fruto da alfarrobeira (*Ceratonia siliqua* L.), árvore nativa dos países mediterrâneos, a alfarroba é consumida em muitos países árabes sob a forma de doces e de uma bebida consumida durante o Ramadan (YOUSIF, ALGHZAWI, 2000; CAROBHOUSE, 2008). A polpa, após secagem, trituração e torrefação, dá origem ao pó ou farinha de alfarroba, que possui cor e *flavour* similares ao cacau. Os compostos estimulantes (cafeína e teobromina) que são encontrados no cacau e considerados por diversos autores como fatores antinutricionais responsáveis por efeitos fisiológicos adversos (GROSSO; BRACKEN, 2005; BONVEHÍ, COLL, 2000; CHEN et al., 1998; ETENG et al., 1997) não estão presentes na farinha de alfarroba, além disso, possui baixo custo quando comparada ao cacau e devido à sua composição (rica em carboidratos de baixo peso molecular) apresenta boa solubilidade (OWEN et al., 2003; YOUSIF, ALGHZAWI, 2000; BRAND, 1984). Apesar de tais vantagens, segundo Kumazawa et al. (2002), a maior parte da alfarroba ainda é descartada;
- Cupuaçu em pó: o cupuaçu, *Theobroma grandiflorum* Schum, pertence ao mesmo gênero, *Theobroma*, do cacau. São dois frutos filogeneticamente próximos, mas morfologicamente distintos. O parentesco entre eles pode ser confirmado através da composição e das propriedades bioquímicas de suas sementes, além da presença dos alcaloides purínicos (metilxantinas) nelas encontrados, os híbridos das duas espécies são capazes de produzir grande quantidade de frutos (REISDORFF et al., 2004; YANG et al., 2003). A polpa do cupuaçu, parte mais utilizada, que corresponde de 35 a 40% da fruta, é a maior responsável por seu custo (YANG et al., 2003, NAZARÉ, 2000; QUEIROZ; GARCIA, 1999). Já as sementes constituem cerca de 20% da massa total da fruta e, quando beneficiadas, da mesma forma que as de cacau, desenvolvem aroma semelhante ao de chocolate (MEDEIROS; LANNES, 1999);
- Aromas em pó: substâncias que conferem sabor e/ou odor, potencializam ou padronizam o sabor inicial dos alimentos, repõem perdas de processo, mascaram sabores indesejáveis, criam sensações novas e otimizam os custos dos alimentos. Os aromas são conjuntos de princípios ativos como ésteres, ácidos, cetonas, aldeídos, álcoois e terpenos, usados em quantidades mínimas, associados a um veículo (DUTCOSKY, 2006). Em formulações alimentícias, o cacau é responsável pela cor, aroma, sabor e volume do produto final (GRAB; BRUGGER; TAYLOR, 1978). Para que um aroma possa atuar como substituto de cacau ele deve conferir, além dos atributos sensoriais, volume para o produto final; e
- Casca de semente de cacau: As sementes de cacau são formadas por 85% de cotilédone e 15% de casca (TIMMS; STEWART, 1999). A casca da semente de cacau é separada durante o processamento da semente após a etapa de torrefação. Atualmente, toneladas destas cascas são jogadas no lixo, tornando isso uma razão para que seja encontrada uma utilidade para esse subproduto (REDGWELL et al., 2003). Belitz e Grosch (1999) afirmaram que a casca da semente do cacau é considerada um subproduto de baixo valor comercial, sendo empregada na recuperação de teobromina, produção de carvão ativado, ração, substituto de cortiça, substituto de chá (chá de casca de cacau) e, após extração da gordura, como fertilizante ou combustível. Outra aplicação para esse subproduto da indústria cacauífera poderia ser sua utilização como substituto parcial de cacau. Segundo Redgwell et al. (2003), a casca da semente de cacau é formada por 40% de fibras, sendo 30% celulose, e a procura por alimentos funcionais, que possam acrescentar algum benefício à saúde, como elevando o conteúdo de fibras na dieta humana, aumenta o apelo no uso da casca da semente de cacau, tornando-a uma fonte barata de fibras para os produtos de chocolate.

O objetivo foi avaliar fisicamente (compactação, densidade, ângulo de repouso, isoterma de adsorção de umidade, tamanho de partícula, molhabilidade e umidade crítica relativa) o cacau em pó e seus substitutos.

## 2 Material e métodos

### 2.1 Material

Foram utilizadas amostras de cacau em pó e de substitutos de cacau das seguintes empresas:

- Cacau em pó lecitinado;
- Aroma de Chocolate;
- Aroma Idêntico ao Natural de Cacau *Cocoa Extender*;
- Composto de Cacau (Fibracau Natural e Fibracau Preta);
- Cupuaçu em pó; e
- Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D e Carovit ED).

## 2.2 Métodos

### Molhabilidade

O teste efetuado utilizou béquer de 250 mL, com 200 mL de água destilada. As amostras foram adicionadas à água, cuidadosamente em um ponto central único, a uma altura fixa (4 cm) do líquido. O tempo necessário para que as partículas sejam cobertas pela água é o tempo de molhabilidade e foi determinado com um cronômetro (LANNES; MEDEIROS, 2003).

### Umidade crítica relativa

A determinação da umidade crítica relativa (UCR) foi realizada acondicionando as amostras em ambientes com diferentes umidades relativas, sob a mesma temperatura (TENOU; FITZPATRICK; SYNNOT, 1999). Para simular os ambientes, foram utilizados dessecadores contendo soluções super saturadas de diferentes sais, todos mantidos em estufa B.O.D sob a mesma temperatura. O Quadro 1 apresenta as diferentes soluções utilizadas e suas respectivas umidades relativas, a 25 °C (SATURATED SALT SOLUTIONS, 2008).

A mudança de comportamento observada nas amostras, como aglomeração ou aparecimento de colônias de fungos, foi o parâmetro para a determinação da UCR.

### Isoterma de sorção de umidade

Para o traçado das isotermas, as amostras foram mantidas sob as mesmas condições usadas para a determinação da UCR, sendo que as massas das amostras eram determinadas em intervalos de tempo constante até atingirem o equilíbrio (PITOMBO et al., 1994).

### Ângulo de repouso

Para a determinação do ângulo de repouso das amostras, 20 g de cada um dos pós foram acomodados em funil com gargalo de 59 mm de diâmetro, que se encontrava vedado. Depois de acomodado o pó, a abertura foi liberada e as amostras escorram sobre uma placa de Petri. A altura entre o funil e a placa de Petri foi mantida constante. Determinou-se o ângulo formado entre o topo e a base do pó (BHANDARI et al., 1998).

### Densidade acomodada

Para a determinação da densidade acomodada, a metodologia empregada seguiu o exposto por Tenou, Fitzpatrick e Synnot (1999), com alterações. Para tanto, 20 g de amostra foram acomodados em cilindro graduado que foi submetido a 20 batidas (arbitrariamente escolhido), até que o volume permanecesse constante.

### Distribuição granulométrica

Para a análise, utilizou-se o granulômetro Granutest (Produtest), com número variado de peneiras (determinadas através de testes prévios) para cada amostra. Os parâmetros do

**Quadro 1.** Umidade relativa das soluções super saturadas dos sais a 25 °C.

Sal	Umidade relativa (%)
KOH	8,23 ± 0,72
CH <sub>3</sub> COOK	22,51 ± 0,32
MgCl <sub>2</sub>	32,78 ± 0,16
NaI	38,17 ± 0,50
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	43,16 ± 0,39
NaBr	57,57 ± 0,40
KI	68,86 ± 0,24
NaCl	75,29 ± 0,12
(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	80,99 ± 0,28
KCl	97,88 ± 0,49

Fonte: *Saturated Salt Solutions* (2006).

teste foram: 1,6 mm de amplitude, 3600 vibrações por minuto e 5 minutos de análise (LANNES, 2005).

### Compactação

A análise da compactação dos pós foi realizada a partir de metodologia de Eduardo e Lannes (2007), acrescida de um novo teste desenvolvido para este trabalho para o texturômetro TA – XT2 (Stable Micro System, UK).

Foram acondicionados 80 mL de cada amostra de pó em copo cilíndrico de acrílico (diâmetro 50 mm e altura 70 mm), que sofreram compressão por uma placa de 45 mm de diâmetro (*probe back extrusion* A/BE).

Com as amostras de substitutos, foram realizados dois testes. O primeiro foi a determinação da distância de compressão com os seguintes parâmetros: força inicial de 200 g, força final de 20000 g, velocidade de 2 mm/segundos, tempo de 5 segundos.

E o segundo foi a determinação da força de compressão, com os parâmetros: força inicial de 200 g, velocidade de 2 mm/segundos e distância final variável, de acordo com resultados obtidos na primeira análise (EDUARDO; LANNES, 2007).

## 3 Resultados e discussão

### 3.1 Molhabilidade

Normalmente, os produtos em pó são utilizados na indústria sob a forma de uma dispersão em um líquido. Isso se aplica às indústrias civil, de tintas, farmacêuticas e de alimentos (VU et al., 2003). O teste de molhabilidade é um ensaio simples, utilizado pela indústria, que fornece o parâmetro de tempo necessário para que o pó seja absorvido por um líquido. Embora o tempo máximo para o produto se molhar seja uma escolha arbitrária, optou-se por considerar com boa molhabilidade os pós em que 90% da amostra já estivesse mergulhada em até 5 minutos (LANNES; MEDEIROS, 2003). Os resultados encontrados estão apresentados na Tabela 1.

As amostras de cacau, aromas (AS e CE) e alfarroba (CD e CED) apresentaram boa molhabilidade, ou seja, o produto foi completamente molhado em menos de 5 minutos. Apesar do teor de lípidos do cacau ser elevado (14,21%), apresentou bons resultados, pois se utilizou cacau alcalinizado e lecitinado. Hla e Hogekamp (1999) comentaram que o uso de 0,5 a 2,0% de lecitina aumenta a molhabilidade e dispersabilidade do cacau quando adicionado ao leite em pó integral.

Para a farinha de alfarroba, em ambas as amostras, a molhabilidade observada é consequência de sua composição centesimal que, segundo Yousif e Alghzawi (2000), contém cerca de 40 a 45% de açúcares.

O cupuaçu em pó (CP) não foi totalmente “molhado” em 5 minutos, podendo ser explicado pelo elevado teor de lípidos (28,4%) e por não se tratar de uma amostra lecitinada, além de ser desconhecido seu grau de alcalinização. Contudo, Lannes e Medeiros (2003) obtiveram um “achocolatado” formulado com cupuaçu em pó com boa molhabilidade e instantaneizado, utilizando processamento por *spray-dryer*, portanto não descartando a possibilidade de utilização em formulações alimentícias.

Para o composto de cacau FN, o tempo observado foi muito superior a 5 minutos, não sendo molhado durante todo o período de observação. Já a amostra FP foi parcialmente molhada. Apesar do baixo teor de lípidos dessas amostras (FN - 7,4% e FP - 2,8%), os compostos contém celulose, Belitz, Grousch (1999) e RedgwelL et al. (2003) afirmaram que, na casca da semente de cacau pura, o teor de celulose é de 26 a 35%, portanto esse pode ser o maior responsável pelo mau desempenho observado. Logo, esse tipo de substituto não é aconselhável para a formulação de achocolatado.

### 3.2 Umidade crítica relativa

A umidade crítica relativa (UCR) é a medida da mínima umidade relativa, à determinada temperatura, na qual um produto, quando armazenado, apresenta mudanças em suas características iniciais. Teunou, Fitzpatrick e Synnot (1999)

**Tabela 1.** Tempo de molhabilidade das amostras de Cacau, Aroma de Chocolate (AS), Aroma Idêntico ao Natural de Cacau (Cocoa Extender) (CE), Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D) (CD), Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit ED) (CED), Cupuaçu em pó (CP), Composto de Cacau (Fibracau Natural) (FN), Composto de Cacau (Fibracau Preta) (FP).

Produto	% de produto mergulhado	Tempo (minutos)
Cacau	100	01:03
AS	100	01:28
CE	100	03:05
CD	100	04:45
CED	100	01:53
CP	100	07:55
FN	000	60:00
FP	060	05:00

n: 1

citaram que a mudança observada no caso de produtos em pó é a solidificação, resultando principalmente na perda das características de fluidez.

Segundo os mesmos autores, a determinação da UCR pode ser feita acondicionando-se as amostras em ambientes com diferentes umidades relativas, a uma mesma temperatura. As amostras devem ser agitadas periodicamente. A UCR é a mínima umidade na qual se observa mudança no comportamento das amostras, ou seja, é a umidade na qual as partículas passam a permanecer unidas, e o pó pode então ser considerado um bloco sólido.

A solidificação de pós (*caking*) acontece quando absorvem umidade do ambiente que os circunda e há formação de pontes entre as partículas dos alimentos, especialmente em superfícies de produtos amorfos. O aumento na coesão das partículas resulta na diminuição da fluidez e perda de qualidade ou até de funcionalidade (TEUNOU; FITZPATRICK, 1999; AGUILERA; VALLE; KAREL, 1995; FITZPATRICK et al., 2004).

Mathlouthi, Rogé (2003) comentaram que os estágios desse processo podem ser definidos da seguinte forma:

- Estágio pendular: fluidez total das partículas;
- Estágio funicular: estabelecimento de contato entre as partículas;
- Estágio capilar: ocorre quando o teor de umidade é tão alto que há a formação de pontes entre as partículas da amostra; e
- Estágio de gota: quando é predominante a dissolução das amostras. E se a umidade é retirada desse produto, as pontes formadas se solidificam, ocorrendo o fenômeno de *caking*.

A umidade crítica relativa (UCR) das amostras foi determinada a 25 °C. Os valores, conforme a Tabela 2, são os mesmos da umidade relativa dentro dos dessecadores, nos quais se observou, após a agitação dos frascos, que continham

**Tabela 2.** Valores de umidade crítica relativa e desvio padrão  $\delta$  (variação da umidade relativa dos dessecadores) das amostras AS: Aroma de Chocolate, CE: Aroma Idêntico ao Natural de Cacau (Cocoa Extender), FN: Composto de Cacau (Fibracau Natural), FP: Composto de Cacau (Fibracau Preta), CD: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D), CED: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit ED), CP: Cupuaçu em pó.

Produto	UCR $\pm$ $\delta$ (%)
Cacau	80,99 $\pm$ 0,28
AS	43,16 $\pm$ 0,29
CE	43,16 $\pm$ 0,39
CD	75,29 $\pm$ 0,12
CED	97,88 $\pm$ 0,49
CP	75,29 $\pm$ 0,12
FN	68,86 $\pm$ 0,24
FP	80,99 $\pm$ 0,28

n: 2

as amostras, a solidificação delas. A umidade relativa dentro dos dessecadores simula as condições nas quais os produtos podem ser estocados.

Para a maioria dos substitutos, foram encontrados valores de UCR menores do que para o cacau (81,0%). Isso indica que, à temperatura de 25,0 °C, o cacau é mais “resistente” à aglomeração e posterior solidificação do que a maioria dos substitutos analisados.

Os aromas AS e CE apresentaram a menor UCR. Foi observado que essas duas amostras são mais higroscópicas e, nos dessecadores contendo umidade relativa maior, as amostras absorveram água suficiente para ocorrer a solidificação do pó, formando uma pasta viscosa. Essa alta afinidade pela água pode ser a explicação pela boa molhabilidade apresentada pelas amostras (Tabela 1). Os aromas são muito hidrofílicos.

A determinação da UCR é importante, pois associada a outros parâmetros, como a umidade inicial e a massa do produto, aproximação linear da isoterma de sorção e umidade relativa do ambiente de estocagem, pode ajudar na escolha do material que irá servir de barreira à passagem de água para o interior da embalagem na qual o produto será acondicionado (AGUIRRE, GASPARINO, 2002). Escolhendo como material de embalagem o PET metalizado e polietileno multicamadas, Medeiros et al. (2004) determinaram em 326 e 467 dias a vida de prateleira do pó de cupuaçu e do “achocolatado” de cupuaçu não instantaneizado, respectivamente. Os autores salientaram que esse cálculo se refere ao tempo em que o produto permanece fechado, perdendo a validade assim que a embalagem for aberta.

Assim sendo, para produtos formulados com a maioria dos substitutos analisados, a embalagem que os acondicionará deverá possuir maior resistência à passagem de água do que para produtos formulados com cacau em pó ou com a farinha de alfarroba CED.

### 3.3 Isoterma de sorção

Nos alimentos, a estrutura microscópica é de importância primária em todos os aspectos de sua funcionalidade. Na verdade, a organização microscópica, tanto da água como dos outros componentes, determina o resultado das observações macroscópicas realizadas através de diferentes técnicas (CORNILLON; SALIM, 2000).

A formulação de um produto seco consiste, basicamente, em misturar os ingredientes desejados e embalá-los (LEWICKI, 1997). Alimentos desidratados tendem a ganhar umidade do ambiente de estocagem, alterando assim sua atividade de água, até que o equilíbrio seja novamente restituído. As alterações observadas em alimentos em pó são: aglomeração, alterações na textura, mudança de cor e até crescimento microbiano, sendo que tais transformações tendem a levar à rejeição do produto.

A relação de equilíbrio das partículas dos alimentos desidratados com a umidade do ambiente que o circunda pode

ser mais bem visualizada através da construção da isoterma de sorção.

A isoterma de sorção foi definida por Al-Muhtaseb, McMinn, Magee (2004) como a representação gráfica da relação entre diferentes umidades e a atividade de água (parâmetro que descreve o grau de ligação da água com as partículas do alimento) em temperatura constante. As isotermas e as equações que descrevem essas relações são de grande importância na solução de problemas como determinação da vida de prateleira (MEDEIROS et al., 2004).

A Figura 1 apresenta o traçado das isotermas das amostras de cacau e seus substitutos a 25 °C.

As isotermas podem ser classificadas em 5 diferentes tipos (Figura 2), que variam de acordo com o tipo de traçado obtido Mathlouthi, Roge (2003):

- Tipo 1: obtida através da adsorção monomolecular de um gás por um sólido poroso;
- Tipo 2: isoterma sigmoide, característica de produtos solúveis, apresenta tendência assintótica com o aumento da atividade de água;
- Tipo 3: adsorção de um solvente ou plasticizante como o glicerol acima da temperatura de transição vítrea;
- Tipo 4: descreve a adsorção de um sólido hidrofílico até que a máxima hidratação seja atingida; e
- Tipo 5: isoterma de adsorção de multicamadas está relacionada com os tipos 2 e 3.

Comparando-se as curvas obtidas e visualizadas na Figura 1 com as apresentadas na Figura 2, pode-se concluir que as isotermas tendem a ser do Tipo 2 de forma sigmoide, sendo essa a mais característica em alimentos (MEDEIROS et al., 2006).

Todas as amostras apresentaram valores negativos de umidade, quando estocadas em ambientes de baixa umidade relativa (até cerca de 0,5% para a amostra CD), pois não passaram pelo processo de secagem; logo, os valores negativos representam a perda de água das amostras para o ambiente.

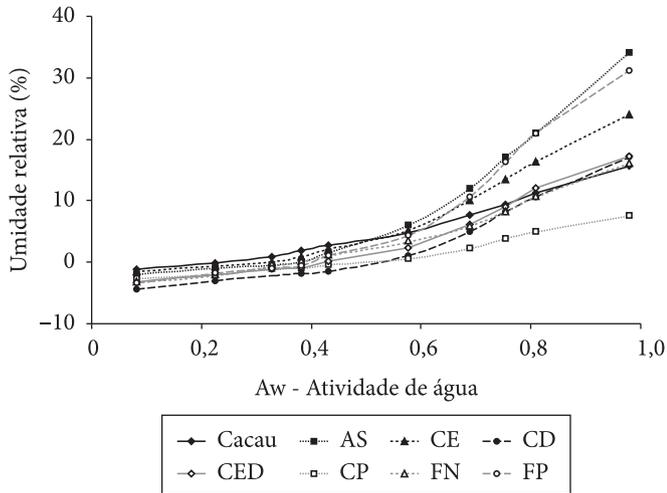
Os aromas (AS e CE) são muito higroscópicos, característica que pode ser observada na isoterma, pois, quando estocados em ambientes de maior umidade, observa-se aumento na atividade de água.

Nota-se também que a amostra FP, apesar de não possuir comportamento higroscópico quando manuseada, apresentou aumento significativo de atividade de água quando estocada em ambiente de umidade relativa alta.

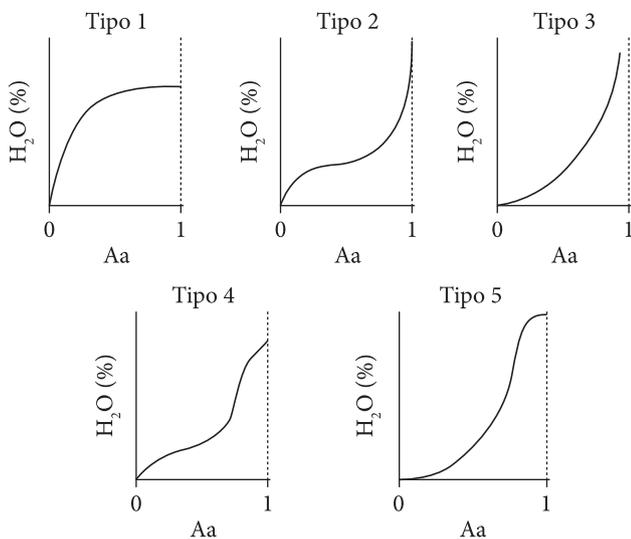
A amostra CP foi a que se manteve mais estável frente ao aumento de umidade, ou seja, possui baixa higroscopicidade, que pode ser justificada pelo alto teor de lípidos dessa amostra (28,4%).

### 3.4 Ângulo de repouso

O ângulo de repouso é útil para se obter informações sobre a fluidez de sólidos (BHANDARI et al., 1998). Shittu e Lawal



**Figura 1.** Isoterma de sorção a 25 °C das amostras AS: Aroma de Chocolate, CE: Aroma Idêntico ao Natural de Cacau (Cocoa Extender), FN: Composto de Cacau (Fibracau Natural), FP: Composto de Cacau (Fibracau Preta), CD: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D), CED: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit ED), CP: Cupuaçu em pó.



**Figura 2.** Tipos de isotermas. Fonte: Mathlouthi e Roge (2003).

(2007) exemplificam a importância da determinação do ângulo de repouso da seguinte maneira: “durante a reconstituição do pó, as moléculas de água que hidratam a superfície tendem a reduzir a coesividade interpartículas, permitindo assim uma penetração mais rápida da água, portanto, pós que possuam ângulos de repouso altos apresentam maior dificuldade de incorporação à água”. Na Tabela 3, estão apresentados os ângulos de repouso das amostras.

Pós com ângulo de repouso de até 40° geralmente fluem facilmente, mas, se o ângulo exceder 50°, a fluidez pode se tornar prejudicada (KONSTANCE; ONWULATA; HOLSINGER,

1995; BHANDARI et al., 1998), ou seja, ângulos de repouso maiores indicam menor escoabilidade. Shittu, Lawal (2007) acrescentaram mais categorias a essa classificação, pois afirmaram que sólidos particulados com até 35° de ângulo de repouso possuem boa fluidez, os de 35 a 45° possuem coesividade fraca, os de 45 a 55° apresentam coesividade e os acima de 55° são muito coesivos.

Seguindo essa última classificação, os pós puderam ser divididos em três categorias:

- Cacau e FP – pouco coesivos;
- AS, CD, CED e CP – coesivos;
- CE e FN – muito coesivos.

Os mesmos autores afirmaram que, pós com ângulo de repouso alto, ‘mergulham’ com mais dificuldade quando colocados na superfície de líquidos, graças a sua coesividade inerente.

Essa pode ser a explicação para a baixíssima molhabilidade apresentada pela amostra FN (Tabela 1), mas não se aplica para a amostra CE que apresentou bons resultados de molhabilidade.

Contudo, para essa amostra, a explicação pode residir em uma das variáveis que interferem no ângulo de repouso: o tempo de estocagem (SHITTU; LAWAL, 2007). O teste não foi realizado quando a amostra foi recebida, mas cerca de 8 meses depois. Teunou, Fitzpatrick (2000) demonstraram que diferentes pós apresentam modificações na fluidez com o tempo de armazenamento.

### 3.5 Densidade acomodada

Para a análise, foram utilizados 20 g de amostra, portanto, sabendo-se qual o volume final, pode-se determinar a densidade acomodada das amostras, apresentada na Tabela 4. Os resultados encontrados para esse tipo de teste são dependentes da metodologia aplicada.

Os resultados encontrados estão de acordo com os de Shittu e Lawal (2007), que analisaram achocolatados comerciais e encontraram valores que variaram de 0,49 a 0,81 g/cm<sup>3</sup> para o parâmetro densidade acomodada. Os autores concluíram também que a densidade acomodada pode variar de acordo com a natureza do material que constitui o pó.

### 3.6 Distribuição granulométrica

A descrição de um pó é incompleta sem os dados de distribuição granulométrica. O tamanho das partículas está diretamente relacionado com as propriedades físicas do pó.

A distribuição granulométrica pode ser representada, na forma gráfica, pela frequência relativa acumulada (geralmente dada em porcentagem) ou através de histogramas de frequência de tamanho em determinados intervalos.

Foram realizados ensaios preliminares para a escolha do conjunto de peneiras que seriam necessárias para cada amostra.

**Tabela 3.** Ângulo de repouso e incerteza da leitura  $\delta$  ( $0,5^\circ$ ) das amostras AS: Aroma de Chocolate, CE: Aroma Idêntico ao Natural de Cacau (Cocoa Extender), FN: Composto de Cacau (Fibracau Natural), FP: Composto de Cacau (Fibracau Preta), CD: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D), CED: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit ED), CP: Cupuaçu em pó.

Produto	Ângulo $\pm \delta$ ( $^\circ$ )
Cacau	45,0 $\pm$ 0,0
AS	55,0 $\pm$ 0,0
CE	57,0 $\pm$ 0,0
CD	52,0 $\pm$ 0,0
CED	52,0 $\pm$ 0,0
CP	52,0 $\pm$ 0,0
FN	62,0 $\pm$ 0,0
FP	44,0 $\pm$ 0,0

n: 2

Essa escolha teve como base os seguintes preceitos (LANNES, 2006):

- Mais que 20% do material não deve ficar retido na 1ª peneira ou no fundo;
- Mais que 30% do material não deve ficar retido em qualquer peneira intermediária.

Todas as amostras, nos ensaios preliminares, mostraram-se em desacordo com ao menos uma das premissas. Logo, se realizou um novo teste, inserindo-se peneiras com diferentes aberturas (Tabela 5).

Os resultados estão apresentados sob a forma de histogramas (Figura 3). As colunas mais próximas ao eixo das ordenadas representam as partículas de tamanhos menores, as mais distantes representam as de tamanho maior.

Dentre todas as amostras, a CP foi a que apresentou partículas de maior tamanho e a CED as de menor tamanho. Quase 80% das partículas da amostra CE foram retidas em uma das peneiras, comprovando sua homogeneidade. Entre as farinhas de alfarroba (CD e CED), a amostra CED apresentou tamanho de partícula menor que a CD, assim como as amostras de composto de cacau, FP possui partículas menores que FN. Em ambos os casos, a explicação pode ser o aumento da friabilidade das partículas das amostras, ocorrida por um possível período maior de torrefação.

### 3.7 Compactação

As propriedades físicas de produtos em pó afetam seu comportamento durante a estocagem, a manipulação e o processamento. Assim sendo, a determinação de tais parâmetros é de grande importância para indústrias que utilizam pós como matéria-prima ou mesmo como produto final. Esse é o caso de indústrias de materiais para a construção civil, de cerâmica, farmacêutica e de alimentos, entre outras (FITZPATRICK et al., 2004; VU et al., 2003).

**Tabela 4.** Volume e densidade  $\pm$  desvio padrão das amostras AS: Aroma de Chocolate, CE: Aroma Idêntico ao Natural de Cacau (Cocoa Extender), FN: Composto de Cacau (Fibracau Natural), FP: Composto de Cacau (Fibracau Preta), CD: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D), CED: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit ED), CP: Cupuaçu em pó.

Produto	Volume (mL)	Densidade (g.mL <sup>-1</sup> )
Cacau	39,5 $\pm$ 0,01	0,51 $\pm$ 0,00
AS	40,5 $\pm$ 0,00	0,49 $\pm$ 0,01
CE	39,0 $\pm$ 0,01	0,51 $\pm$ 0,00
CD	36,0 $\pm$ 0,01	0,56 $\pm$ 0,00
CED	37,5 $\pm$ 0,01	0,53 $\pm$ 0,01
CP	38,0 $\pm$ 0,00	0,53 $\pm$ 0,01
FN	41,0 $\pm$ 0,00	0,49 $\pm$ 0,00
FP	29,0 $\pm$ 0,00	0,69 $\pm$ 0,00

n:2

compressão, foi realizado com as distâncias determinadas no primeiro teste. A Figura 4 é um exemplo dos resultados obtidos a partir das análises de distância em compressão e da força em compressão, ambas da amostra de aroma CE.

Os resultados das avaliações efetuadas estão apresentados na Tabela 6. A distância percorrida pelo *probe*, necessária para o equipamento detectar 20000 g no primeiro teste, variou de 10,74 a 20,41 mm, entre as amostras AS e Cacau, respectivamente. Não houve diferença significativa entre as distâncias determinadas para as amostras CE, CED e FP e entre as amostras CP e FN. Para essas 5 amostras, a distância fixada no segundo teste, força em compressão, foi de 15 mm. Essa distância foi diferente somente para os dois extremos do primeiro teste, ou seja, as amostras Cacau e o substituto AS.

A força detectada, no segundo teste, variou de 6629 a 18685 g entre as amostras FN e CD, respectivamente. A relação entre a força de compactação e a capacidade de compactação da amostra

**Tabela 5.** Análise granulométrica das amostras AS: Aroma de Chocolate, CE: Aroma Idêntico ao Natural de Cacau (Cocoa Extender), CD: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D), CED: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit ED) e CP: Cupuaçu em pó.

	Peneiras (designação ABNT*)							
	40	50	60	80	100	170	230	400
Cacau								
AS								
CE								
CD								
CED								
CP								
FN								
FP								

\*Abertura das peneiras em mm: 40 = 0,420, 50 = 0,297, 60 = 0,250, 100 = 0,149, 170 = 0,088, 230 = 0,062 e 400 = 0,037. Área hachurada representa as peneiras utilizadas para cada amostra.

**Tabela 6.** Resultados da análise de textura e desvio padrão  $\delta$  das amostras AS: Aroma de Chocolate, CE: Aroma Idêntico ao Natural de Cacau (Cocoa Extender), FN: Composto de Cacau (Fibracau Natural), FP: Composto de Cacau (Fibracau Preta), CD: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D), CED: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit ED), CP: Cupuaçu em pó.

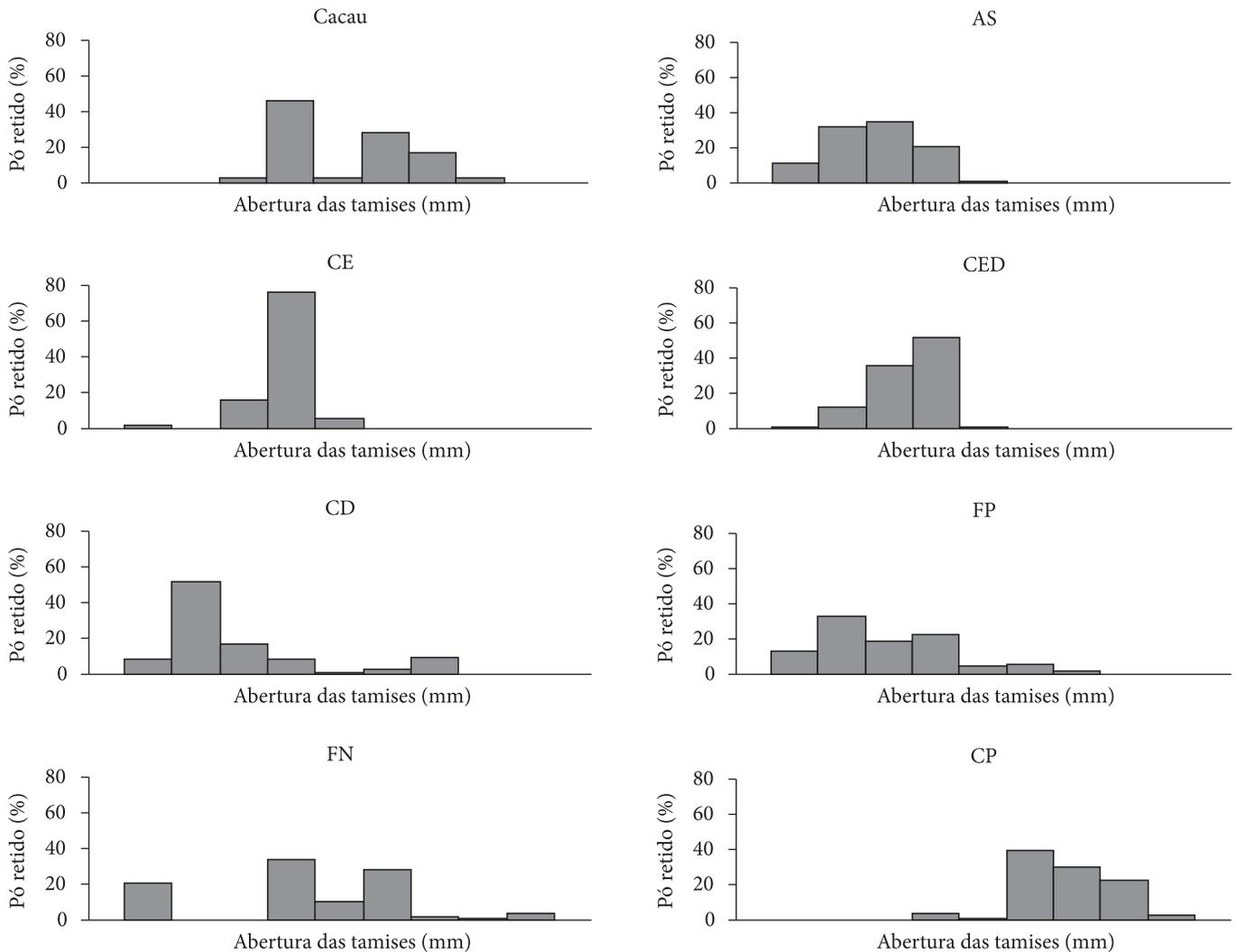
Produto	Distância em compressão		Força em compressão	
	Teste 1		Teste 2	
	Força final $\pm \delta$ (g)	Distância $\pm \delta$ (mm)	Força final $\pm \delta$ (g)	Distância $\pm \delta$ (mm)
Cacau	20049 $\pm$ 02,9	20,41 $\pm$ 0,25 <sup>c</sup>	08437 $\pm$ 0642,3 <sup>abc</sup>	19,59 $\pm$ 0,59
AS	20091 $\pm$ 18,4	10,74 $\pm$ 0,20 <sup>a</sup>	10431 $\pm$ 1253,5 <sup>bc</sup>	10,00 $\pm$ 0,00
CE	20095 $\pm$ 07,1	15,48 $\pm$ 0,41 <sup>c</sup>	10328 $\pm$ 3534,1 <sup>abc</sup>	15,00 $\pm$ 0,00
CD	20058 $\pm$ 17,9	14,14 $\pm$ 0,14 <sup>b</sup>	18685 $\pm$ 2055,8 <sup>d</sup>	15,00 $\pm$ 0,00
CED	20079 $\pm$ 10,6	16,41 $\pm$ 0,47 <sup>c</sup>	07188 $\pm$ 1202,1 <sup>abc</sup>	15,00 $\pm$ 0,00
CP	20038 $\pm$ 04,7	18,55 $\pm$ 1,15 <sup>d</sup>	09657 $\pm$ 1636,8 <sup>abc</sup>	15,00 $\pm$ 0,00
FN	20041 $\pm$ 17,0	17,36 $\pm$ 0,64 <sup>d</sup>	06629 $\pm$ 0334,7 <sup>abc</sup>	15,00 $\pm$ 0,00
FP	20065 $\pm$ 04,3	15,77 $\pm$ 0,15 <sup>c</sup>	10897 $\pm$ 0846,4 <sup>c</sup>	15,00 $\pm$ 0,00

n: 3, Índices diferentes, na mesma coluna, indicam diferença significativa ao nível de 5%, pelo teste de Tukey (LSD).

A compactação pode ser entendida como a compressão de um sistema bifásico, sólido e gás (pó e ar), sob a ação de uma força, que resulta na redução do volume do produto. A determinação da compactação é útil para a avaliação do fluxo, verificação da tendência ao atrito e à aglomeração dos pós. Na indústria, o processo de compactação é utilizado quando se deseja dar forma a pós, como no caso de comprimidos. Sob uma força de compressão, as partículas se rearranjam (aumentando a densidade do pó), se deformam e se fragmentam (EDUARDO; LANNES, 2007; N'DRI-STEMFER et al., 2002).

Porém, essas transformações continuam a acontecer mesmo quando a compactação não é desejada. Cartwright (1981) associou a dispersabilidade de pós com a textura e afirmou que partículas muito finas devem ser evitadas quando se deseja obter um pó com boa instantaneização.

O primeiro teste realizado com os substitutos, distância em compressão, visava a determinação da redução máxima de volume ocupado pela amostra, mas que não ultrapassaria a força de 20000 g. O segundo teste, determinação da força em



**Figura 3.** Histogramas da distribuição granulométrica das amostras AS: Aroma de Chocolate, CE: Aroma Idêntico ao Natural de Cacau (Cocoa Extender), FN: Composto de Cacau (Fibracau Natural), FP: Composto de Cacau (Fibracau Preta), CD: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D), CED: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit ED), CP: Cupuaçu em pó.

é inversamente proporcional, logo, quanto mais compressível for uma amostra menor será a força de compactação. Com base nesses dados, a amostra que se apresentou mais compressível foi a FN, pois mostrou menor força de compactação, e a menos compressível foi a CD. Não houve diferença significativa entre as amostras Cacau, CE, CED, CP e FN.

Eduardo e Lannes (2007) determinaram a força de compactação de achocolatados comerciais, com resultados variando de 532 a 16399 g. A partir desses resultados, os achocolatados foram classificados em muito compactáveis, com força abaixo de 2000 g e pouco compactáveis, com força acima de 2000 g. Tais resultados encontram ainda dependência com as características intrínsecas das partículas, como forma, tamanho e homogeneidade.

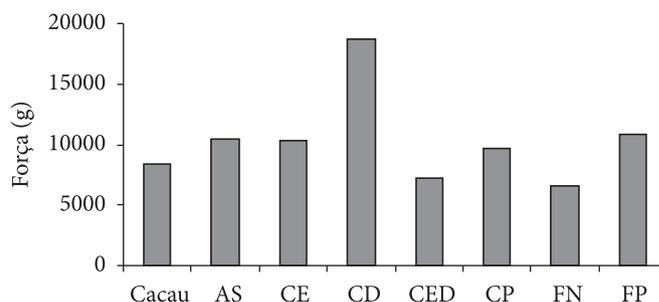
Apesar de se tratar de produtos com características distintas, possuírem outros ingredientes além de cacau em sua formulação e terem passado por algum dos processamentos de produção de achocolatado, pode-se fazer um paralelo dos resultados obtidos com aqueles dos substitutos. Dessa maneira, os substitutos, inclusive o cacau em pó, podem ser classificados de maneira geral como pouco compressíveis. Essa classificação está de acordo com o esperado, uma vez que as partículas dos pós, em sua maioria, apresentam-se visualmente homogêneas e pequenas. Exceto o cupuaçu, que apresentou maior variabilidade de tamanho de partículas.

Todavia, Zahlan et al. (2001) comentam a existência de dois tipos de deformações que podem acontecer em materiais, quando são sujeitos a algum tipo de força: a deformação elástica, quando o material retorna à sua forma original, e a deformação plástica, que é permanente. Em materiais estruturados (como o aço), a deformação plástica não resulta em variação de volume. Já em materiais granulados (como pós), a pressão pode causar mudança permanente de volume.

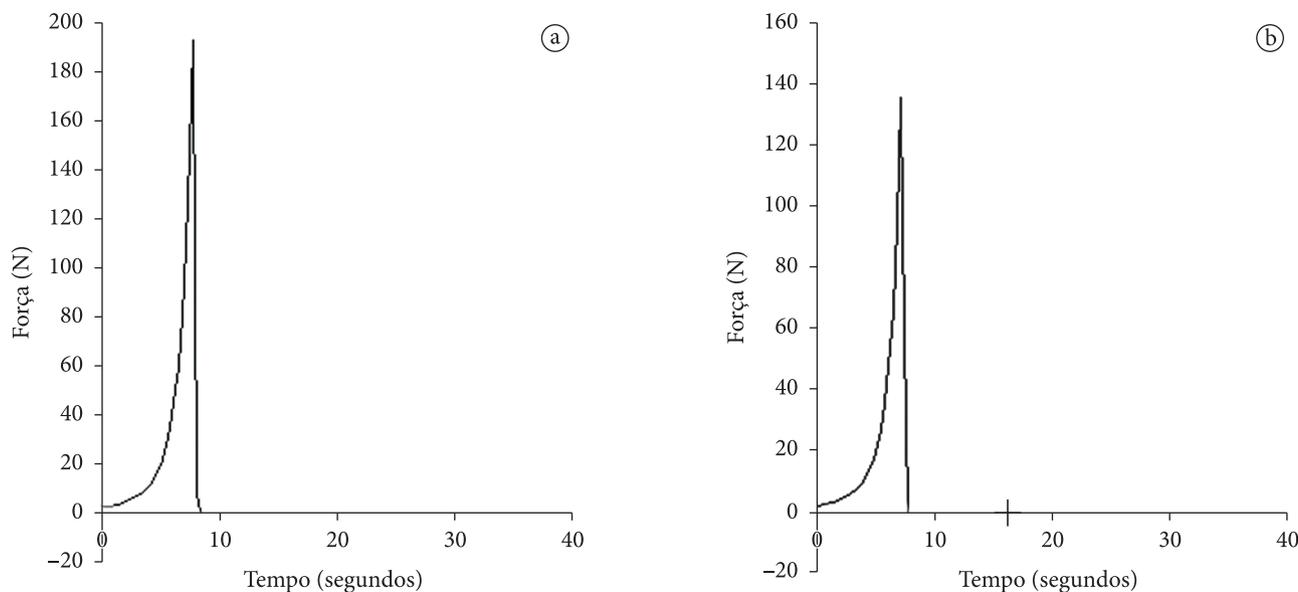
A remoção do ar entre as partículas, causando mudança no volume do pó, pode ser originada ao longo do período de estocagem, do transporte ou mesmo do processamento, se algum tipo de vibração está envolvido.

Produtos em pó contêm em sua formulação grande diversidade de ingredientes com características distintas de partículas, e a redução no volume se dá devido à acomodação das partículas menores entre os espaços deixados pelas maiores (percolação de partículas).

Ao se considerar uma mistura simples de pós, sem nenhum tipo de procedimento de padronização de partículas, a alteração de volume resultante da compactação, que poderá ocorrer, por exemplo, no produto formulado com o cacau em pó, possivelmente será observada nos produtos formulados com os substitutos. Com exceção da farinha de alfarroba (CD), a menos compressível, pois, de acordo com a Figura 5, a força de compactação das outras amostras apresentou perfis semelhantes.



**Figura 5.** Comparação entre as forças de compactação das amostras AS: Aroma de Chocolate, CE: Aroma Idêntico ao Natural de Cacau (Cocoa Extender), FN: Composto de Cacau (Fibracau Natural), FP: Composto de Cacau (Fibracau Preta), CD: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit D), CED: Farinha Tostada de Alfarroba (Carovit ED), CP: Cupuaçu em pó.



**Figura 4.** Curva da determinação da distância em compressão a) e da força em compressão b) da amostra de aroma Cocoa Extender.

## 4 Conclusões

Concluiu-se que os produtos analisados apresentaram diferentes propriedades físicas daquelas do cacau, diferenciando-se na molhabilidade, sendo estas refletidas nas formulações em que serão aplicados e no melhor tipo de embalagem a ser utilizada. Produtos como 'achocolatados', formulados com os substitutos de cacau, deverão ser acondicionados em embalagens com maior barreira ao vapor d'água, contudo apresentarão comportamento semelhante ao de cacau.

## Referências bibliográficas

- AGUILERA, J. M.; VALLE, J. M.; KAREL, M. Caking phenomena in amorphous food powders. **Trends in Food Science and Technology**, v. 6, n. 5, p. 149-155, 1995.
- AGUIRRE, J. M.; GASPARINO FILHO, J. **Desidratação de frutas e hortaliças**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 2002. 205 p.
- AI-MUHTASEB, A. H.; McMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Water sorption isotherms of starch powders. Part 1: Mathematical description of experimental data. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 297-307, 2004.
- BART-PLANGE, A.; BARYEH, E. A. The physical properties of Category B cocoa beans. **Journal of Food Engineering**, v. 60, n. 3, p. 219-227, 2003.
- BECKETT, S. T. **The science of chocolate**. 2. ed. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2000. 175 p. (RSC paperbacks).
- BELITZ, H. D.; GROSCH, W. **Food chemistry**. 2 ed. Berlin: Springer Verlag, 1999. p. 702-711.
- BHANDARI, B. R. et al. Co-crystallization of honey with sucrose. **Lebensmittel Wissenschaft-Und-Technologie**, v. 31, n. 2, p. 198-142, 1998.
- BONVEHÍ, J. S.; COLL, F. V. Evaluation of purine alkaloids and diketopiperazines contents in processed cocoa powder. **European Food Research Technology**, v. 210, n. 3, p. 189-195, 2000.
- BRAND, E. Carob. **Nutrition & Food Science**, v. 91, n. 6, p. 22-23, 1984.
- CAROBHOUSE. Disponível em: <<http://www.carobhouse.com/index1.html>>. Acesso em: 30 jun. 2008.
- CARTWRIGHT, B. Spraying provides instant solutions. **Food Flavourings, Ingredients, Packaging & Processing**, v. 3, n. 8, p. 29-33, 1981.
- CHEN, Q. et al. Simultaneous determination of caffeine, theobromine and theophylline in foods and pharmaceutical preparations by using ion chromatography. **Analytica Chimica Acta**, v. 371, n. 2/3, p. 287-296, 1998.
- CORNILON, P.; SALIM, L. C. Characterization of water mobility and distribution in low- and intermediate-moisture food systems. **Magnetic Resonance Imaging**, v. 18, n. 3, p. 335-341, 2000.
- DUTCOSKY, S. D. **Aditivos associados às características sensoriais**. Disponível em: <<http://www.pucpr.br/educacao/academico/graduacao/cursos/ealimentos/ppt/aditivosensorial.ppt>>. Acesso em: 30 jan. 2007.
- EDUARDO, M. F. **Avaliação reológica e físico-química de achocolatados e bebidas achocolatadas**. São Paulo, 2005. 108 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
- EDUARDO, M. F.; LANNES, S. C. S. Use of texture analysis to determine compaction force of powders. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 568-572, 2007.
- ETENG, M. U. et al. Recent advances in caffeine and theobromine toxicities: a review. **Plant Foods for Human Nutrition**, v. 51, n. 3, p. 231-243, 1997.
- FITZPATRICK, J. J. Effect of powder properties and storage conditions on the flowability of milk powders with different fat contents. **Journal of Food Engineering**, v. 64, n. 4, p. 435-444, 2004.
- GRAB, W.; BRUGGER, W.; TAYLOR, D. Cocoa substitution. In: CHRALAMBOUS, G.; INGLET, G. E. **Flavor of Foods and Beverages: Chemistry and Technology**. New York: Academic Press, 1978. p. 81-90. (Symposium on Flavours of Foods and Beverages, Athens, 1977).
- GROSSO, L. M.; BRACKEN, M. B. Caffeine metabolism, genetics, and perinatal outcomes: a review of exposure assessment considerations during pregnancy. **Annals of Epidemiology**, v. 15, n. 6, p. 460-466, 2005.
- HANCOCK, B. L. Producción y transporte del haba de cacao. In: BECKETT, S. T. (Ed.). **Fabricación y utilización industrial del chocolate**. Zaragoza: Acribia, 1994. p. 9-32.
- HLA, P. K.; HOGEKAMP, S. Wetting behavior of instantized cocoa beverage powders. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 34, n. 4, p. 335-342, 1999.
- INTERNATIONAL COCOA ORGANIZATION. Disponível em: <<http://www.icco.org>>. Acesso em: 10 jun. 2008.
- KONSTANCE, R. P.; ONWULATA, C. I.; HOLSINGER, V. H. Flow properties of spray-dried encapsulated butteroil. **Journal of Food Science**, v. 60, n. 4, p. 841-844, 1995.
- KUMAZAWA, S. et al. Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 50, n. 2, p. 373-377, 2002.
- LANNES, S. C. S. **Tamises: física industrial**. São Paulo, 2005. (Apostila).
- LANNES, S. C. S.; MEDEIROS, M. L. Processamento de achocolatado de cupuaçu por *spray-dryer*. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 1, p. 115-123, 2003.
- LEWICKI, P. P. Water sorption isotherms and their estimation in food model mechanical mixtures. **Journal of Food Engineering**, v. 32, n. 1, p. 47-68, 1997.
- MATHLOUTHI, M.; ROGÉ, B. Water vapour sorption isotherms and the caking of food powders. **Food Chemistry**, v. 82, n. 1, p. 61-71, 2003.
- MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. Avaliação química de substitutos de cacau e estudo sensorial de achocolatados formulados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 247-253, 2009.
- MEDEIROS, M. L. et al. Cálculo de vida-de-prateleira de derivados em pó de cupuaçu e de cacau. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 40, supl. 1, p. 149-151, 2004.
- MEDEIROS, M. L. et al. Sorption isotherms of cocoa and cupuaçu products. **Journal of Food Engineering**, v. 73, n. 4, p. 402-406, 2006.
- MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. Avaliação sensorial de *achocolatados* de cupuaçu normal e dietético processados por *spray dryer*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 17., 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBCTA, 2002. p. 1427-1430.

- MEDEIROS, M. L.; LANNES, S. C. S. Torta de cupuaçu: composição e utilização. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 35, supl. 1, p. 118, 1999.
- N'DRI-STEMPFFER, B. et al. The incidence of pressure on the colour of compacted powders. **Powder Technology**, v. 128, n. 2-3, p. 320-325, 2002.
- NAZARÉ, R. F. R. **Produtos agroindustriais de bacuri, cupuaçu, graviola e açaí, desenvolvidos pela Embrapa Amazônia Oriental**. Belém: EMBRAPA Amazônia Oriental, 2000. 27 p.
- OWEN, R. W. Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre. **Food and Chemical Toxicology**, v. 41, n. 12, p. 1727-1738, 2003.
- PITOMBO, R. N. M. Effect of moisture content on the invertase activity of freeze-dried *S.cerevisiae*. **Cryobiology**, v. 31, n. 4, p. 383-392, 1994.
- QUEIROZ, M. B.; GARCIA, N. H. P. Avaliação da torração de amêndoas de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 2, n. 1/2, p. 167-173, 1999.
- REDGWELL, R. et al. Dietary fibre in cocoa shell: characterization of component polysaccharides. **Food Chemistry**, v. 81, n. 1, p. 103-112, 2003.
- REISDORFF, C. et al. Comparative study on the proteolytic activities and storage globulins in seeds of *Theobroma grandiflorum* (Willd ex Spreng) Schum and *Theobroma bicolor* Humb Bonpl, in relation to their potential to generate chocolate-like aroma. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 84, n. 7, p. 693-700, 2004.
- SATURATED SALT SOLUTIONS. Disponível em: <[http://faculty.che.umn.edu/fscn/Ted\\_Labuza/awimages/Salt%20solutions%20FOR%20Isotherm.pdf](http://faculty.che.umn.edu/fscn/Ted_Labuza/awimages/Salt%20solutions%20FOR%20Isotherm.pdf)>. Acesso em: 01 jun. 2008
- SHITTU, T. A.; LAWAL, M. O. Factors affecting instant properties of powdered cocoa beverages. **Food Chemistry**, v. 100, n. 1, p. 91-98, 2007.
- TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J. J. Effect of relative humidity and temperature on food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, v. 42, n. 2, p. 109-116, 1999.
- TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J. J. Effect of storage time and consolidation on food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, v. 43, n. 2, p. 97-101, 2000.
- TEUNOU, E.; FITZPATRICK, J. J.; SYNNOT, E. C. Characterization of food powder flowability. **Journal of Food Engineering**, v. 39, n. 1, p. 31-37, 1999.
- TIMMS, R. E.; STEWART, I. M. Cocoa butter, a unique vegetable fat. **Lipid Technology Newsletter**, v. 5, n. 5, p. 101-107, 1999.
- VU, T. O. Improving the dispersion kinetics of a cacao powder by size enlargement. **Powder Technology**, v. 130, n. 1/3, p. 400-406, 2003.
- YANG, H. et al. New bioactive polyphenols from *Theobroma grandiflorum* ("Cupuaçu"). **Journal of Natural Products**, v. 66, n. 11, p. 1501-1504, 2003.
- YOUSIF, A. K.; ALGHZAWI, H. M. Processing and characterization of carob powder. **Food Chemistry**, v. 69, n. 3, p. 283-287, 2000.
- ZAHLAN, N. et al. Modelling powder compaction and pressure cycling. **Powder Technology**, v. 114, n. 1/3, p. 112-117, 2001.