

**KELLY TAFARI CATELAM**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PROPORÇÃO DE UM  
“MIX” LEITE/POLPA DE MARACUJÁ NA PRODUÇÃO  
DE PÓ OBTIDO POR TRÊS DIFERENTES MÉTODOS DE  
SECAGEM**

**São José do Rio Preto – SP**

**2010**

**KELLY TAFARI CATELAM**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PROPORÇÃO DE UM  
“MIX” LEITE/POLPA DE MARACUJÁ NA PRODUÇÃO  
DE PÓ OBTIDO POR TRÊS DIFERENTES MÉTODOS DE  
SECAGEM**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências,  
Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual  
Paulista Júlio de Mesquita Filho, campus de São José do  
Rio Preto, para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia e Ciência de Alimentos, área de  
concentração Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Javier Telis Romero

Co-Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Sílvia Fávaro Trindade

**São José do Rio Preto – SP**

**2010**

Catelam, Kelly Tafari.

Estudo da influência da proporção de um “mix” leite/polpa de maracujá na produção de pó obtido por três diferentes métodos de secagem / Kelly Tafari Catelam. - São José do Rio Preto : [s.n.], 2010.

119 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Javier Telis Romero

Co-orientador: Carmen Sílvia Fávaro-Trindade

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas

1. Tecnologia de alimentos. 2. Polpa de frutas – Secagem. 3. Polpa de maracujá – Desidratação. 4. Leite – Desidratação. 5. Secagem em spray. 6. Liofilizador. 7. Secador de leite pulso-fluidizado. Telis Romero, Javier. II. Fávaro-Trindade, Carmen Sílvia. III. Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas. IV. Título.

CDU – 66.047

**KELLY TAFARI CATELAM**

**ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA PROPORÇÃO DE UM “MIX” LEITE/POLPA  
DE MARACUJÁ NA PRODUÇÃO DE PÓ OBTIDO POR TRÊS DIFERENTES  
MÉTODOS DE SECAGEM**

Dissertação apresentada ao Instituto de Biociências,  
Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual  
Paulista Júlio de Mesquita Filho, campus de São José do  
Rio Preto, para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia e Ciência de Alimentos, área de  
concentração Engenharia de Alimentos.

**COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof. Dr. Javier Telis Romero (Orientador)

---

Prof. Dr. João Borges Laurindo

---

Prof<sup>a</sup>.Dr<sup>a</sup>. Célia Maria Landi Franco

---

Prof<sup>a</sup>.Dr<sup>a</sup>. Miriam Dupas Hubinger

---

Prof. Dr. Renato Alexandre Ferreira Cabral

São José do Rio Preto, 12 de março de 2010

## **AGRADECIMENTOS**

A DEUS em primeiro lugar, sem Ele nada disto seria possível. Nos momentos de angústia e desânimo, Ele me deu força e coragem para continuar.

À Santa Rita de Cássia, aquela a quem sempre recorro nos momentos difíceis e a quem procuro agradecer sempre!

À minha família, minha mãe Regina, meu pai José Luis, meu irmão Tiago, minhas avós, tia Maria Helena, tios, tias e priminhas, que muitas vezes mesmo sem entender o motivo de tanto estudo, sempre me apoiaram, incentivaram e torceram!

Ao meu marido Henrique, pelo apoio e paciência e a sua família pela torcida durante estes dois anos.

A minha avó Maria Lúcia, meu anjo sempre presente, orando por mim, torcendo, apoiando e dando sábios conselhos!

Ao meu orientador Prof. Dr. Javier Telis Romero por todos os ensinamentos, conselhos, sugestões durante o projeto e amizade!

À minha co-orientadora, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Carmen Sílvia Fávaro Trindade por ter me recebido com tanto carinho e atenção em seu laboratório na USP de Pirassununga (FZEA-USP), por todas as dicas, pela ajuda inestimável com os experimentos lá realizados, com a dissertação e pela amizade.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vânia Regina Nicoletti Telis pelas importantes sugestões dadas durante o trabalho.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria Aparecida Mauro pela amizade, pelo uso do colorímetro nas análises e pela eterna disposição em nos ajudar sempre!

Aos membros da banca de Mestrado: Prof. Dr. Javier Telis Romero, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Célia Maria Landi Franco, Prof. Dr. João Borges Laurindo, Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Miriam Dupas Hubinger e ao Prof. Dr. Renato Alexandre Ferreira Cabral.

Aos membros da banca de qualificação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Célia Maria Landi Franco e Prof. Dr. Renato Alexandre Ferreira Cabral pelas preciosas sugestões para o projeto.

Aos meus queridos amigos e amigas de laboratório e pós-graduação: Lina, Harvey, Patrícia Damy, Ana Paula, Paulo, Alex, Keila e Crislene, pelos bons momentos passados juntos e pela ajuda que cada um deu a este trabalho.

Em especial a minha querida amiga Maria Angélica Marques Pedro, por ter tido tanta paciência em me ensinar a trabalhar nos secadores, especialmente no pulso-fluidizado. Sempre disposta a ajudar a todos! Obrigada!

À aluna de Iniciação Científica Daniele Rosa.

À amiga Bióloga Lilian Franco Belussi, por todos os almoços juntas durante a pós-graduação, pelas tantas formatações que fez em meu notebook, pelos momentos de descontração, e principalmente pela eterna amizade!

Às amigas engenheiras Elen Frascareli e Karen Cabello que mesmo de longe, sempre estiveram presentes durante estes anos.

Aos técnicos do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, em especial Newton e Ginaldo, e a secretária Sueli.

Ao técnico do laboratório de Produtos Funcionais da FZEA/USP Marcelo Tomazzini pela ajuda com o spray dryer.

Aos amigos que fiz em Pirassununga que me ajudaram de algum modo e mesmo àqueles que contribuíram simplesmente com a amizade!

A minha amiga Elizângela e sua família, por terem me recebido tão carinhosamente durante todo o período que passei em Pirassununga para realização dos testes.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de Mestrado.

*É na experiência da vida que o homem evolui (Harvey Spencer Lewis)*

## RESUMO

Este projeto teve como objetivo estudar a influência de diferentes processos de desidratação (secagem em leito pulso-fluidizado, atomizador – “spray dryer” e em liofilizador) de polpa de maracujá na qualidade do produto final em pó. Todos estes processos visam à obtenção do produto em pó, apresentando vantagens e desvantagens em nível de manuseio e custos. Entretanto, são escassos na literatura estudos que comparem estes processos com foco na qualidade do produto final. O leite desnatado foi utilizado para avaliar sua eficiência na substituição de parte dos aditivos comumente utilizados na produção deste tipo de produto, como, por exemplo, a maltodextrina e a goma Arábica, os quais têm como função a diminuição das dificuldades tecnológicas encontradas na secagem de sucos de frutas e outros produtos com alta quantidade de açúcar devido à higroscopicidade, termoplasticidade e capacidade de caramelização. Inicialmente, realizaram-se as análises físico-químicas da polpa de maracujá e do leite desnatado, onde foram obtidos resultados muito próximos aos da literatura, sendo que as pequenas diferenças obtidas foram atribuídas à variedade do maracujá utilizado, época e local de cultivo e no caso do leite em pó desnatado, devido provavelmente às diferentes marcas comerciais analisadas na literatura. A secagem da polpa de maracujá sem aditivos, em diversas condições operacionais, levou a um rendimento praticamente nulo, fazendo com que o processo fosse considerado inviável nestas condições. Conseguiu-se obter o pó com a polpa de maracujá e os aditivos no secador por atomização (“spray dryer”). Utilizando a maltodextrina como aditivo, o maior rendimento (23.32%) obtido foi para a proporção de 1:4:4 (polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado) ou seja, 50% dos sólidos de aditivo substituído por leite desnatado. Já para a goma Arábica, os melhores resultados (21.96%) foram obtidos para a proporção de 1:2:6 (polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado), com 75% dos sólidos do aditivo substituído por leite desnatado. A total substituição dos aditivos (maltodextrina ou goma Arábica) pelo leite levou à obtenção de um rendimento menor, mas ainda satisfatório, 15,5%. Estes melhores rendimentos foram obtidos a 120°C com vazão de alimentação de 0.4 litros/hora, considerando uma proporção de polpa:aditivos de 1:8, variando entre os aditivos, a proporção de maltodextrina, goma Arábica e leite desnatado. No liofilizador, conseguiu-se obter o pó, exceto para a polpa de maracujá sem aditivos. Já no secador pulso-fluidizado alguns problemas do equipamento dificultaram a obtenção do pó, conseguindo-se obter os parâmetros de secagem no secador para as amostras de polpa de maracujá com aditivos, porém, não sendo possível obter uma quantidade significativa de pó para avaliação do rendimento e melhores proporções dos componentes e também para realização dos ensaios de avaliação da qualidade e construção das isotermas de sorção para o pó. As isotermas das amostras obtidas em “spray” e no liofilizador apresentaram-se do tipo III, com pouca variação entre as umidades de equilíbrio das amostras obtidas nos dois equipamentos e com diminuição da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura, para todas as amostras testadas. As análises de qualidade (molhabilidade, dispersibilidade, grau de aglomeração, higroscopicidade, determinação da cor e umidade) apresentaram alguns resultados próximos à literatura, porém outros bastante diferentes, devido provavelmente ao maior teor de aditivos utilizado e a presença do leite desnatado na mistura.

**Palavras-chave:** secagem, polpa de maracujá, aditivos, leite desnatado, “spray dryer”, liofilizador, secador pulso-fluidizado.



## ABSTRACT

The aim of this research was to study the influence of different drying methods (pulsed fluid bed dryer, spray dryer and freeze dryer) of passion fruit pulp in the quality of final powder product. All these processes have the purpose to obtain a powder product, showing advantages and disadvantages in terms of handmade and costs. Nonetheless, the literature has a few studies related to comparison between these processes, focusing final product quality. Skim milk was utilized to evaluate its efficiency on partial substitution of additives commonly used in this kind of processes like maltodextrin and Arabic gum, which have the function of minimizing technologies difficulties in drying fruit juices and other products with high quantity of sugar due to hygroscopicity and termoplasticity in high temperatures and humidity. Initially, physicochemical analysis of passion fruit pulp and skim milk showed values close to those described by literature, with little differences due to passion fruit varieties used, time and place of culture. For skim milk the differences can be explain due to existence of a lot of commercial marks. Drying of passion fruit pulp without additives in many operations conditions had a small yield, becoming process impracticable in these conditions. It was obtained powdered passion fruit and additives in spray dryer. Using maltodextrin the greater yield (23.32%) was obtained for 1:4:4 ratio (passion fruit pulp:maltodextrin:skim milk) that is 50% of solids from additives substituted by skim milk. To Arabic gum the best results (21.96%) was obtained to 1:2:6 (passion fruit pulp:Arabic gum:skim milk) with 75% of solids from additives substituted by skim milk. The total substitution of additives (maltodextrin or Arabic gum) by skim milk also showed good results (15.5%). These better yield were obtained in 120°C and feed flow 0.4 l/h considering ratio of pulp:additives 1:8 varying maltodextrin, Arabic gum and skim milk. Freeze-dried powder was obtained except for pure passion fruit pulp. In pulsed fluid bed dryer some problems in the equipment made difficult powder production, but parameters of drying were obtained for passion fruit pulp with additives samples. However it was not possible to obtain a significant quantity for study yield and for other experiments like quality evaluation and construction of isotherms for powders. The isotherms for samples obtained in spray dryer and freeze dryer were type III with little variation in relation to equilibrium humidity between samples obtained in these equipments; for all samples it was also observed reduction of equilibrium humidity with temperature increase. Quality analyses (wettability, dispersibility, hygroscopicity, degree of caking, color and humidity), showed some results near to those reported in literature, however others were very different probably due to higher additives quantities used and the presence of skim milk in the mixture.

**Keywords:** drying, passion fruit pulp, additives, skim milk, spray dryer, freeze dryer, pulsed fluid bed dryer

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1 -</b>	Região de isotermas de sorção para produtos alimentícios (HELDMAN; LUND, 1992).....	18
<b>Figura 2 -</b>	(A) Secador mini “spray dryer” utilizado na secagem das amostras. (B) Painel de controle de temperatura e vazão do produto. (C) Alimentação sendo bombeada para o secador.....	31
<b>Figura 3 -</b>	Secador fluidizado do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (IBILCE/UNESP).....	36
<b>Figura 4 -</b>	Painel de controle do secador fluidizado.....	36
<b>Figura 5 -</b>	Foto do ciclone com o recipiente de recolhimento do pó do secador fluidizado.	37
<b>Figura 6 -</b>	Esferas de teflon usadas no secador fluidizado.....	37
<b>Figura 7 -</b>	Vista frontal da câmara de secagem com tubo injetor da alimentação.....	38
<b>Figura 8 -</b>	Vista lateral da câmara de secagem com orifício de injeção de alimentação.....	38
<b>Figura 9 -</b>	Placa perfurada de nylon.....	38
<b>Figura 10 -</b>	Válvula borboleta aberta (90°) responsável pelo sistema de pulsação.....	38
<b>Figura 11 -</b>	Liofilizador utilizado nos ensaios de secagem de PML e PGL.....	42
<b>Figura 12 -</b>	Amostras obtidas em “spray dryer” em alguns dos ensaios realizados (testes 7, 8, 9 e 12).....	52
<b>Figura 13 -</b>	Amostras após desidratação no liofilizador a -29°C.....	58
<b>Figura 14 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 20, 30, 40 e 50°C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	71
<b>Figura 15 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 20, 30, 40 e 50°C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	72
<b>Figura 16 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML liofilizadas a 20, 30, 40 e 50°C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	72
<b>Figura 17 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL liofilizadas a 20, 30, 40 e 50°C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	73
<b>Figura 18 -</b>	Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PML a 20 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	73

<b>Figura 19 -</b>	Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PML a 30 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	74
<b>Figura 20 -</b>	Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PML a 40 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	74
<b>Figura 21 -</b>	Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PML a 50 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	75
<b>Figura 22 -</b>	Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PGL a 20 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	75
<b>Figura 23 -</b>	Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PGL a 30 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	76
<b>Figura 24 -</b>	Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PGL a 40 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	76
<b>Figura 25 -</b>	Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PGL a 50 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.....	77
<b>Figura 26 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 20°C obtidas por “spray dryer”.....	77
<b>Figura 27 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 30°C obtidas por “spray dryer”.....	78
<b>Figura 28 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 40°C obtidas por “spray dryer”.....	78
<b>Figura 29 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 50°C obtidas por “spray dryer”.....	79
<b>Figura 30 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 20°C obtidas por liofilizador.....	79
<b>Figura 31 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 30°C obtidas por liofilizador.....	80
<b>Figura 32 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 40°C obtidas por liofilizador.....	80
<b>Figura 33 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 50°C obtidas por liofilizador.....	81
<b>Figura 34 -</b>	Fotografias das amostras de PML e PGL em pó obtidas por “spray dryer” e liofilizador após atingido o equilíbrio a 40°C em diferentes soluções saturadas.	82
<b>Figura A1 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 20°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	104
<b>Figura A2 -</b>	Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 30°C ajustadas de acordo com os modelos de	

	Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	105
<b>Figura A3 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 40°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	106
<b>Figura A4 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 50°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	107
<b>Figura A5 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 20°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	108
<b>Figura A6 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 30°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	109
<b>Figura A7 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 40°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	110
<b>Figura A8 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 50°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	111
<b>Figura A9 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PML obtidas por liofilizador a 20°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	112
<b>Figura A10 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PML obtidas por liofilizador a 30°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	113
<b>Figura A11 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PML obtidas por liofilizador a 40°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	114
<b>Figura A12 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PML obtidas por liofilizador a 50°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	115
<b>Figura A13 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PGL obtidas por liofilizador a 20°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	116
<b>Figura A14 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PGL obtidas por liofilizador a 30°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	117
<b>Figura A15 -</b>	Umidade de equilíbrio (Xeq) versus atividade de água (aw) das amostras PGL obtidas por liofilizador a 40°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.....	118

**Figura A16 -** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por liofilizador a 50°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg..... 119

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1 -</b>	Valores das propriedades responsáveis pela qualidade da polpa de manga em pó obtidas por Jaya e Das (2004).....	24
<b>Tabela 2 -</b>	Ensaio de secagem no “spray dryer” das amostras de polpa de maracujá, variando o uso e a proporção dos três aditivos (maltodextrina, goma Arábica e leite desnatado).....	33
<b>Tabela 3 -</b>	Ensaio para análise da influência do modo e período de injeção da polpa de maracujá e maltodextrina (3:7).....	39
<b>Tabela 4 -</b>	Ensaio para avaliação do rendimento do pó produzido em função da concentração de maltodextrina, da temperatura de secagem e da vazão da amostra.....	40
<b>Tabela 5 -</b>	Ensaio realizado no secador pulso fluidizado para as amostras de polpa de maracujá: maltodextrina: leite desnatado (PML), com 70% dos sólidos sendo proveniente dos aditivos maltodextrina e leite desnatado.....	41
<b>Tabela 6 -</b>	Ensaio no secador pulso-fuidizado para avaliação do rendimento das amostras de polpa:maltodextrina:leite e polpa:goma Arábica:leite a 70°C com 30 minutos de secagem.....	42
<b>Tabela 7 -</b>	Atividades de água ( $a_w$ ) das soluções saturadas utilizadas para construção das isotermas de sorção dos pós obtidos (RAHMAN, 1995).....	44
<b>Tabela 8 -</b>	Análises físico-químicas realizadas para a polpa de maracujá.....	48
<b>Tabela 9 -</b>	Análises físico-químicas realizadas para o leite desnatado UHT.....	49
<b>Tabela 10 -</b>	Massas de pó obtidas nos testes preliminares de secagem e seus respectivos rendimentos.....	51
<b>Tabela 11 -</b>	Massas de pó obtidas nos testes preliminares de secagem e seus respectivos rendimentos.....	54
<b>Tabela 12 -</b>	Rendimento do pó produzido em função da concentração de maltodextrina adicionada, da temperatura de secagem e da vazão da polpa.....	56
<b>Tabela 13 -</b>	Rendimento e massa de pó obtida no secador pulso fluidizado para as amostras de polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado (PML), com 70% dos sólidos sendo proveniente dos aditivos maltodextrina e leite desnatado.....	56
<b>Tabela 14 -</b>	Rendimento do pó no secador pulso-fuidizado para avaliação do rendimento das amostras de polpa:maltodextrina:leite e polpa:goma Arábica:leite a 70 °C com 30 minutos de secagem.....	57

<b>Tabela 15</b> -	Atividades de água ( $a_w$ ) e dados experimentais de umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) para as amostras em pó obtidas da secagem em “spray dryer” de polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado (PML) e polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado (PGL).....	60
<b>Tabela 16</b> -	Parâmetros estimados pelos modelos de ajuste de isoterms a diferentes temperaturas para a PML em pó obtida por “spray dryer”.....	61
<b>Tabela 17</b> -	Parâmetros estimados pelos modelos de ajuste de isoterms a diferentes temperaturas para a PGL em pó obtida por “spray dryer”.....	62
<b>Tabela 18</b> -	Atividades de água ( $a_w$ ) e dados experimentais de umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) para as amostras em pó obtidas da secagem em liofilizador de polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado (PML) e polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado (PGL).....	63
<b>Tabela 19</b> -	Parâmetros estimados pelos modelos de ajuste de isoterms a diferentes temperaturas para a PML em pó obtida por liofilizador.....	64
<b>Tabela 20</b> -	Parâmetros estimados pelos modelos de ajuste de isoterms a diferentes temperaturas. para a PGL em pó obtida por liofilizador.....	65
<b>Tabela 21</b> -	Valores de umidade final (X), higroscopicidade (Hg), grau de aglomeração (Ag), dispersibilidade (Ds) e molhabilidade (Mo) do pó de maracujá obtido no “spray dryer” com maltodextrina/leite desnatado e goma Arábica/leite desnatado.....	83
<b>Tabela 22</b> -	Valores de umidade final (X), higroscopicidade (Hg), grau de aglomeração (Ag), dispersibilidade (Ds) e molhabilidade (Mo) do pó de maracujá obtido no liofilizador com maltodextrina/leite desnatado e goma Arábica/leite desnatado.	83
<b>Tabela 23</b> -	Resultados da colorimetria das amostras PML e PGL em pó obtidas no “spray dryer”.....	86
<b>Tabela 24</b> -	Resultados da colorimetria das amostras PML e PGL em pó obtidas no liofilizador.....	86

## NOMENCLATURA

A,B - constantes dos modelos de Henderson, Oswin, Lewicki (dois parâmetros)

$a_w$  - atividade de água

Ag – grau de aglomeração, (%)

a - quantidade de amostra total utilizada no experimento, [M]

b - aumento de massa dos pós, [M]

C, K,  $X_m$  - constantes do modelo de GAB

$\text{Chi}^2$  – qui-quadrado

F, G, H - constantes da equação de Lewicki três parâmetros

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio;

Hg – higroscopicidade, (%)

$K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$  e  $n_2$  - constantes do modelo de Peleg

$L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  - parâmetros da análise colorimétrica

M = molaridade da solução de hidróxido de sódio, [mol/L<sup>3</sup>]

$m_a$  = massa da amostra, [M]

$m_{\text{ácido péctico}}$  = massa de ácido péctico obtida, [M]

$m_{\text{água}}$  = massa de água da amostra, [M]

$m_{\text{amostra}}$  = massa de amostra úmida, [M]

$m_{\text{amostraseca}}$  = massa de amostra seca, [M]

$m_{\text{cinzas}}$  = massa de cinzas da amostra após incineração, [M]

$m_{\text{fibra}}$  = massa de fibra, [M]

$m_{\text{gordura}}$  = resíduo obtido no béquer após estufa, [M]

$M_F$  - massa de amostra fina que atravessa a peneira, [M]

Mo – molhabilidade, [T]

$M_T$  - massa total de amostra, [M]

$m_p$  - massa de pó produzido, [M]

$m_{st}$  – massa de matéria seca, [M]

P = massa da amostra em g ou volume pipetado em ml, [M] ou [L<sup>3</sup>]

PAP = polpa de abacaxi em pó pura

PAM = polpa de abacaxi em pó com 18% de maltodextrina

PAGA = polpa de abacaxi em pó com 18% de goma Arábica

PGL = mistura de polpa de maracujá:goma Arábica: leite desnatado



PGA18 = mistura em pó de polpa de maracujá e goma Arábica com 18% de goma Arábica

PMD18 = mistura em pó de polpa de maracujá e maltodextrina com 18% de maltodextrina 10DE

PMD55 = mistura em pó de polpa de maracujá e maltodextrina com 55% de maltodextrina 10DE

PML = mistura de polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado

PP = polpa de maracujá em pó pura

R - constante dos gases, (8,314 kJ / kmol K),  $[L^2 \cdot T^{-2} \cdot \theta^{-1}]$

$R^2$  - coeficiente de determinação do ajuste

$S_j$  - porcentagem de matéria seca presente no suco reconstituído (%);

$S_p$  - porcentagem de sólidos totais presentes no pó (%);

T - temperatura absoluta,  $[\theta]$

t - tempo, [T]

$T_p$  - temperatura do produto,  $[\theta]$

URE = umidade relativa do ar (%)

V = volume  $[L^3]$

W - peso da água utilizada no experimento, [M]

$W_i$  - umidade presente no pó antes da realização do experimento (% b.u.)

X - umidade da amostra, adimensional

$X_{eq}$  - umidade de equilíbrio, adimensional

$X_m$  - teor de umidade na monocamada

$\alpha, \gamma, r$  - constantes do modelo de Ferro-Fontan

### **Sub – índices**

eq – equilíbrio

g – transição vítrea

m - monocamada molecular

p - produto

w - água

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>3</b>
2.1. Geral.....	3
2.2. Específicos.....	3
<b>3. REVISAO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>5</b>
3.1 Produtos em Pó.....	5
3.2 Maracujá.....	5
3.3 Leite.....	6
3.4 Aditivos na Secagem de Polpa de Frutas.....	7
3.4.1 Maltodextrina.....	7
3.4.2 Goma Arábica.....	8
3.5 Secagem.....	9
3.6 Secador por Atomização (“Spray Dryer”).....	10
3.7 Secador de Leito Fluidizado.....	11
3.8 Liofilizador.....	15
3.9. Isotermas de Sorção.....	16
3.10. Modelagem Matemática.....	20
3.11. Atributos de Qualidade de Produtos Alimentícios em Pó.....	21
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>26</b>
4.1. Material.....	26
4.2. Preparo da Polpa de Maracujá e das Amostras para Secagem.....	26
4.3. Análises Físico-Químicas.....	27
4.4. Ensaio no Secador “Spray Dryer”.....	30
4.5. Ensaio no secador Pulso-Fluidizado.....	33
4.5.1. Partes do secador e seu funcionamento.....	34
4.5.2. Ensaio preliminar com solução de polpa de maracujá:maltodextrina (3:7).....	38

4.5.3. Ensaio com solução de polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado (PML).....	41
4.5.4. Ensaio realizado no pulso-fluidizado com as melhores proporções encontradas no “spray dryer”.....	41
4.6. Ensaio no Liofilizador.....	42
4.7. Isotermas de Sorção.....	43
4.8. Avaliação da Qualidade do Produto Final em Pó.....	44
4.8.1 Molhabilidade.....	45
4.8.2 Dispersibilidade.....	45
4.8.3 Higroscopicidade.....	45
4.8.4 Grau de Aglomeração.....	46
4.8.5 Determinação da Cor.....	46
4.8.6 Umidade.....	47
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>48</b>
5.1. Análises Físico-Químicas.....	48
5.2. Ensaio no Secador “Spray Dryer”.....	49
5.3. Ensaio no Secador Pulso-Fluidizado.....	52
5.3.1. Ensaio preliminar com solução de polpa de maracujá:maltodextrina (3:7).....	53
5.3.2. Ensaio realizado no pulso-fluidizado com as melhores proporções encontradas no “spray dryer”.....	57
5.4. Ensaio no Liofilizador.....	57
5.5. Comparação entre os Três Secadores com Relação à Produção do Produto Final..	58
5.6. Isotermas de Sorção.....	59
5.7. Determinação dos Parâmetros de Qualidade do Produto Final em Pó.....	81
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>88</b>
<b>7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>89</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>90</b>

<b>9. ANEXO A.....</b>	<b>103</b>
------------------------	------------

## 1. INTRODUÇÃO

A conservação dos alimentos é de grande importância para indústrias alimentícias. Com o intuito de aumentar a vida útil dos produtos, desenvolvem-se novas técnicas para a conservação de alimentos e aprimoram-se as existentes. Tais técnicas asseguram o atendimento ao mercado consumidor durante todo o ano, mesmo em períodos de entre safra ou de baixa estação, e expandem este mercado a regiões mais distantes do centro produtor (ANDRADE JÚNIOR *et al.*, 2005).

O processo de secagem é um método de conservação de alimentos através da eliminação de água e que visa reduzir as taxas das reações químicas e microbiológicas que ocorrem nos alimentos, conservando-os. Além disso, reduz custo de embalagem, transporte e manipulação de alimentos e prolonga a vida útil do produto (MASTERS, 1997).

As frutas em geral possuem alto teor de umidade, portanto, são altamente perecíveis, o que acarreta grandes perdas aos produtores. O processo de desidratação, além de ser uma alternativa para a redução de perdas devido ao excesso de produção e frutas fora do padrão, pode agregar valor ao produto, proporcionar outras maneiras de consumo da fruta ao longo do ano e levar certos tipos de sucos de frutas a centros consumidores distantes dos produtores da fruta (VAILLANT *et al.*, 2001).

O processo normalmente utilizado na produção de sucos de fruta em pó é a secagem em “spray dryer” (ou secagem por atomização). Trata-se de um processo econômico e flexível, realizado em um equipamento de fácil acesso. A secagem em “spray dryer” consiste basicamente na atomização do líquido em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente, de modo que a rápida evaporação da água permite manter baixa a temperatura das partículas. Desta forma, esta técnica permite a secagem de produtos sensíveis ao calor, sem afetar demasiadamente sua qualidade (RÉ, 1998).

Um dos maiores problemas na secagem de sucos de frutas é a alta higroscopicidade do produto produzido que causa aglomeração do pó, aderência nas paredes do secador, aumento na solubilidade dos açúcares em altas temperaturas e alta pegajosidade. A temperatura de transição vítrea dos açúcares é responsável pelas mudanças que ocorrem nas propriedades do produto e prejudica a secagem (ADHIKARI *et al.*, 2004).

A pegajosidade e subsequente deposição de materiais na superfície do secador é considerada um dos mais generalizados problemas enfrentado na indústria de secagem em “spray dryer”. Tais depósitos causam degradação da qualidade, necessidade de limpeza freqüente e perigo para a segurança (ADHIKARI *et al.*, 2005). Os alimentos, para sofrerem o processo de secagem por atomização devem ser classificados em dois amplos grupos: não-pegajosos e pegajosos. Alguns exemplos de substâncias não-pegajosas são: leite desnatado, soluções contendo maltodextrinas, gomas e proteínas. Por outro lado, materiais pegajosos são difíceis de serem secos nas condições normais do “spray dryer”. Alimentos muito açucarados e de alta acidez como sucos de frutas e vegetais pertencem a esse grupo. O comportamento pegajoso deste tipo de produto é atribuído ao baixo peso molecular dos açúcares como a frutose, glicose, sacarose e ácidos orgânicos como os ácidos cítrico, málico e tartárico, os quais constituem mais de 90% dos sólidos dos sucos de frutas e purês. A pegajosidade destes produtos é a maior razão pela qual tem havido certa limitação no uso do “spray” para secagem de produtos açucarados e de alta acidez. Por outro lado, o problema da pegajosidade é amenizado quando derivados hidrolisados de amido como as maltodextrinas são misturados aos sucos para atomização no “spray dryer”; ao invés disto, estes carreadores com coadjuvantes facilitam a secagem de produtos com alta concentração de açúcares. Com isto, são frequentemente usados como aditivos para o processo de secagem (ADHIKARI *et al.*, 2004).

O processo de liofilização se desenvolveu para superar as perdas dos compostos responsáveis pelos aromas em alimentos, os quais se perdiam durante o processo convencional de secagem (BARBOSA-CANÓVAS, VEGA-MERCADO, 1996). Secadores de leite fluidizado estão entre os sistemas mais utilizados para a secagem de sólidos, suspensões, polpas e pastas, principalmente devido às vantagens de altas taxas de transferência de calor e de massa entre os sólidos e o ar, resultando em baixos tempos de secagem (CABRAL *et al.*, 2007).

Este projeto teve como objetivo estudar a desidratação de polpa de maracujá com aditivos (maltodextrina e goma Arábica) em diferentes secadores (leite pulso-fluidizado, atomizador – “spray dryer” e liofilizador) avaliando-se os produtos em pó obtidos através de análises da qualidade. A eficácia da adição do leite desnatado foi avaliada quanto à substituição de parte dos aditivos utilizados (maltodextrina e a goma Arábica), devido ao leite desnatado ser classificado como substância não-pegajosa, assim como os outros dois aditivos utilizados neste trabalho (ADHIKARI *et al.*, 2004).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Geral**

O objetivo deste projeto foi estudar a desidratação de polpa de maracujá em três tipos de secadores (“spray dryer”, leito pulso-fluidizado e liofilizador), avaliando-se a qualidade dos diferentes pós obtidos através das análises de molhabilidade, grau de aglomeração, higroscopicidade e dispersibilidade. A influência do leite como substituinte de parte dos aditivos utilizados na produção do produto em pó foi estudada, com uma posterior comparação da qualidade dos produtos obtidos em função da composição da mistura e dos equipamentos utilizados.

Em relação à secagem, o objetivo principal foi encontrar a melhor proporção de polpa de maracujá:aditivos:leite desnatado para a produção de polpa de maracujá em pó. Para isto, utilizou-se como parâmetro a secagem em secador tipo “spray dryer”. A partir dos melhores resultados obtidos neste secador, avaliados através da proporção de componentes da amostra que obteve maior rendimento (massa de pó produzido/massa seca da amostra inicial), prosseguiram-se os testes no secador pulso-fluidizado e no liofilizador, utilizando a melhor proporção do teste no “spray dryer”.

### **2.2. Específicos**

- Caracterização físico-química da polpa de maracujá e do leite desnatado.
- Determinação da melhor concentração de maltodextrina e goma Arábica a serem adicionadas para o processamento da polpa de maracujá em pó.
- Avaliação do efeito do leite em substituição de parte dos aditivos utilizados para a secagem da polpa de maracujá.
- Padronização das melhores condições de processo para a secagem da polpa com aditivos em “spray dryer”, leito pulso-fluidizado e liofilizador.
- Construção das isotermas de sorção dos pós obtidos, necessárias ao adequado armazenamento do produto final.

- Avaliação da qualidade do produto final em pó através de análises de cor, higroscopicidade, dispersibilidade, grau de aglomeração, molhabilidade e umidade.



### 3. REVISAO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Produtos em Pó

A desidratação de alimentos é um processo particularmente importante para frutas e vegetais, os quais contêm grande proporção de água, tornando sua conservação um ponto bastante crítico. Os produtos em pó apresentam uma baixa atividade de água, o que dificulta ou até impede o crescimento de microorganismos e as reações físico-químicas responsáveis por sua deterioração, aumentando, assim, a vida útil destes alimentos. Frutas e vegetais desidratados são usados tanto como alimentos para consumo na forma direta, tanto como ingredientes industriais no processamento de vários produtos, como os de padaria, sopas, frutas em pó instantâneas, entre outros (TSAMI *et al.*, 1999). Os sucos em pó podem ser utilizados para reconstituição no próprio suco da fruta desidratada através do acréscimo de água, como também como ingrediente em outros produtos, como iogurtes, bebidas carbonatadas, bebidas mistas, geléias, dentre outros.

#### 3.2. Maracujá

O maracujá (*Passiflora edulis*), fruto nativo das Américas Central e do Sul, é cultivado em países de climas subtropical e tropical. O Brasil é, atualmente, o maior produtor, seguido do Peru, Colômbia, Equador. O mercado mundial, principalmente o europeu, dá preferência ao produto na forma de suco concentrado, uma vez que a fruta “in natura” tem curta vida de prateleira (TODA FRUTA, 2007).

As exportações brasileiras da fruta e do suco concentrado têm pouca expressão no mercado mundial. Em relação ao suco, o país vem atuando em algumas lacunas de mercado, desde 1998, como é o caso do mercado inglês, onde o produto brasileiro é inserido nos períodos em que a Malásia, ou a Colômbia, reduzem as suas exportações. Em 2000, os principais Estados produtores foram: Bahia (10 mil ha.), São Paulo (3,1 mil ha.) e Sergipe (3,0 mil ha.) que juntos responderam por 51% da produção nacional e

por 46% da área colhida. São Paulo atingiu a maior produtividade média com 15,8 t/ha. (TODA FRUTA, 2007).

O suco de maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) é comercializado em todo mundo, especialmente devido ao seu agradável aroma e flavor (VAILLANT *et al.*, 1999). O rendimento em suco das espécies *Passiflora edulis f. flavicarpa* varia de 30 a 40% em relação ao peso da fruta (PEDRO, 2007). O período de colheita é bastante longo nas regiões brasileiras, sendo maior nas regiões com calor e umidade suficientes para um prolongado período de frutificação. A época da colheita é de Dezembro a Julho, sendo que a maior safra ocorre de Fevereiro a Abril.

O suco e a polpa de maracujá são utilizados no preparo de diversos produtos, entre os quais podem ser citados: bebidas carbonatadas, bebidas mistas, xaropes, geléias, laticínios, suco em pó, sorvetes e alimentos enlatados.

### 3.3 Leite

O leite está entre os seis primeiros produtos mais importantes da agropecuária brasileira, ficando à frente de produtos tradicionais como café beneficiado e arroz. O agronegócio do leite e seus derivados desempenham um papel de grande importância no suprimento de alimentos, na geração de emprego e na renda para a população.

A produção de leite tem perspectiva de continuar a crescer nos próximos anos, com condições reais de o país mudar do panorama de importador para exportador de produtos lácteos. A composição aproximada do leite bovino é de 3,9% de gordura, 3,25% de proteína, 4,6% de lactose (açúcar do leite), 0,9% de outros componentes incluindo minerais, vitaminas e gases, e o restante em água. A água constitui, em volume, o principal componente do leite, em média na percentagem de 87,3%, influenciando sensivelmente na densidade do leite (WALSTRA & JENNESS, 1987). A densidade do leite varia com a composição de nutrientes (água, proteína, gorduras, lactose e dos outros componentes lácteos) e com a temperatura, sendo que à 20°C, pode variar de 1,027 a 1,033 kg/m<sup>3</sup> (WALSTRA & JENNESS, 1987).

A produção de leite desnatado em pó é parte comum das indústrias de produtos lácteos, já que através da secagem do leite, sua vida de prateleira pode ser estendida de alguns dias para até dois anos. O produto é amplamente usado na indústria de

processamento, para produtos de panificação, sorvetes, chocolates ou como reconstituente (KOCKEL *et al.*, 2002).

### 3.4 Aditivos na Secagem de Polpa de Frutas

Várias pesquisas têm demonstrado que o uso de aditivos antes do processo de secagem, para alimentos ricos em açúcar, possui a finalidade de reduzir a pegajosidade do material e sua deposição nas paredes do secador. Muitos destes aditivos de secagem têm alto peso molecular e altas temperaturas de transição vítrea (LANGRISH *et al.*, 2007).

#### 3.4.1 Maltodextrina

A maltodextrina é um produto em pó de cor branca e levemente creme, sabor neutro e levemente adocicado, ausência de grânulos de amido, mas com coloração violeta à amarela (cor do lugol), pH entre 4.5 e 5.5, acidez entre 0.5 e 2.0 ml de NaOH/100 g e  $5 < DE < 20$ , com baixos teores de maltose (5.0 %) e glicose (3.0 %).

A maltodextrina é por definição, um hidrolisado de amido que consiste de unidades de  $\beta$ -D-glicose unidas principalmente por ligações glicosídicas  $\alpha(1 \rightarrow 4)$  com uma fórmula geral igual a  $[(C_6H_{10}O_5)_n H_2O]$  (KENNEDY *et al.*, 1995). São normalmente classificadas de acordo com seu valor de dextrose equivalente (DE). O DE da maltodextrina determina a capacidade de redução e é inversamente relacionada ao seu peso molecular médio (GABAS *et al.*, 2007). Estes compostos são pouco higroscópicos e por essa razão têm aplicação em produtos onde ganhos significantes de umidade são indesejáveis. De acordo com Kennedy, Knill e Taylor (1995) as maltodextrinas com menores valores de DE apresentam menor tendência em absorver umidade do ar.

A maltodextrina é um carboidrato bastante utilizado na microencapsulação de alimentos, principalmente por apresentar um baixo custo. De acordo com Reineccius (2001), apesar das maltodextrinas apresentarem certa deficiência em relação às

propriedades emulsificantes, isso não é um problema se o material a ser encapsulado for solúvel em água ou se um emulsificante secundário for utilizado no processo. Desse modo, elas são utilizadas principalmente como auxílio para materiais de difícil secagem, como suco concentrado de frutas, saborizantes solúveis em água, enzimas ou adoçantes de alta potência.

O uso de maltodextrinas como auxiliar de secagem tem apresentado bons resultados em relação à minimização dos depósitos nas paredes. Gupta (1978) encontrou que é necessária certa quantidade de maltodextrina para dar baixos fluxos de depósitos nas paredes, até mesmo para as melhores condições de secagem. (LANGRISH *et al.*, 2007).

### 3.4.2 Goma Arábica

Quimicamente a goma Arábica é um heteropolissacarídeo complexo de estrutura muito ramificada, cuja cadeia principal é formada por unidades de D-galactopiranosose, unidas por ligações glicosídicas em  $\beta$ -D-(1 $\rightarrow$ 3). Cadeias laterais com diferentes estruturas químicas, formadas por D-galactopiranosose, L-ramnose, L-arabinofuranose, e ácido D-glucurônico estão ligadas à cadeia principal por ligações  $\beta$  (1 $\rightarrow$ 6) (POTTER & HOTCHKISS, 1995).

A goma arábica tem sido utilizada como material encapsulante em microencapsulações por “spray dryer”, especialmente devido à sua capacidade emulsificante e baixa viscosidade em soluções aquosas, a qual auxilia a secagem por atomização. Além disso, proporciona boa retenção de substâncias voláteis e confere efetiva proteção contra a oxidação (GABAS *et al.*, 2007).

Uma característica importante que diferencia a goma arábica da maltodextrina é o fato dela apresentar uma pequena quantidade de proteína (cerca de 2%) em sua composição, o que lhe confere uma boa propriedade emulsificante. Além disso, a goma arábica é a única entre as gomas alimentícias que apresenta alta solubilidade e baixa viscosidade em solução, o que facilita o processo de atomização (ROSENBERG, KOPELMAN e TALMON, 1990). Atualmente, são encontrados na literatura vários trabalhos que apresentam a maltodextrina e a goma arábica como materiais de parede, na secagem de sucos de frutas em “spray dryer”. São os casos dos sucos de acerola

(RIGHETTO e NETTO, 2005), manga (CANO-CHAUCA *et al.*, 2005), figo da Índia (RODRÍGUEZ-HERNANDEZ *et al.*, 2005), abacaxi (ABADIO *et al.*, 2004) e camu-camu (DIB TAXI, 2001).

### 3.5 Secagem

O principal objetivo da secagem é permitir longos períodos de estocagem, minimizar o tamanho e conseqüentemente a quantidade de material a ser embalado. Além disso, os pós obtidos pela secagem de sucos de frutas concentrados ou polpas podem representar interessantes “commodities”, já que este tipo de produto obtido por secagem fornece um ingrediente estável e natural que pode ser facilmente manipulado e usado na formulação de diversos produtos alimentícios, além de reconstituir-se rapidamente em um produto de boa qualidade, assemelhando-se o máximo possível ao suco original (TELIS-ROMERO *et al.*, 2007; GABAS *et al.*, 2007). Sucos desidratados são usados principalmente como produtos de conveniência e apresentam longos períodos de estocagem a temperaturas comuns (GABAS *et al.*, 2007).

Há vários tipos de secadores destinados para a secagem de alimentos. A escolha do secador é baseada em muitos fatores, incluindo características do alimento a ser desidratado (líquido, sólido, particulado, etc.), facilidade de processamento, volume processado e forma do produto final, qualidade e custo final do produto. A secagem por “spray dryer” é a mais tradicional na obtenção de pó. A secagem por liofilização, embora produza alimentos com alta qualidade, tem um custo alto e é utilizada para produtos com alto valor agregado. Outros métodos de secagem existentes para a produção de pó, com menos tradição são, a secagem por leito de jorro e leito fluidizado que apresentam baixo custo de investimento e produção (RIBEIRO, 2005). Através da necessidade de redução de custos, estudos com estes secadores vêm sendo realizados. Embora não se tenha conseguido resultados satisfatórios e há a necessidade de mais estudos nesta área, com adaptações destes tipos de secadores.

### 3.6 Secador por Atomização (“Spray Dryer”)

O equipamento mais importante para a secagem de produtos líquidos ou pastosos com ar quente na indústria alimentícia é o secador por atomização, ou “spray dryer”. É muito utilizado na fabricação de produtos como leite em pó, café solúvel, sopas, sucos de frutas, etc. Empregado também nas indústrias química e farmacêutica nas quais se produzem uma grande variedade de produtos em pó, granulados ou aglomerados (FERNANDEZ-PÉREZ *et al.*, 2004). Porém é um processo que exige altos custos de operação e grande consumo de energia. Entre algumas vantagens apresentadas por este método de secagem está a possibilidade de se operar continuamente e a obtenção de um produto com padrão de qualidade constante.

A operação de atomização consiste na transformação de uma substância no estado líquido ou pastoso (alimentação), em partículas secas formadas através da pulverização desta alimentação, em um compartimento que recebe um fluxo de ar quente. A produção de partículas secas de uma alimentação no estado fluido em um único passo faz deste processo uma operação unitária única e importante. O projeto deste equipamento inclui o estabelecimento de condições de operação que aumente a recuperação e produção de um produto final com uma qualidade bem especificada (GOULA & ADAMOPOULOS, 2005). Desta forma, esta técnica permite a secagem de produtos sensíveis ao calor (alimentícios, biológicos e farmacêuticos), sem afetar demasiadamente sua qualidade (RÉ, 1998).

A operação de secagem em “spray dryer” está baseada em quatro fases: atomização do líquido, contato do líquido atomizado com o ar quente, evaporação da água e separação do produto em pó do ar de secagem, de modo que todas estas fases interferem nas características do pó final. A maneira de atomizar e as propriedades do líquido atomizado influenciam o tamanho da partícula sólida, sua densidade, aparência e umidade. Já o tipo de contato líquido/ar quente e a evaporação influenciam não só essas características, como também a capacidade de retenção de aroma e sabor, enquanto a técnica de separação do pó do ar seco influencia a granulometria do produto desejado. Dessa forma, as variáveis mais importantes no controle das características do pó final podem ser resumidas como:

- líquido atomizado (teor de sólidos, viscosidade, número e tamanho de partículas);

- atomizador (tipo e mecanismo de funcionamento);
- ar de secagem (velocidade, temperatura de entrada e de saída).

Um dos problemas presentes na secagem por “spray” é a formação de crostas no equipamento. Durante a aspensão, o produto é pulverizado para as paredes do equipamento. Se estas gotículas não estiverem suficientemente secas quando entrarem em contato com as paredes da câmara, elas aderem à mesma e formam um aglomerado de partículas.

A qualidade da reconstituição dos pós obtidos neste equipamento é também muito boa, já que a temperatura do produto raramente ultrapassa 100°C. Entretanto, os pós obtidos podem apresentar alguns problemas em suas propriedades, observados, por exemplo, nas análises de qualidade tais como, aglomeração, higroscopicidade e solubilidade, tornando sua utilização consideravelmente difícil (CANO-CHAUCA *et al.*, 2005).

### **3.7 Secador de Leito Fluidizado**

Chua e Chou (2003) fizeram um estudo de diferentes tipos de secadores para produtos agrícolas alimentícios e propuseram diversos secadores de baixo custo para aplicação em áreas produtivas, onde matéria-prima e mão-de-obra são disponíveis. Os secadores propostos possuíam as seguintes características:

- Baixo custo de capital inicial;
- Facilidade em fabricar com materiais disponíveis;
- Facilidade de operação (sem complicação eletrônica ou mecânica);
- Promover efetivamente melhor cinética de secagem e qualidade do produto que o método de secagem direta ao sol;
- Facilidade em manutenção de todas as partes e componentes;
- Simples substituição das partes durante pane.

Os secadores de baixo custo encontrados por Chua e Chou (2003) foram secador de leito fluidizado, secador do leito tipo jorro, secagem por infravermelho, secadores convectivos de baixo custo e secador solar.

A secagem em leito fluidizado é amplamente utilizada para alimentos, pois oferece a vantagem de alto grau de mistura que pode resultar em menores tempos de secagem (TARUNA; JINDAL, 2002). Comparado com outros métodos de contato fluido-sólido, o leito fluidizado apresenta altas taxas de transferência de calor e massa, característica que é importante nos processos de secagem, uma vez que envolve menor tempo de residência do produto em condições de temperatura que possam alterar a sua qualidade.

Segundo Shilton e Niranjana (1993), a fluidização é um método eficiente de contato fluido-sólido, porém suas aplicações ficam limitadas a partículas relativamente pequenas e uniformes.

A secagem de líquidos dispersos na superfície de partículas inertes em secadores fluidizados e jorros oferece as vantagens de produzir pós em secadores com menor volume e área requerida, quando comparados ao “spray dryer”, resultando em menores investimentos e custos operacionais (KUDRA & MUJUMDAR, 1995). Entretanto, a operação de secadores de leito fluidizado e leitos de jorro com partículas inertes é limitada devido à alta velocidade de gás que é necessária para fluidizar ou jorrar as partículas, que são relativamente grandes e pesadas (PAN et al., 2001), o que resulta em altos consumos de energia e utilização de ventiladores de alta pressão.

Modificações impostas aos leitos fluidizados convencionais permitiram o desenvolvimento de novas técnicas, como o leito vibro-fluidizado e o leito pulso-fluidizado.

Hasatani, Itaya e Miura (1991) relataram as vantagens de um leito fluidizado comum (estrutura simples, facilidade de operações em escala contínua, aumento da transferência de calor e massa entre as partículas e o ar quente) e desvantagens (aumento do consumo de energia devido ao aumento do fluxo de ar e a dificuldade de fluidizar partículas aglomeradas) e sugerem um secador vibro-fluidizado que supere estas desvantagens desde que o secador não só seja usado para fluidizar partículas a baixas velocidades do ar, mas também para quebrar os aglomerados.

A atomização da suspensão sobre o leito reveste as partículas com uma fina camada do material. À medida que seca, a película torna-se frágil devido ao efeito das colisões entre as partículas no leito, sendo então fraturadas e arrastadas para fora pela corrente de ar. O pó é coletado por um ciclone.

Embora amplamente utilizado na indústria, leitos fluidizados possuem aplicações limitadas, devido às propriedades das partículas, altura mínima que



proporcione fluidização uniforme, ocorrência de fluidização agregativa, dentre outras (RIBEIRO, 2005). Segundo Kudra (2002), estas limitações podem ser minimizadas e até mesmo eliminadas quando utilizado um leito pulso-fluidizado, devido ao fluxo periódico do gás no leito fluidizado que este equipamento proporciona.

O leito pulso-fluidizado é uma modificação do leito fluidizado convencional (LFC), e possui como princípio de funcionamento o deslocamento periódico do fluxo de gás, sendo o distribuidor de gás, parte integrante do leito (BLACHA-JURKIEWIX, GAWRZYNSKI, GLASER., 1987; GAWRZYNSKI, GLASER, ZGORZALEWICZ, 1989; KUDRA; MUJUMDAR, 1995). O conceito original de pulsação do gás de fluidização envolve uma variação periódica do fluxo entre uma fase ativa em que a vazão é mantida constante a certo nível, e uma fase inativa, em que a vazão de gás é cessada.

No leito pulso-fluidizado o ar é direcionado a uma vazão constante para o interior do leito por um distribuidor, que assegura o deslocamento cíclico do gás na câmara. O gás escoar pelo prato perfurado, localizado acima da câmara que suporta o leito de partículas e entre elas, causando sua fluidização (RIBEIRO, 2005).

Gawrzynski e Glaser (1996) relataram algumas vantagens da técnica de secagem em leitos de fluidização pulsante em comparação aos de leito de fluidização contínua, entre elas pode-se relatar: perda de carga de 7 a 12 % menor e melhor regime de fluidização, sem a ocorrência de canais preferenciais e com melhor grau de mistura, o que levou, segundo os autores, a uma redução do consumo de energia de até 50 %, melhoria na transferência de calor, possibilidade do processamento de partículas dispersas e mistura intensa de materiais com alto teor de umidade (GAWRZYNSKI et al., 1996).

Martinelli (2008) estudou a eficiência do secador pulso-fluidizado com pasta de gesso (20%). Os melhores rendimentos para a produção de gesso em pó foram obtidos com a abertura de válvula borboleta de 90° e a injeção de pastas de gesso nas fases ativa (válvula totalmente aberta - 90° em relação ao eixo horizontal). Concluiu-se que a temperatura, vazão de ar e vazão de pasta influenciaram na cinética de secagem, sendo que a maior temperatura (70° C), a maior velocidade do ar (8 m/s) proporcionaram maior produção de pó e menor retenção de sólido aderido às partículas inertes do leito.

A taxa de secagem em leito fluidizados depende das variáveis da operação, que devem ser ajustadas às propriedades físicas do material a ser seco. Por isso o contato entre partículas inertes e o material pastoso pode ser melhorado para aumentar a

eficiência de produção do pó. A temperatura da entrada de ar e a taxa de fluxo do ar de secagem são as variáveis que exercem a maior influência na taxa de secagem, porque controlam a taxa de transferência térmica e a circulação dos sólidos, respectivamente. A taxa de alimentação do material pastoso tem um efeito na secagem, porque define algumas das características do produto final, tais como o teor de umidade e a granulometria. A injeção da pasta pode ser contínua ou em batelada. A injeção contínua, apesar de reduzir o tempo de secagem, a alimentação contínua de materiais ricos em açúcares, por exemplo, polpas da fruta, não é geralmente possível por causa da acumulação material dentro do secador, tendo por resultado a instabilidade dinâmica da cama. Tal instabilidade é caracterizada por um aumento na altura da fonte, por uma diminuição na perda de carga e um aumento na velocidade mínima de fluidização (CUNHA, DE LA CRUZ, MENEGALLI, 2006).

Em estudos realizados por Wang e Rhodes (2005a e 2005b), utilizando a pulso-fluidização como técnica para evitar o colapso de leitos fluidizados, a conclusão foi de que a oscilação da velocidade superficial do gás ajuda a evitar a formação de colapso de partículas que têm a tendência de se aglomerar.

Jinescu et al. (2000) estudaram o processo de secagem de biomateriais em pó através da intensificação do processo de fluidização. Tal intensificação da fluidização foi feita de três maneiras: pela adição de partículas inertes, através de fluidização com um agitador mecânico e com a fluidização pulsada. Em relação à adição de inertes, foram estabelecidos o diâmetro e a porcentagem ótima de adição do inerte para garantir uma menor velocidade de mínima fluidização. Em relação à fluidização com agitador mecânico, verificou-se que a velocidade de mínima fluidização diminuiu com o aumento da frequência do agitador. Para a fluidização pulsada, foi observada uma diminuição da queda de pressão mínima e da velocidade mínima de fluidização com o aumento da frequência de pulsação.

São encontrados poucos trabalhos sobre a pulso-fluidização e os equipamentos industriais são poucos e por isso deve-se considerar que as vantagens desta técnica em relação à convencional devem ainda ser bastante estudadas e difundidas (NITZ, 2006).

### 3.8 Liofilizador

O processo de liofilização consiste de duas etapas básicas. A primeira etapa envolve congelamento inicial do produto e na segunda etapa o produto é seco por sublimação do gelo a uma pressão reduzida.

A liofilização tem se mostrado um método efetivo para aumentar a vida útil do alimento, e tem características importantes. O processo ocorre na ausência de ar e à baixa temperatura o que previne a deterioração devido à oxidação ou modificações do produto. Os produtos que se decompõem ou sofrem mudanças na sua estrutura, textura, aparência, e conteúdo de aromas como consequência das altas temperaturas podem secar-se a temperaturas inferiores com um dano mínimo.

A qualidade e a vida útil dos produtos liofilizados são excelentes por várias razões. A temperatura máxima alcançada pelo produto é moderada; por isso, as reações químicas e enzimáticas são limitadas, e as características nutritivas e sensoriais não se modificam. A eliminação do vapor d'água é muito seletiva, e os componentes sápidos e aromáticos não são arrastados por ele; no produto seco, permanecem até 80 a 100% desses componentes. Como a desidratação ocorre em estado sólido, não há movimento de líquidos e/ou solutos, contração do sólido ou endurecimento superficial; o produto final conserva o tamanho e a forma do alimento original, e sua estrutura porosa facilita bastante a reidratação. Por se tratarem de produtos muito higroscópicos, frágeis e sensíveis à oxidação, é fundamental uma embalagem adequada. A vida útil dos produtos liofilizados pode chegar a um ano em temperatura ambiente (ORDÓÑEZ, 2005).

Apesar disso, a liofilização tem aplicação limitada na indústria de alimentos. Isso se deve ao fato de que o custo do equipamento e de operação é muito elevado. O frio para o congelamento do produto e a condensação do vapor d'água, junto com a manutenção do vácuo, representa gasto considerável. Além disso, a operação é bastante lenta. Esse custo elevado só pode ser aceito em matérias-primas que possuam alto valor comercial ou sejam muito sensíveis ao calor, sendo especialmente adequado para alguns alimentos particulados. Entre os produtos que são conservados por liofilização destacam-se: café em pó, mariscos, carne, peixe, ervas aromáticas, algumas frutas e hortaliças (morangos, framboesas, etc.) e certos cogumelos (ORDÓÑEZ, 2005).

### 3.9. Isotermas de Sorção

A água, além de ser um componente essencial para o organismo humano, tem também uma grande importância nos produtos alimentícios, pois determina a perecibilidade destes, já que é responsável pelas degradações física, química e microbiológica dos alimentos. A estabilidade e a segurança de um alimento podem ser previstas com mais êxito pela atividade de água do que pelo teor de umidade. A atividade de água correlaciona-se com as velocidades de crescimento microbiano e outras reações de deterioração, sendo, portanto, um indicador útil quanto à estabilidade de um alimento e sua deterioração. Por meio da secagem, congelamento ou da adição de açúcar ou sal a água livre pode tornar-se indisponível e inibir o crescimento microbiano.

A qualidade do produto final pode ser controlada pela escolha do método e condições mais apropriadas. Análises do processo afetando a estabilidade física, química e microbiológica dos alimentos os quais determinam sua qualidade, são largamente baseadas nas isotermas de sorção de umidade dos materiais envolvidos. Estas isotermas também revelam informações sobre o mecanismo de sorção e as interações dos biopolímeros dos alimentos com a água. Finalmente, elas são importantes no projeto e otimização das operações unitárias como preservação, secagem, estocagem, embalagem e mistura. A sorção de água é um dos parâmetros mais importantes que contribuem para prever a performance tecnológica e a qualidade dos produtos durante a estocagem.

O conceito de atividade de água é muito usado por pesquisadores e processadores da indústria de alimentos. É definida, conforme mostrado na equação 1, como a razão entre a pressão de vapor exercida pela água no alimento e a pressão de vapor a água pura na mesma temperatura (HELDMAN & LUND, 1992). Quando a pressão de vapor de água do alimento se iguala a pressão de vapor da água no ambiente, a umidade do alimento está em equilíbrio com a umidade do ambiente.

$$a_w = \frac{P}{P_o} = \frac{URE}{100} \quad (1)$$

onde: P = Pressões de vapor de água no sistema; P<sub>o</sub> = Pressão de água líquida pura na mesma temperatura; URE = Umidade relativa do ar.

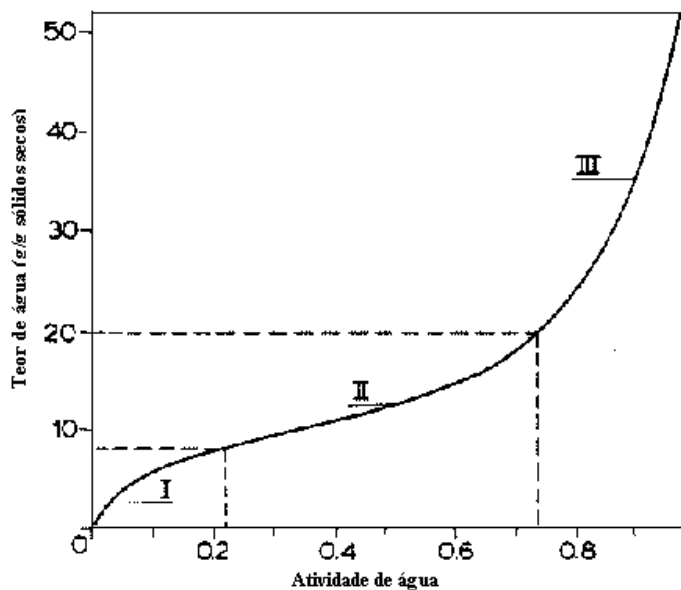
A relação entre a atividade de água e a umidade relativa do ar permite prever quais os alimentos irão ganhar ou perder umidade quando forem expostos a um ar com determinada umidade relativa.

As isotermas são curvas que exibem a variação do teor de umidade de equilíbrio de uma amostra em função de sua atividade de água em uma determinada temperatura. As isotermas podem ser de adsorção (ganho de umidade) ou de dessorção (retirada de umidade).

A isoterma de adsorção geralmente não se sobrepõe à de dessorção. Esse fenômeno é denominado histerese. Histerese é a diferença existente entre as duas curvas. Para um determinado valor de  $a_w$ , o conteúdo de umidade da amostra durante o processo de dessorção é maior do que para o de adsorção (BOBBIO; BOBBIO, 1992).

A intensidade da histerese, a forma das curvas, pontos iniciais e finais podem variar em função de fatores como a natureza do alimento, mudanças físicas que o alimento sofre no processo de secagem e hidratação, mas o mais importante é a temperatura (a histerese se torna mais evidente em baixas temperaturas).

Na Figura 1 é representada uma isoterma dividida em três regiões. Na região I, a água está fortemente ligada ao produto (água não congelável). Essa água é adsorvida pelos sítios polares (grupos fortemente polares) do alimento e também se liga a outras moléculas de água através de pontes de hidrogênio. É denominada água da monocamada. Na região II, a água ocupa os sítios remanescentes, formando várias camadas em torno dos grupos hidrofílicos. Ela está disponível como solvente e é denominada água de multicamadas. Na região III se encontra a água mais fracamente ligada, a qual é congelável e está disponível como solvente.



**Figura 1:** Região de isoterma de sorção para produtos alimentícios (HELDMAN e LUND, 1992).

Para a maioria dos alimentos, a forma das isotermas de sorção é sigmoide. Como o comportamento de sorção de água do material é determinado por sua composição química e pelo estado físico-químico de seus constituintes, as isotermas dos produtos alimentícios diferem consideravelmente entre si. Produtos com amido, incluindo os cereais, absorvem mais água a baixas atividades de água em comparação com produtos ricos em proteína, como a carne. Açúcares, em geral, representam um grupo de materiais que exibem dois comportamentos na sorção. No estado amorfo são mais higroscópicos que no estado cristalino (WOLF; SPIESS; JUNG, 1985).

Brunauer et al. (1940) classificaram as isotermas em cinco tipos. A isoterma do tipo I é denominada Langmuir e a do tipo II sigmoide ou em forma de S. Os outros três tipos não possuem nomes especiais. As isotermas de sorção de umidade da maioria dos alimentos apresentam-se não-lineares, sendo classificadas como do tipo II, podendo apresentar pequenas variações conforme a estrutura física, a composição química e a temperatura. De acordo com Okos et al. (1992), as isotermas podem ser influenciadas pela área de superfície e a porosidade dos materiais.

As isotermas constituem uma importante ferramenta para caracterizar os principais componentes dos alimentos responsáveis pela capacidade de sorção de água. De acordo com Alves (2007), geralmente os alimentos ricos em proteínas apresentam o comportamento sigmoide e os alimentos ricos em açúcares apresentam as curvas na

forma exponencial. Apesar desta classificação em função da composição do alimento, outros autores verificaram que para alimentos com distintas composições o comportamento verificado foi o mesmo. Gomes et al. (2002) obtiveram as isotermas de acerola em pó e concluíram que elas apresentavam o tipo III de acordo com a classificação de Brunauer. Hofsky, Figueirêdo e Queiroz (2007) e Alves (2007) estudaram as isotermas de adsorção de pitanga e pequi em pó, respectivamente, e verificaram outro comportamento, agora do tipo II. Goula et al. (2008) relataram que as isotermas de adsorção de polpa de tomate desidratada em spray dryer apresentaram o mesmo comportamento, tipo sigmoidal. McMinn, Al-Muhtaseb, Magee (2005) concluíram que as isotermas de materiais em pó ricos em amido também apresentam isotermas do tipo sigmoidal. Esse mesmo comportamento foi encontrado também para cebola desidratada em forma de retângulo (MAZZA; LEMAGUER, 1978). Pérez-Alonso et al. (2006) relataram que as isotermas de biopolímeros, tais como maltodextrina, também apresentam curvas do tipo sigmoidal.

Lewicki (1997) relata que a classificação das isotermas pode ser baseada nos parâmetros  $C$  e  $K$ , obtidos através do ajuste do modelo de GAB aos dados experimentais. As isotermas apresentam comportamento sigmoidal quando os valores encontrados pelo ajuste estão nos seguintes intervalos:  $0,24 < K \leq 1$  e  $5,67 \leq C \leq \infty$ .

Tsami et al. (1999) afirmaram que as condições de secagem têm uma forte influência sobre as propriedades de produtos em pó. Através de diferentes métodos de secagem é possível obter produtos com diferentes propriedades, incluindo tamanho, forma e cor das partículas, capacidade de sorção de água, estabilidade química, solubilidade em água, higroscopicidade, propriedades de escoamento, etc.

Vários autores vêm estudando as isotermas de adsorção de vegetais e frutas, como Costa, Medeiros e Mata (2003) que determinaram as isotermas de beterraba, abóbora e cenoura em pó obtidos em leite de jorro, Hofsky, Figueirêdo e Queiroz (2007) que obtiveram isotermas de cereja em pó obtida pelo processo de foam-mat, Gabas et al. (2007) e Martinelli, Gabas e Telis-Romero (2007) que apresentaram as isotermas de polpas de abacaxi e limão, respectivamente. Entretanto, poucos autores estudaram a influência de diferentes métodos de secagem nas isotermas de sorção.

### 3.10. Modelagem Matemática

Vários autores têm estudado modelos matemáticos que descrevem o comportamento de sorção de umidade. Alguns desses modelos estão baseados na teoria do mecanismo de sorção, outros são empíricos ou semi-empíricos (RIZVI, 1995). Esses modelos descrevem o comportamento do processo de sorção de umidade e possibilitam a quantificação de parâmetros para cada tipo de alimento estudado.

Alguns modelos podem ser considerados mais adequados que outros, pois descrevem com maior precisão o fenômeno de sorção numa ampla faixa de atividade de água e fornecem parâmetros que permitem relacionar o efeito da temperatura sobre as isotermas.

Dentre os modelos disponíveis na literatura, os apresentados abaixo (Equações 2 a 8) são utilizados para descrever o comportamento das isotermas de alimentos em pó.

$$\text{Henderson (HENDERSON, 1952)} \quad X_{eq} = \left[ \frac{-\ln(1 - a_w)}{A} \right]^{\frac{1}{B}} \quad (2)$$

$$\text{Oswin (OSWIN, 1946)} \quad X_{eq} = A \cdot \left( \frac{a_w}{(1 - a_w)} \right)^B \quad (3)$$

$$\text{Lewicki (dois parâmetros) (LEWICKI; WOLF, 1995)} \quad X_{eq} = A \left( \frac{1}{a_w} - 1 \right)^{B-1} \quad (4)$$

$$\text{Lewicki (três parâmetros) (LEWICKI, 1998)} \quad X_{eq} = \frac{F}{(1 - a_w)^G} - \frac{F}{1 + a_w^H} \quad (5)$$

$$\text{Ferro-Fontan (FERRO-FONTAN et al., 1982)} \quad X_{eq} = \left[ \frac{\gamma}{\ln(\alpha / a_w)} \right]^{\frac{1}{r}} \quad (6)$$

$$\text{Peleg (PELEG, 1993)} \quad X_{eq} = K_1 \cdot a_w^{n_1} + K_2 \cdot a_w^{n_2} \quad (7)$$

$$\text{Guggenheim – Anderson – de Boer, ou GAB (VAN DEN BERG, 1985)} \quad X_{eq} = \frac{(C-1)K \cdot a_w \cdot X_m}{1 + (C-1)K \cdot a_w} + \frac{K \cdot a_w \cdot X_m}{1 - K \cdot a_w} \quad (8)$$

$$K = K_0 \exp\left(\frac{\Delta H_k}{RT}\right) \quad (8.a)$$



$$C = C_0 \exp\left(\frac{\Delta H_c}{RT}\right) \quad (8.b)$$

onde  $C$ ,  $K$ ,  $X_m$  são constantes do modelo de GAB;  $C_0$  e  $K_0$ ,  $\Delta H_c$  e  $\Delta H_K$  também são constantes obtidas através do modelo de GAB e são relacionadas aos parâmetros  $C$  e  $K$  respectivamente;  $R$  constante universal dos gases (8.314 J/mol K);  $T$  é a temperatura absoluta (K);  $X_{eq}$  a umidade de equilíbrio (kg/kg massa seca);  $F$ ,  $G$  e  $H$  são constantes do modelo de Lewicki (três parâmetros);  $A$  e  $B$  são constantes dos modelos de Henderson, Oswin, Lewicki (dois parâmetros);  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $n_1$  e  $n_2$  são constantes do modelo de Peleg;  $\alpha$ ,  $\gamma$  e  $r$  são parâmetros do modelo de Ferro-Fontan.

### 3.11. Atributos de qualidade de produtos alimentícios em pó

Os alimentos em pó apresentam diferentes propriedades, tais como, tamanho e distribuições de partículas, densidade aparente de partículas, porosidade, solubilidade, molhabilidade, dispersibilidade, sendo que a medida e a caracterização destas propriedades ajudam a definir o produto, os parâmetros do processo de produção e os fenômenos que influenciam no seu comportamento (VISSOTO et al., 2006).

Muitos atributos de qualidade estão relacionados ao estado físico dos ingredientes no produto desidratado. Qualquer mudança no estado físico do produto tem a possibilidade de afetar as características físico-químicas dos produtos. Dois fatores que causam a mudança na estrutura são o armazenamento em altas umidades e a temperatura do produto.

O processo de simples mistura dos componentes do alimento, que normalmente é empregado pelas indústrias processadoras de pós, não é garantia de que o produto apresentará uma qualidade final desejável. É importante que sejam empregados aditivos que aperfeiçoem a capacidade de reconstituição dos pós em meio líquido.

Quando um pó é pulverizado sobre a superfície de um líquido, quatro das propriedades envolvidas são: molhabilidade, que consiste na penetração do líquido para o interior da estrutura do pó devido à capilaridade; imersibilidade, que é a capacidade de imersão das partículas ou de porções de pó no líquido; dispersibilidade, ou seja, a dispersão do pó no líquido e a solubilidade, que é a dissolução das partículas pelo

líquido, desde que estas sejam solúveis. Schubert (1993) afirma que as propriedades associadas a essas quatro etapas se combinam para definir a “instantaneidade” do produto. Elas controlam os fenômenos relacionados com a reconstituição do pó, daí a importância dessas propriedades para comercialização de alimentos em pó.

A molhabilidade também conhecida como umectabilidade, pode ser caracterizada pela susceptibilidade das partículas em serem penetradas pela água, estando relacionada principalmente ao conteúdo e características da gordura presente no alimento, bem como a fatores físicos, especialmente tamanho e forma das partículas e temperatura da água de reconstituição. Produtos em pó que apresentam baixa molhabilidade tendem a formar grumos durante a adição e mistura com a água (VISSOTO et al., 2006). De acordo com Maia e Golgher (1983), existe uma correlação inversa entre a molhabilidade e o conteúdo de gordura livre. Estudos apontaram que durante a estocagem, a gordura livre permeia a partícula e uma parte atinge a superfície, tornando-a repelente à água. O espaço intersticial apresentado por partículas grandes e de forma irregular favorece a molhabilidade. Ao contrário, partículas pequenas e simétricas acarretam redução dos interstícios, prejudicando a penetração de água.

Imersibilidade descreve a habilidade das partículas se dispersarem rapidamente na água, isto é, sua tendência à imersão, logo após a absorção da água. Ela depende principalmente do tamanho e densidade da partícula. Então, partículas maiores e mais densas se dispersam mais rapidamente que partículas pequenas e menos densas. A presença de ar nos poros pode reduzir este atributo, pois o ar incorporado na partícula restringe a penetração do solvente.

A solubilidade é um dos parâmetros utilizados para verificar a capacidade do pó para manter-se em mistura homogênea com a água (VISSOTO et al., 2006). É função principalmente da composição do alimento e da temperatura (BAKER, 1997).

Dispersibilidade é um termo usado para descrever a facilidade com que as partículas são distribuídas sobre a superfície e através do líquido. A dispersibilidade aumenta com o aumento da imersibilidade e é reduzida pela formação de aglomerados.

Jaya e Das (2004) relataram em seu trabalho a importância de outras propriedades de alimentos em pó, principalmente durante o processo de secagem. Essas propriedades estão relacionadas com as mudanças estruturais que ocorrem com os alimentos quando submetidos a altas temperaturas e à redução de umidade.

Higroscopicidade é a habilidade do pó em absorver umidade do ambiente com alta umidade relativa. No caso de suco de frutas em pó, a glicose e a frutose são

responsáveis por interações fortes com a molécula de água devido a seus grupos polares (JAYA; DAS, 2004).

A higroscopicidade em alimentos desidratados é uma das propriedades mais importantes, tanto do ponto de vista industrial quanto comercial, pois além de estar associada à estabilidade química, física e microbiológica, também influencia consideravelmente o setor de embalagens, pois produtos higroscópicos devem ser armazenados e comercializados em embalagens que evitem a absorção de água, o que impede a aglomeração do pó e a perda da fluidez durante o transporte.

O grau de aglomeração é expresso em termos da porcentagem de pó retido em peneiras com tamanhos de aberturas diferentes, depois da reidratação e do peneiramento do aglomerado formado no teste de higroscopicidade (PISECKY, 1985).

Durante o armazenamento os alimentos são expostos a condições de temperatura e umidade relativa variadas. Nessas condições, eles perdem ou ganham água para ajustar sua umidade ao equilíbrio com o ambiente. Quando a umidade dos alimentos em pó varia, algumas alterações físicas tais como a aglomeração ou o endurecimento, podem ocorrer (SCHALLER-POVOLNY; SMITH; LABUZA, 2000).

Jaya e Das (2004) determinaram parâmetros de qualidade para a polpa de manga em pó. Esses parâmetros foram obtidos a partir de uma média dos valores encontrados para a sopa de tomate em pó e café instantâneo em pó, os quais estão disponíveis comercialmente. A faixa de valores dos parâmetros de qualidade encontrada está apresentada na Tabela 1. Esses dados servem de comparação para futuros trabalhos já que tais dados são escassos na literatura.

Segundo Abadio et al. (2004), as propriedades de sucos em pó estão relacionadas com a facilidade de reconstituição, incluindo umidade, densidade da partícula e porosidade, com as propriedades de instantaneização (molhabilidade, dispersibilidade e solubilidade), com o tamanho e a distribuição das partículas. Essas propriedades são influenciadas pelo teor de sólidos, viscosidade e temperatura da alimentação, pelo tipo de *spray dryer*, e pelas condições operacionais de secagem. Borges et al. (2002) secaram suco de abacaxi e maracujá em um mini *spray* e concluíram que o aumento na concentração de maltodextrina aumentou a densidade aparente da partícula e estas variáveis não tiveram nenhum efeito nas propriedades de reconstituição do pó.

**Tabela 1:** Valores das propriedades responsáveis pela qualidade da polpa de manga em pó obtidas por Jaya e Das (2004).

<b>Propriedades</b>	<b>Faixas de valores (b.s.)</b>
Umidade	4,19 - 4,62 %
Higroscopicidade	4,20 - 6,64 %
Grau de aglomeração	8,96 - 33,97 %
Dispersibilidade	67,05 - 99,98 %
Escoabilidade	5,53 - 35,27 %
Temperatura de pegajosidade	45 - 78 °C
Diferença de cor ( $\Delta E_c$ )	4,95 - 5,08

Conforme relatado por Maia e Golgher (1983), o aumento na velocidade de atomização reduz o tamanho da partícula e incorpora ar na alimentação, resultando num produto poroso de baixa densidade e pobre reconstituição.

A cor é um dos mais importantes atributos de qualidade para a aceitação do produto. A adição de maltodextrina tem um efeito negativo na polpa de maracujá em pó em relação à cor da polpa *in natura*, embora Telis e Martins-Navarrete (2009) tenham relatado que a adição de maltodextrina melhora a estabilidade da cor durante o armazenamento da mesma.

Segundo Oliveira et al. (2007), o aumento da concentração de maltodextrina favorece menor retenção de cor e maior acidez em sucos desidratados de abacaxi e maracujá, além de reduzir a doçura para o suco de abacaxi e aumentar para o suco de maracujá desidratados e reconstituído.

Jaya e Das (2004) reportaram a influência da quantidade de maltodextrina nas propriedades relacionadas com a qualidade de polpa de manga em pó. Segundo os autores, a higroscopicidade diminui com o aumento da quantidade de maltodextrina adicionada. Ao mesmo tempo, o decréscimo na quantidade de maltodextrina aumentou a solubilidade e diminuiu a diferença de cor ( $\Delta E_c$ ) entre a polpa de manga em pó produzida e a polpa em pó reconstituída.

Goula e Adamopoulos (2008) também investigaram o efeito da adição de maltodextrina nas propriedades de polpa de tomate em pó durante a secagem em “spray dryer”. Esses autores analisaram as propriedades reológicas, teor de umidade, densidade

aparente bulk, solubilidade, higroscopicidade e o grau de aglomeração e constataram que o aumento na proporção de maltodextrina, a uma determinada temperatura, aumenta a solubilidade e diminui a higroscopicidade, o grau de aglomeração, a densidade e a umidade do pó.

Moreira et al. (2005) reportaram os dados das propriedades da polpa de acerola em pó em função das condições operacionais de secagem por *spray drying* e da quantidade dos aditivos utilizados. Altas temperaturas favoreceram as propriedades, diminuindo a umidade e a higroscopicidade e aumentando o escoamento. A adição dos aditivos, maltodextrina e goma do cajueiro, diminuiu a higroscopicidade e aumentou o escoamento do pó produzido.

A padronização desses atributos, para uma melhor comercialização de alimentos na forma de pó, pode ser realizada pelo estudo das melhores condições de secagem e da otimização da quantidade de aditivos acrescentados na alimentação antes da secagem.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1. Material

Foram utilizados maracujás amarelos (*Passiflora edulis flavicarpa*) comprados no CEASA de São José do Rio Preto, leite desnatado (Batavo) esterilizado (UHT) e acondicionado em caixas do tipo Tetra Pak com volume de 1000 ml, comprados em supermercado local, maltodextrina DE=10 (MOR-REX<sup>®</sup> Corn Products, Brasil) e goma Arábica (Synth, Brasil).

### 4.2. Preparo da polpa de maracujá e das amostras para secagem

Preparou-se a polpa de maracujá com a fruta *in natura*. Primeiramente, despulpou-se a fruta e extraiu-se a polpa no liquidificador com filtro interno. Esta foi então armazenada em freezer, em potes de plástico com tampa, à aproximadamente  $-20^{\circ}\text{C}$  para uso posterior, conforme necessário para os experimentos.

As proporções das soluções de polpa de maracujá:aditivos foram preparadas de acordo com seu conteúdo de matéria seca. No caso da polpa de maracujá utilizada, seu conteúdo de água médio estava em torno de 85% (item 5.1), logo considerava-se apenas os 15% de sólidos para efeito de cálculo das proporções. Já o leite desnatado apresentava cerca de 90% de água (item 5.1), sendo considerados, portanto, 10% do teor de sólidos.

Os valores do rendimento do processo de produção de pó foram determinados através da equação 9.

$$\text{Rendimento} = \frac{m_p}{m_{st}} * 100 \quad (9)$$

onde:  $m_p$  = massa do pó produzido

$m_{st}$  = massa de matéria seca de cada amostra.

### 4.3 Análises Físico-Químicas

Foram feitas as análises físico-químicas para o leite desnatado (pH, acidez total titulável, gordura, lactose, umidade, cinzas, sólidos solúveis) e da polpa de maracujá (acidez total titulável, pH, sólidos solúveis, gordura, açúcares, pectina, cinzas, proteínas, umidade e fibras) conforme descrito a seguir. Todas as análises foram realizadas em triplicata e os resultados expressos como a média entre estes valores.

Através do refratômetro digital (Atago Modelo PAL-3) determinou-se o teor de sólidos solúveis (°Brix) da polpa de maracujá e do leite desnatado. O pH foi determinado pelo pHmetro digital (Gehaka Modelo PG 1800) a 25°C.

Determinaram-se os teores de umidade da polpa de maracujá e do leite desnatado *in natura* utilizando o método de secagem em estufa a vácuo (Marconi modelo MA 030) a 60°C e 600 mmHg por 48 horas de acordo com a Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1995). O teor de umidade em base úmida e base seca foi dado pelas equações (10) e (11), respectivamente.

$$\%Umidade(bu) = \frac{m_{\acute{a}gua}}{m_{amostra}} * 100 \quad (10)$$

$$\%Umidade(bs) = \frac{m_{\acute{a}gua}}{m_{amostraseca}} * 100 \quad (11)$$

onde:  $m_{\acute{a}gua}$  = massa de água da amostra (g)

$m_{amostra}$  = massa de amostra úmida (g)

$m_{amostraseca}$  = massa de amostra seca (g)

Os sólidos totais são obtidos pela diferença entre o peso total da amostra e o conteúdo de umidade em base úmida da mesma (CECCHI, 1999).

Os teores de cinzas da polpa de maracujá e do leite desnatado foram determinados pelo método de incineração em mufla (QUIMIS<sup>®</sup>) a 550°C (AOAC, 1995). O teor de cinzas foi dado pela equação (12).

$$\% \text{Cinzas} = \frac{m_{\text{cinzas}}}{m_{\text{amostra}}} * 100 \quad (12)$$

onde:  $m_{\text{cinzas}}$  = massa de cinzas da amostra após incineração (g)

$m_{\text{amostra}}$  = massa de amostra úmida (g)

A análise de acidez total titulável da polpa de maracujá e do leite desnatado foi realizada segundo metodologia da AOAC (1995) e a acidez calculada pelas equações (13) expresso em ácido cítrico para o maracujá e (14) expressa em ácido láctico para o leite desnatado. Para a análise, pipetou-se 10 ml da amostra homogeneizada em frasco Erlenmeyer, acrescentou-se 50 ml de água destilada e colocou-se 2 gotas de solução de fenolftaleína. Titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 N padronizada sob agitação constante, até coloração rósea persistente por 30 segundos.

$$\% \text{Acidez} = \frac{V * f * M * 100}{P} \quad (13)$$

$$\% \text{Acidez} = \frac{V * f * M * 0,9 * 100}{P} \quad (14)$$

Onde: V = n° de ml da solução de hidróxido de sódio gasto na titulação;

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio;

P = massa da amostra em g ou volume pipetado em ml;

M = molaridade da solução de hidróxido de sódio.

0,9 = fator de correção do ácido láctico.

As análises de açúcares da polpa de maracujá e do leite desnatado foram realizadas pelo método de Lane-Eynon (AOAC, 1995), sendo que para a polpa de maracujá foram realizados os teores de açúcares totais e redutores (expressos em glicose) e para o leite, apenas em redutores (expresso em lactose). Os teores de açúcares totais e redutores para o maracujá foi calculado pelas equações (15) e (16) e para os açúcares redutores do leite utilizou-se a equação (17).



$$\% \text{ Açúcares Redutores} = \frac{T * 250}{V * m_a} * 100 \quad (15)$$

$$\% \text{ Açúcares Totais} = \frac{T * 500}{V * m_a} * 100 \quad (16)$$

$$\% \text{ Açúcares Redutores Lactose} = \frac{T * 250 * 1,39}{V * m_a} * 100 \quad (17)$$

onde: T = título da solução de glicose (g/mL)

V = volume titulado (mL)

m<sub>a</sub> = massa da amostra (g)

A análise de gordura para a polpa de maracujá foi realizada pelo método de Bligh-Dyer, enquanto para o leite desnatado realizou-se pelo método de Gerber com butirômetro próprio para leite desnatado (AOAC, 1995). O teor de gordura do maracujá foi calculado pela equação (18).

$$\% \text{ Gordura} = \frac{m_{gordura} * 4}{m_{amostra}} * 100 \quad (18)$$

onde: m<sub>gordura</sub> = resíduo obtido no béquer após estufa

m<sub>amostra</sub> = massa de polpa de maracujá utilizada.

Para o leite, o teor de gordura foi dado pelo valor obtido na escala do butirômetro corresponde diretamente à porcentagem de gordura.

Para a determinação de proteínas da polpa de maracujá utilizou-se o método de micro-Kjeldahl (AOAC, 1995). O teor de proteínas é dado pela equação (19b).

$$\% \text{ Nitrogênio} = \frac{V * 0,014 * f}{m_{amostra}} * 100 \quad (19a)$$

$$\% \text{ Proteínas} = \% \text{ Nitrogênio} * 6,25 \quad (19b)$$

Onde: V = volume de HCl (mL)

$m_{\text{amostra}}$  = massa da amostra (g)

f = fator de conversão HCl (0,018 N)

Para a determinação quantitativa de pectina na polpa de maracujá utilizou-se o método estático gravimétrico (IAL, 2008). O teor de pectina é dado pela equação (20)

$$\% Pectina = \frac{m_{\text{ácido pectico}}}{m_{\text{amostra}}} * 100 \quad (20)$$

onde:  $m_{\text{ácido pectico}}$  = massa de ácido pectico obtida

$m_{\text{amostra}}$  = massa de amostra usado na precipitação

Determinou-se o teor de fibra alimentar total da polpa de maracujá, de acordo com o método desenvolvido por Guerra et al (2004) para frutos, baseado no método de Li & Cardoso (1994) e reconhecido pelo AOAC. O teor de fibras é dado pela equação (21).

$$\% Fibra Alimentar Total = \frac{m_{\text{fibra}}}{m_{\text{amostra}}} * 100 \quad (21)$$

onde:  $m_{\text{fibra}}$  = massa de fibra;

$m_{\text{amostra}}$  = massa de amostra utilizada.

#### 4.4. Ensaio no Secador “Spray Dryer”

A secagem da polpa de maracujá com aditivos e leite desnatado foi realizada no Laboratório de Produtos Funcionais da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA/USP campus de Pirassununga). O aparelho utilizado foi um mini “spray dryer” da Labmaq do Brasil Ltda, modelo MSD 1.0 com controle de temperatura (máximo de 200°C), vazão de produto (máximo 1,0 L/h) e de ar de secagem (máximo

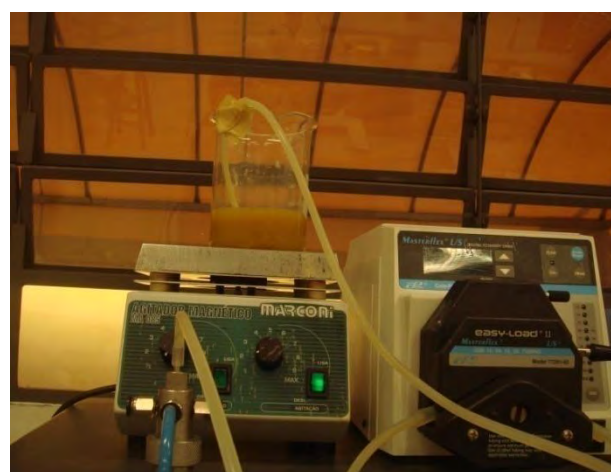
0,60 m<sup>3</sup>/minuto), e altura, comprimento e largura de 1,8 , 0,8 e 0,5 m, respectivamente, com peso de 160 kg (Figura 2). A alimentação é bombeada através de bomba peristáltica com mangueiras de silicone de diâmetros interno e externo de 2,0 e 6,0 mm, respectivamente.



(A)



(B)



(C)

**Figura 2:** (A) Secador mini “spray dryer” utilizado na secagem das amostras. (B) Painel de controle de temperatura e vazão do produto. (C) Alimentação sendo bombeada para o secador.

Inicialmente foram realizados alguns testes para verificar quais as melhores condições do processo em relação à temperatura de entrada e vazões volumétricas do produto.

Para todas as amostras, a vazão de ar de secagem foi de 30 L/hora, sendo esta a vazão máxima conseguida para as análises, já que o ajuste de uma maior vazão dependia da presença de técnicos especializados da empresa fabricante do equipamento. As proporções utilizadas em todos os testes foram em relação ao teor de sólidos de cada componente. Agitaram-se as amostras antes da alimentação no “spray dryer” em agitador ultra-turrax IKA<sup>®</sup> T25 digital para homogeneização completa de todos os componentes, e durante a alimentação, em agitador magnético (Marconi MA 085) a fim de manter a homogeneização da amostra durante todo o processo de secagem. Antes de começar a alimentação, verificava-se o encaixe do ciclone e da câmara de secagem, ajustava-se a temperatura do ar de secagem e esperava-se 30 minutos até estabilização da mesma, para então ajustar a vazão da alimentação e ligar a bomba peristáltica. Após cada teste, a câmara de secagem, o ciclone, o bico atomizador e o pote coletor eram lavados para o próximo teste e, após encaixe de todas as partes, o secador era novamente ligado para estabilização da temperatura.

Realizaram-se diversos testes variando temperatura, aditivo utilizado, utilização ou não do leite desnatado, proporções entre os componentes (polpa de maracujá:aditivos maltodextrina ou goma Arábica:leite desnatado) e vazão de alimentação.

A Tabela 2 mostra os testes com as respectivas condições de processo e proporções entre os componentes. Antes da avaliação da proporção dos componentes, tentou-se secar polpa de maracujá pura (sem aditivos) a 120 e 140 °C, vazão de alimentação de 0,6 L/h e 0,4 L/h, porém, como o rendimento foi praticamente irrisório, partiu-se para os ensaios com aditivos.

No primeiro teste com aditivos, foram misturados, numa proporção de 2:1:1 (p/p), polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado. As condições do processo foram de 120°C, com 0,6 L/h de vazão de alimentação. Os demais ensaios com as respectivas proporções dos componentes encontram-se na Tabela 2. Com exceção do teste 2 que utilizou temperatura de 140°C, todos os outros ensaios foram realizados à 120°C. A vazão de alimentação foi de 0,4 L/h, exceto para o teste 1.

**Tabela 2:** Ensaios de secagem no “spray dryer” das amostras de polpa de maracujá, variando o uso e a proporção dos três aditivos (maltodextrina, goma Arábica e leite desnatado).

<b>Ensaio</b>	<b>Aditivo</b>	<b>Proporção (maracujá:maltodextrina ou goma Arábica:leite)</b>
1	maltodextrina	2:1:1
2	maltodextrina	2:1:1
3	maltodextrina	2:1:1
4	maltodextrina	3:2:0
5	maltodextrina	1:8:0
6	goma Arábica	1:8:0
7	goma Arábica	1:6:0
8	goma Arábica	1:4:4
9	goma Arábica	1:2:6
10	-	1:0:8
11	maltodextrina	1:4:4
12	maltodextrina	1:2:6

#### **4.5. Ensaios no secador Pulso-Fluidizado**

Realizaram-se testes no secador do tipo pulso-fluidizado no Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (DETA) da UNESP de São José do Rio Preto, onde o secador foi construído. Este secador de leite fluidizado (Figura 3) é formado e funciona conforme descrito no item 4.5.1.

Antes da realização dos testes no “spray dryer”, fizeram-se testes preliminares no secador pulso-fluidizado para determinação dos melhores parâmetros de processo (temperatura, vazão de produto, vazão de ar de secagem e tempo de secagem), porém, utilizou-se uma solução de 70% de maltodextrina (3:7), pois ainda não haviam sido realizados os ensaios no “spray” para determinação das melhores proporções dos componentes para a amostra. Após os testes no “spray”, novos testes foram realizados no pulso-fluidizado, para determinação do rendimento do produto, porém com as condições de processo estabelecidas nos testes preliminares.

#### **4.5.1. Partes do secador e seu funcionamento.**

Ventilador centrífugo que confere velocidade ao ar de entrada com uma potência de 2 CV (Figura 3); Compartimento de aquecimento do ar, com 8 resistências de 1200W de potência cada e 1 resistência de 1000W; Painel de controle (Figura 4) que possui oito disjuntores que acionam as resistências elétricas de 1200W, um potenciômetro, que regula a corrente que passa pela resistência de 1000W para o ajuste fino da temperatura, uma chave trifásica destinada ao acionamento do motor elétrico do ventilador centrífugo e um relé de tempo que controla a abertura da válvula solenóide responsável pela pulsação do ar; Câmara de secagem (leito de inertes) com formato cilíndrico de aço galvanizado, com diâmetro de 150mm e altura de 450mm, com um vidro acoplado no cilindro, que permite a visualização do fluidizado (Figura 3). Na base do leito foi acoplada uma tela de inox; Placa perfurada de nylon (Figura 9) responsável pela homogeneização da velocidade do ar; Sistema de pulsação composto por uma válvula tipo borboleta (Figura 10) movimentada por uma válvula solenóide da marca Soletec, da série E, modelo 075, com 30 mm de curso. A solenóide foi instalada na lateral da tubulação de ar, logo abaixo do leito de inertes. A válvula borboleta realizava um movimento giratório máximo de 90° em relação ao fluxo de ar; Relé de tempo, instalado no painel de controle, da Marca Seltron, modelo RDT-M para o controle dos tempos de abertura da válvula borboleta, permitindo a regulação dos intervalos de pulsação de ar no leito; Sistema de vibração, constituído de 4 coxins de borracha parafusados na parte inferior onde se fixa a câmara de secagem. A vibração se dá por um eixo excêntrico acoplado a um motor elétrico. O motor conta ainda com um regulador de frequência que permite ajustar a rotação desejada ao movimento; Compartimento de armazenagem da polpa, de aço galvanizado de 15x15x15cm, com um volume de 3375 ml. O compartimento é localizado logo abaixo do leito e é ligado à bomba dosadora por mangueiras plásticas transparentes, com diâmetro interno de 4mm e diâmetro externo de 6mm; Sistema de alimentação de polpa (Figuras 7 e 8), que fazem parte uma bomba dosadora da polpa tipo diafragma, marca Injetronic modelo V – 1.5/4 com voltagem de 220V, localizada acima da câmara de secagem e o tubo de injeção da polpa com diâmetro externo de 3.2mm e diâmetro interno de 2.0mm, localizado na base inferior da câmara de secagem; Ciclone (Figura 5) de aço galvanizado com diâmetro interno de 300mm e altura de 400 mm na parte cilíndrica. A parte cônica do ciclone

possui diâmetro superior com a mesma medida da parte cilíndrica e diâmetro inferior igual a 110mm, sendo sua altura de 750mm; Recipiente de recolhimento de pó (Figura 5) de acrílico localizado abaixo do ciclone.

As partículas inertes utilizadas na secagem eram esferas de teflon (Figura 6) com diâmetro de 10 mm, apresentando uniformidade de tamanho, densidade igual a  $2200 \text{ kg/m}^3$ , condutividade térmica de  $0,2 \text{ W/m K}$  e dilatação linear igual a  $100 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

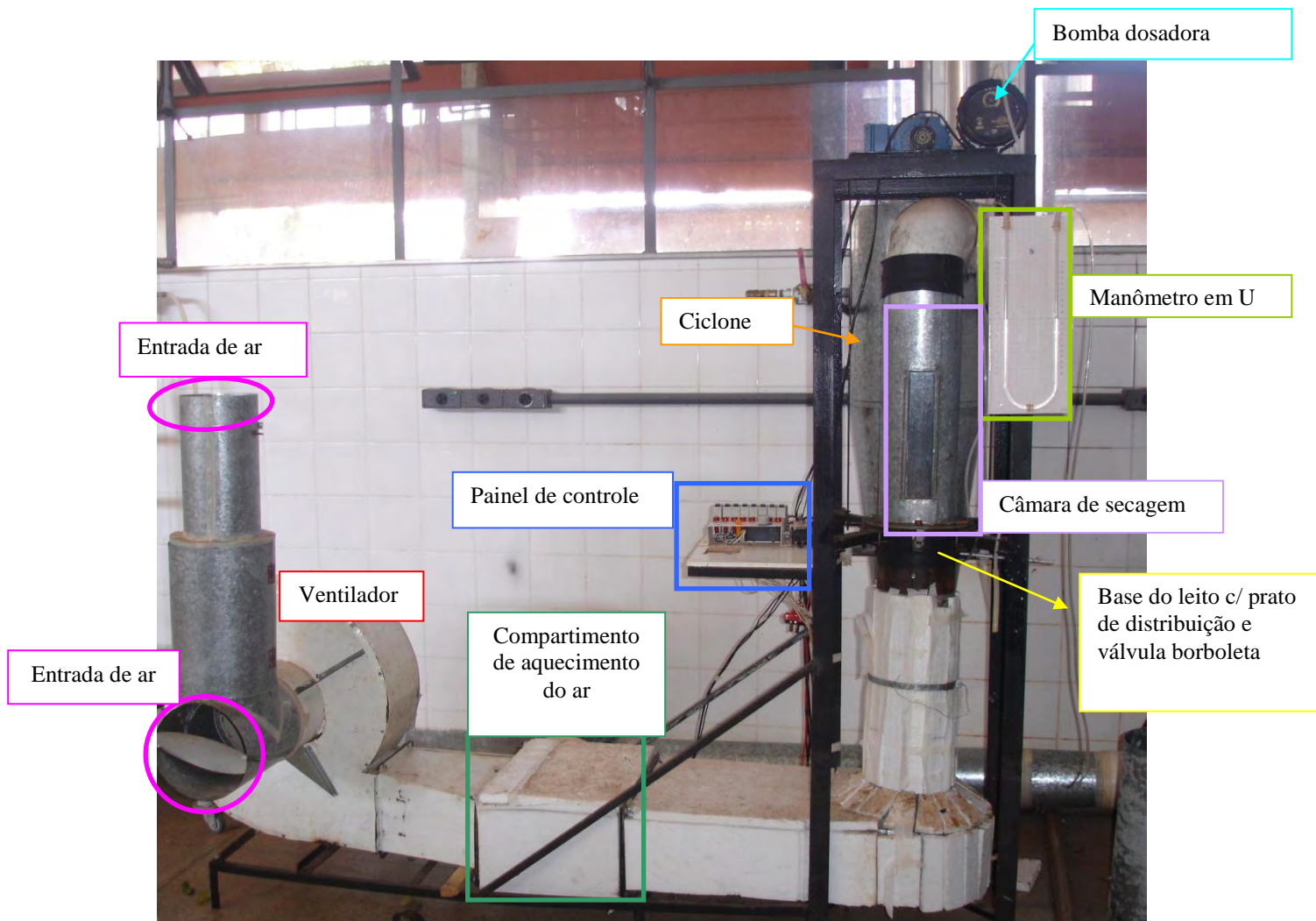
A operação de secagem foi iniciada pelo ajuste da temperatura através dos disjuntores e do potenciômetro. A velocidade desejada foi ajustada através de uma válvula tipo borboleta que se localiza na tubulação pela qual o ar entra no ventilador. A temperatura foi medida na base do leito de inertes e na saída do ciclone através de termopares conectados a um indicador de temperatura digital. A velocidade foi medida na saída do ciclone através de um anemômetro de ventoinha (Air Flow LCA 6000). Desta maneira o secador foi previamente colocado em condições de secagem meia hora antes do início dos experimentos.

O ventilador fornece o ar que passa pelo aquecedor, e em seguida entra no leito de inertes promovendo a fluidização. Ao mesmo tempo a polpa é injetada de acordo com a vazão da bomba. A polpa armazenada abaixo do leito é transportada por mangueiras plásticas até a bomba e então é direcionada ao tubo injetor na base do leito.

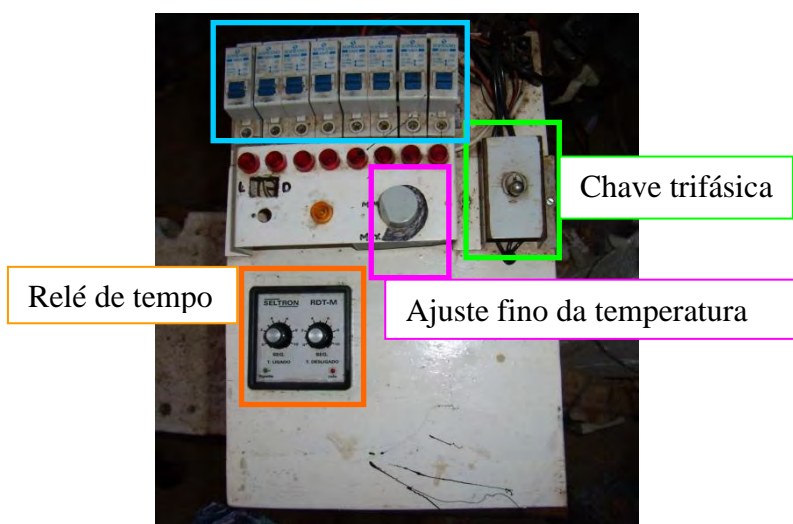
Após passar pelo leito de inertes o ar é conduzido até um ciclone, onde as partículas são separadas do ar e recolhidas no recipiente localizado na base do ciclone, e o ar limpo sai para o ambiente.

Nos experimentos realizados a velocidade do ar foi fixada por volta de  $7 \text{ m/s}$ . Todos os experimentos foram realizados com placa distribuidora, sem recirculação de ar e esferas de teflon. Na secagem da polpa com o secador pulso-fluidizado foi utilizada a válvula borboleta com um ângulo de  $90^\circ$  e o tempo de pulsação foi de  $2\text{s}$  para a fase ativa e  $2\text{s}$  para a fase inativa. Os experimentos foram feitos em duplicata.

Inicialmente tentou-se secar a polpa de maracujá pura (sem aditivos) nas temperaturas de  $50$ ,  $60$  e  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , nas condições mencionadas no parágrafo anterior e com vazão de  $2,5 \text{ ml/minuto}$ .

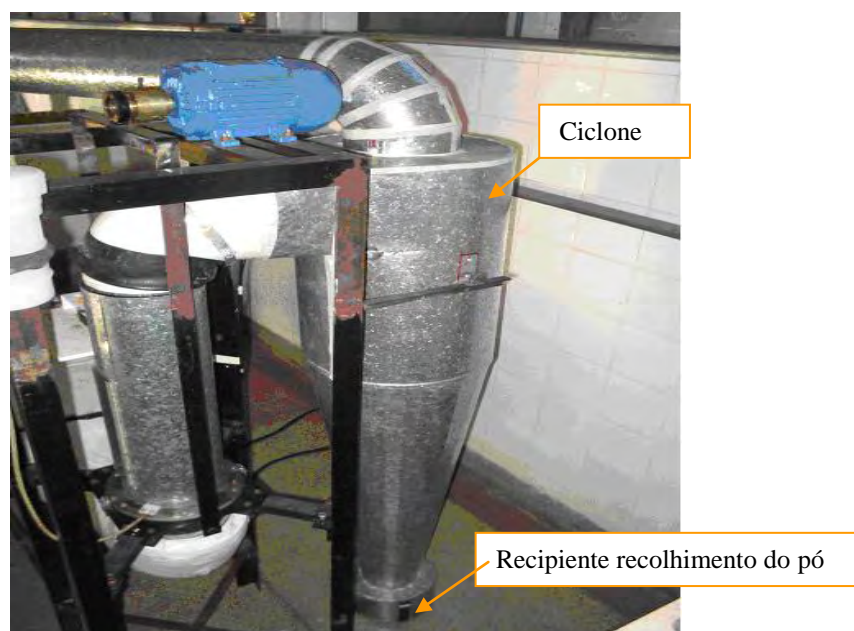


**Figura 3:** Secador de leito fluidizado do Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos (IBILCE/UNESP).



**Figura 4:** Painel de controle do secador de leito fluidizado.

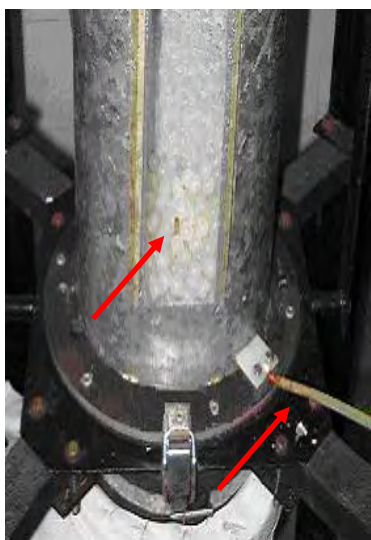




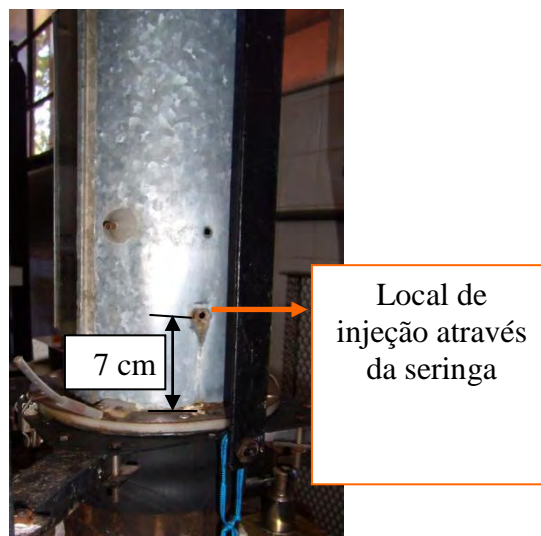
**Figura 5:** Foto do ciclone com o recipiente de recolhimento do pó do secador de leite fluidizado.



**Figura 6:** Esferas de teflon usadas no secador de leite fluidizado.



**Figura 7:** Vista frontal da câmara de secagem com tubo injetor da alimentação.



**Figura 8:** Vista lateral da câmara de secagem com orifício de injeção de alimentação.



**Figura 9:** Placa perfurada de nylon.



**Figura 10:** Válvula borboleta aberta (90°) responsável pelo sistema de pulsação.

#### 4.5.2. Ensaios preliminares com solução de polpa de maracujá:maltodextrina (3:7)

Foram feitos alguns experimentos preliminares a fim de estudar a influência do modo de injeção da polpa (bomba dosadora ou seringa) e do período de injeção da polpa (toda a amostra no início da secagem, metade no início e metade após 15 minutos e a cada 1 minuto, neste último totalizando 30 injeções) com maltodextrina sobre a quantidade de pó produzido. A concentração escolhida de maltodextrina 10 DE foi 70% (polpa:maltodextrina na relação de 3:7). Os experimentos foram realizados a 70, 75 e 80°C, com uma vazão de ar de 7 m/s e tempo de secagem de 30 minutos, pois com

tempos maiores de secagem, não foi obtido um aumento considerável no rendimento, ocasionando apenas maior gasto energético pelo maior tempo do processo (PEDRO, 2007). A alimentação foi realizada com bomba e com injeções utilizando seringa de 20 ml a fim de verificar qual o melhor tipo de alimentação para prosseguimento dos testes. Variou-se também o tempo de alimentação, tendo sido realizadas alimentações a cada 15 minutos, a cada 1 minuto e injetando-se toda a amostra no início do processo. Os ensaios realizados estão na Tabela 3.

**Tabela 3:** Ensaios para análise da influência do modo e período de injeção da polpa de maracujá e maltodextrina (3:7).

<b>Temperatura</b>	<b>Modo de injeção</b>	<b>Vazão (ml/min)</b>
70°C	Bomba dosadora/ h bico + alto	2.5 ml/min
	Bomba dosadora/ h bico - alto	2.5 ml/min
	Seringa	2.5 ml/min
	Seringa	30 ml/15min
	Seringa	37.5 ml/15 min
	Seringa	50 ml/15 min
75°C	Seringa	75 ml direto
	Seringa	37.5 ml/15 min
80°C	Seringa	20 ml/15 min
	Seringa	30 ml/15 min
	Seringa	37.5 ml/15 min
	Seringa	40 ml/15 min

Após escolhido o tipo (seringa) e o tempo de cada injeção de alimentação (a cada 15 minutos), realizaram-se novos testes variando-se a proporção de polpa:maltodextrina, temperatura e vazões de alimentação da amostra a fim de verificar qual ensaio apresentaria maior rendimento (Tabela 4).

A polpa de maracujá com maltodextrina foi injetada através de uma seringa de 20 ml de 15 em 15 minutos durante um período de 30 min. Finalizada a secagem as amostras de pó produzidas foram pesadas em uma balança de precisão (OHAUS®).

**Tabela 4:** Ensaios para avaliação do rendimento do pó produzido em função da concentração de maltodextrina, da temperatura de secagem e da vazão da amostra.

<b>Experimento</b>	<b>Maltodextrina 10 DE (%)</b>	<b>Vazão da amostra (ml/15 min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
1	50	30	50
2	50	30	80
3	50	37.5	50
4	50	37.5	80
5	80	30	50
6	80	30	80
7	80	37.5	50
8	80	37.5	80
9	40	34	65
10	90	34	65
11	65	27	65
12	65	40	65
13	65	34	40
14	65	34	90
15	65	34	65
16	65	34	65
17	70	34	70
18	70	50	70

Através dos melhores resultados obtidos, escolheu-se como modo de injeção a seringa de 20 ml num período de injeção a cada 15 minutos, totalizando 2 injeções, temperatura de 70°C, vazão da polpa de 75 ml e proporção polpa:maltodextrina de 3:7 para os ensaios com polpa de maracujá, maltodextrina e leite desnatado.

#### 4.5.3. Ensaios com solução de polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado (PML)

Baseado nas melhores condições de processo conseguidas nos ensaios anteriores (seção 4.5.2), substituiu-se parte da maltodextrina pelo leite desnatado a fim de avaliar a influência dele no rendimento do processo. Realizaram-se os testes com o leite desnatado, juntamente com a polpa de maracujá e a maltodextrina. As condições do secador foram de 70°C, 75 ml de amostra injetada e 30 minutos de operação, injetando 37,5 ml no início e 37,5 ml após 15 minutos com a seringa de 20 ml. A proporção polpa de maracujá:aditivos foi mantida em 3:7, sendo que como aditivos foram utilizados a maltodextrina e o leite desnatado e a proporção destes variada de acordo com a Tabela 5. O primeiro teste foi realizado com 20% de leite e 50% maltodextrina, o segundo com 50% de leite e 20 % maltodextrina e o terceiro com 70% de leite.

**Tabela 5:** Ensaios realizados no secador pulso fluidizado para as amostras de polpa de maracujá: maltodextrina: leite desnatado (PML), com 70% dos sólidos sendo proveniente dos aditivos maltodextrina e leite desnatado.

Solução	Teste	Proporção dos componentes
PML	Sem leite	3:7:0
	1	3:5:2
	2	3:2:5
	3	3:0:7

#### 4.5.4. Ensaios realizados no pulso-fluidizado com as melhores proporções encontradas no “spray dryer”

Após determinação das proporções a serem utilizadas nos ensaios através dos testes em “spray dryer”, foram realizados os ensaios no pulso fluidizado para obtenção dos pós nas proporções de 1:4:4 (polpa:maltodextrina:leite) e 1:2:6 (polpa:goma

Arábica:leite - PGL) (Tabela 6) à 70°C, tempo de secagem de 30 minutos, vazão de ar a 7,0 m/s e com alimentação através de seringa com 37,5 ml no início e 37,5 ml após 15 minutos. A avaliação do rendimento foi feita conforme equação (9).

**Tabela 6:** Ensaios no secador pulso-fuidizado para avaliação do rendimento das amostras de polpa:maltodextrina:leite (PML) e polpa:goma Arábia:leite (PGL) a 70°C com 30 minutos de secagem.

Amostras	Proporção
PML	1:4:4
PGL	1:2:6

#### 4.6. Ensaios no Liofilizador

De posse das melhores proporções obtidas nos ensaios com o secador “spray dryer”, realizaram-se os testes no liofilizador (L101 – Liobrás, São Carlos, Brasil) com 4 amostras: polpa de maracujá pura, leite desnatado puro, PML na proporção de 1:4:4 e de PGL na proporção de 1:2:6. O liofilizador usado nos ensaios é mostrado na Figura 11.



**Figura 11:** Liofilizador utilizado nos ensaios de secagem de PML e PGL.

O liofilizador é constituído de uma câmara cilíndrica de acrílico de 35 cm com tampa superior de aço inox, com 8 torneiras com adaptador de silicone para o encaixe dos frascos de vidro. No interior da câmara de secagem existe uma prateleira que serve como suporte para quatro bandejas de aço inox. As amostras podem ser colocadas nas bandejas ou nos frascos de vidro acoplados às torneiras da tampa. O vácuo é produzido por uma bomba conectada à lateral do liofilizador por uma mangueira. Na parte frontal do equipamento existe um painel digital que indica a temperatura e a pressão de trabalho.

Para o preparo das amostras, cobriram-se as bandejas de inox do liofilizador com papel alumínio, colocou-se a amostra e em seguida estas foram colocadas no freezer à  $-29^{\circ}\text{C}$  por 48 horas para congelamento. Colocaram-se as bandejas no liofilizador e ligou-se o vácuo para obter uma pressão menor que  $300\ \mu\text{mHg}$ , a cerca de  $-40^{\circ}\text{C}$ . As amostras ficaram no equipamento por 24 horas. Após este período, desligou-se o sistema de vácuo e retiraram-se as bandejas para coleta das amostras. As amostras foram armazenadas em sacos plásticos selados. Antes de serem utilizadas nos ensaios, as amostras eram moídas em almofariz com auxílio de pistilo, sendo armazenadas em dessecador dentro dos sacos plásticos caso houvesse a necessidade de uso posterior.

#### 4.7. Isotermas de Sorção

As isotermas foram construídas através do método estático gravimétrico, de pesagens sucessivas até a obtenção de peso constante. Essas foram realizadas utilizando-se amostras do pó nas temperaturas de 20, 30, 40 e  $50^{\circ}\text{C}$  (JOWITT *et al.*, 1983). Foram utilizadas amostras em triplicatas de 1 g do pó obtido. Dez soluções saturadas selecionadas (NaOH, LiCl,  $\text{KC}_2\text{H}_3\text{O}_2$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{NaNO}_2$ , NaCl, KCl,  $\text{BaCl}_2$ ) foram utilizadas para se obter diferentes umidades relativas numa faixa de 0,059 a 0,907 (Tabela 7). As amostras utilizadas foram aquelas cujas proporções entre os componentes obtiveram melhor rendimento nos ensaios com o “spray dryer” (seção 5.2), sendo assim, escolheram-se as amostras de PML na proporção de 1:4:4 e PGL (1:2:6) obtidas no “spray dryer” e no liofilizador.

Cada solução foi transferida para um pote hermético de 200 mL, que possui no seu interior um tripé, o qual serve como suporte para os recipientes de plásticos com as

amostras. Antes do uso dos potes e suportes, eles foram desinfetados com água sanitária comercial. As amostras, de massa inicial conhecida, foram colocadas sobre um recipiente de plástico suportado pelo tripé e os potes fechados e mantidos em estufa com circulação de ar e temperatura controlada. Foram realizadas quantificações semanais da massa em balança analítica, até massa constante. O tempo requerido de equilíbrio variou de 4 a 8 semanas.

**Tabela 7:** Atividades de água ( $a_w$ ) das soluções saturadas utilizadas para construção das isotermas de sorção dos pós obtidos (RAHMAN, 1995).

Solução Saturada	$a_w$			
	20°C	30°C	40°C	50°C
NaOH	0,07	0,069	0,066	0,059
LiCl	0,113	0,112	0,111	0,11
CH <sub>3</sub> COOK	0,246	0,223	0,206	0,189
MgCl <sub>2</sub>	0,331	0,324	0,319	0,314
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	0,446	0,439	0,432	0,432
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	0,547	0,526	0,506	0,489
NaNO <sub>2</sub>	0,655	0,635	0,615	0,599
NaCl	0,754	0,756	0,753	0,746
KCl	0,853	0,835	0,82	0,809
BaCl <sub>2</sub>	0,907	0,9	0,893	0,884

#### 4.8. Avaliação da Qualidade do Produto Final em Pó

Todos os ensaios de qualidade do produto final em pó foram realizados com as amostras PML (1:4:4) e PGL (1:2:6) atomizadas e liofilizadas.



#### 4.8.1. Molhabilidade

Este teste foi realizado baseando-se na metodologia proposta por VISSOTTO et al. (2006). O método consiste na queda de 2,0 g de amostra sobre 400 ml de água destilada a temperatura ambiente, em béquer de 1.000 ml de 12 cm de diâmetro onde a amostra foi colocada em placa de vidro com papel alumínio e uma espátula foi passada na mesma para queda da amostra de forma homogênea sobre a superfície do líquido. A medição do tempo necessário foi realizada por cronômetro digital até que, visualmente, todas as partículas fossem molhadas. As medições foram realizadas com cinco repetições para cada amostra.

#### 4.8.2. Dispersibilidade

Seguiu-se a metodologia proposta por JAYA e DAS (2004), onde aproximadamente 13 gramas da amostra foram agitadas com bastão de vidro com 100 gramas de água a 50°C em becker por aproximadamente 15 s. A solução foi filtrada com papel filtro de 14 µm, sendo a matéria seca estimada, medindo-se a umidade do filtrado em estufa a 105 °C por 7h em duplicata.

A dispersibilidade foi calculada através da equação (22):

$$DS(\%) = \frac{(w + a)S_p}{a.S_j} \quad (22)$$

Onde w = massa da água (g);  $S_p$  = porcentagem do sólido total presente no pó;  $S_j$  = porcentagem de matéria seca do “mix” reconstituído; a = massa da amostra usada (g).

#### 4.8.3. Higroscopicidade

Este experimento foi realizado baseando-se no método descrito em JAYA e DAS (2004). Em triplicata, cerca de 3g de amostra foi acondicionada em placa de Petri

pequena dentro de dessecadores com umidade relativa de equilíbrio de 80,99% a 25°C, obtida pela utilização de solução saturada de sulfato de amônio. As amostras foram mantidas em estufa incubadora (Tecnal TE- 391) a 25°C e pesadas a cada 15 minutos até que a diferença entre duas pesagens sucessivas não excedesse 0,5%.

A higroscopicidade dos pós,  $H_i$  (%) foi calculada através da equação (23):

$$H_i = \frac{b/a + W_i}{1 + b/a} \quad (23)$$

onde:  $b$  = é o aumento de massa dos pós (g);  $a$  = quantidade de amostra total utilizada no experimento (g);  $W_i$  = umidade do pó antes da realização do experimento (% , b.u.).

#### 4.8.4. Grau de Aglomeração

O grau de aglomeração foi avaliado baseando-se no método utilizado por NIJDAM e LANGRISH (2006). A amostra, acondicionada de acordo com a metodologia do teste de higroscopicidade, foi levada à estufa a 102°C por 1 h. Após resfriada em dessecador, cerca de 1,5 g de amostra em triplicata foi pesada e rapidamente transferida para peneira de aço inoxidável (peneira Tyler) de 590  $\mu\text{m}$  (# 28) com sistema vibratório por 5 minutos. O pó que atravessou a peneira foi pesado e o índice de aglomeração determinado pela equação (24):

$$GA = \frac{M_T - M_F}{M_T} \times 100 \quad (24)$$

onde:  $M_T$  = massa total de amostra;  $M_F$  = massa de amostra fina que atravessa a peneira.

#### 4.8.5. Determinação da Cor

A coloração dos pós foi determinada através de um colorímetro Hunter Lab. As análises foram feitas com oito repetições para cada amostra.

A cor foi analisada para três diferentes parâmetros integralizados em um diagrama tridimensional que mostra a coloração do produto.  $L^*$  varia de 0 a 100, em que o valor 0 indica o preto e valor 100, o branco. A coordenada  $a^*$  varia do vermelho ( $+a^*$ ), localizado a  $0^\circ$  ou  $360^\circ$ , ao verde ( $-a^*$ ), que está a  $180^\circ$  (na ausência dos componentes amarelo ou azul). O valor  $b^*$ , na ausência dos componentes verdes ou vermelhos, varia do amarelo ( $+b^*$ ) a azul ( $-b^*$ ), que estão a  $90^\circ$  e  $270^\circ$  respectivamente (SHEWFELT et al., 1988).

A medição constou simplesmente de uma pré-calibração do equipamento com as cores preta e branca, seguida da exposição da amostra, ao visor do equipamento, o qual forneceu instantaneamente os valores das coordenadas  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$ .

#### **4.8.6. Umidade**

A umidade do produto foi determinada em estufa a vácuo, a uma temperatura de  $60^\circ\text{C}$  por 48 h e a medição feita em triplicata.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análises Físico-Químicas

Os resultados das análises físico-químicas da polpa de maracujá e do leite desnatado são mostrados nas Tabelas 8 e 9, respectivamente.

**Tabela 8:** Análises físico-químicas realizadas para a polpa de maracujá.

	<b>Valores</b>
<b>Umidade (base úmida)</b>	84,68 ± 0,09
<b>Umidade (base seca)</b>	552,94 ± 3,63
<b>Sólidos Totais (100-Umidade (bu))</b>	15,32 ± 0,09
<b>Sólidos Solúveis</b>	11,7 ± 0,4
<b>pH</b>	2,88 ± 0,01
<b>Cinzas</b>	0,89 ± 0,02
<b>Acidez Total Titulável</b>	4,92 ± 0,04
<b>Açúcares Redutores</b>	2,94 ± 0,05
<b>Açúcares Totais</b>	6,30 ± 0,12
<b>Gordura</b>	0,83 ± 0,02
<b>Proteínas</b>	1,68 ± 0,02
<b>Pectina</b>	0,0015 ± 0,0002
<b>Fibra Alimentar Total</b>	0,61 ± 0,03

Os valores encontrados nas análises físico-químicas da polpa de maracujá e do leite desnatado estão de acordo com os da literatura para ambos os produtos. Algumas pequenas diferenças podem ser atribuídas à variedade de maracujá utilizada, época de cultivo e forma de extração da polpa (despolpadeiras certamente possibilitam melhor rendimento do que extração em liquidificador). O maracujá apresenta alto teor de umidade e açúcares, porém baixos níveis de gordura, proteína, pectina e fibras, sendo estes últimos mais encontrados na casca e albedo do fruto (MACHADO et al, 2003, DE

MARCHI et al., 2000, TACO, 2006, GRATÃO, 2006, TUMA et al., 1980, USDA, 2009, GUERRA et al., 2004).

**Tabela 9:** Análises físico-químicas realizadas para o leite desnatado UHT.

	<b>Valores</b>
<b>Umidade (base úmida)</b>	91,03 ± 0,01
<b>Umidade (base seca)</b>	1014,82 ± 1,81
<b>Sólidos Totais (100-Umidade (bu))</b>	8,97 ± 0,01
<b>Sólidos Solúveis</b>	9,6 ± 0,1
<b>pH</b>	6,48 ± 0,02
<b>Cinzas</b>	0,91 ± 0,05
<b>Acidez Total Titulável</b>	0,15 ± 0,01
<b>Lactose (açúcares redutores)</b>	4,27 ± 0,27
<b>Gordura</b>	0,15 ± 0,01

O leite desnatado também apresentou valores semelhantes aos analisados em outros trabalhos, com algumas diferenças devido provavelmente às diferentes marcas comerciais analisadas. Os teores de lactose ( $4,27 \pm 0,27$ ) e gordura ( $0,15 \pm 0,01$ ) estão de acordo com o encontrado para leite desnatado por outros autores (GONZÁLEZ, DURR, FONTANELI, 2001, CECCHI, 2003, USDA, 2009).

## 5.2. Ensaio no secador “Spray Dryer”

Na Tabela 10 estão listados os resultados obtidos para os testes realizados no “spray”. Não se obteve pó com a secagem da polpa de maracujá pura em nenhuma das condições utilizadas. Na secagem da polpa de maracujá pura a 140 °C verificou-se aderência da amostra na câmara, seguida de caramelização, e na vazão de 0,6 L/h, parte da alimentação escorria pela câmara de secagem. Porém, em nenhuma das condições utilizadas para secagem da polpa sem aditivos conseguiu-se obter pó, pelos mesmos motivos mostrados na seção 5.2. Em temperaturas geralmente usadas em atomizadores,

tais compostos de baixo peso molecular (açúcares e ácidos orgânicos do maracujá) tendem a apresentar os problemas de adesão às paredes da câmara de secagem, além de coesão (adesão das partículas entre si), podendo mesmo produzir um produto pastoso ao invés de um pó (ROOS, 1995; BHANDARI et al, 1997).

Através dos ensaios realizados (Tabela 10), observou-se que com proporção de polpa:aditivos menor que 1:8 (ensaios 1 a 4) obteve-se rendimento baixo, com grande quantidade de amostra aderida nas paredes da câmara de secagem e do ciclone, não sendo possível aproveitar o material. Para vazões acima de 0,4 L/h, a alimentação escorria pela câmara de secagem, dificultando a secagem e com perdas grandes de amostra, enquanto a temperaturas maiores que 120°C, houve caramelização da amostra. Logo, os melhores parâmetros encontrados para a secagem no “spray dryer” foram de 0,4 L/h a 120°C e proporção de polpa:aditivos de 1:8.

Teve-se então que a proporção polpa de maracujá:aditivos com os melhores rendimentos foi de 1:8. Embora tenha-se conseguido produção de pó na proporção de 1:6 (teste 7), verificou-se um rendimento muito menor quando comparado à proporção de 1:8. Por este motivo, optou-se pela produção do pó com esta proporção. A proporção de aditivos apresentou-se bem maior que o esperado e proposto neste projeto, porém, devido aos baixos rendimentos obtidos com menores proporções de aditivos (testes 1 a 4 e teste 7), teve-se que aumentar a porcentagem de aditivo para produção do pó. Oliveira (2008) trabalhou com aspensão de suco de caju comercial (11,4% de sólidos solúveis) utilizando maltodextrina e goma de cajueiro como aditivos. A melhor proporção de suco:maltodextrina (DE 10) foi de 1:5, tendo sido avaliados de 1:2 até 1:5, em relação aos sólidos secos. Esta proporção está um pouco menor que a utilizada neste trabalho para o maracujá (1:8), porém, deve-se considerar que o teor de ácidos orgânicos do caju (cerca de 0,8 a 1,2 % segundo Castro et al, 2007) é menor que o do maracujá, diminuindo assim os problemas durante a secagem. Já o teor de açúcares de ambos os frutos é muito próximo, variando de 4,72 a 8,28% em açúcares totais para o suco de caju, de acordo com a marca comercial (CASTRO et al, 2007). Há também a diferença entre o tipo de aditivo utilizado, que no caso de Oliveira (2008) foi uma mistura de maltodextrina e goma de cajueiro.

Utilizando a maltodextrina como aditivo, o maior rendimento (23,32%) obtido foi para a proporção de 1:4:4, ou seja, 50% dos sólidos do aditivo substituído por leite desnatado. Já para a goma Arábica, os melhores resultados foram obtidos para a proporção de 1:2:6 (21,96%), com 75% dos sólidos do aditivo substituído por leite

desnatado. Foi possível observar também que a total substituição dos aditivos pelo leite desnatado também proporcionou bons resultados (15,5%), porém, menor que aqueles onde utilizou-se maltodextrina ou goma Arábica.

Tem-se que a goma Arábica apresenta uma temperatura de transição vítrea maior que a da maltodextrina (entre 38 e 60°C para a maltodextrina de 20 DE e 42,6 e 62,3°C para goma Arábica, dependendo da umidade da amostra) (RIGHETTO & NETTO, 2000; COLLARES et al, 2004). Talvez por isto, seja mais efetiva que a maltodextrina, podendo ser utilizada em menor proporção, já que os resultados obtidos mostram que a substituição de 75 % da goma por leite desnatado obteve melhores rendimentos, já para a maltodextrina, este valor foi de 50 % de substituição.

**Tabela 10:** Massas de pó obtidas nos testes preliminares de secagem em “spray dryer” e seus respectivos rendimentos.

<b>Ensaio</b>	<b>Aditivo</b>	<b>Proporção</b> <b>(maracujá:aditivo:leite)</b>	<b>Massa de sólidos</b> <b>inicial (g)</b>	<b>Massa de pó</b> <b>obtido (g)</b>	<b>Rendimento</b> <b>(%)</b>
1	maltodextrina	2:1:1	45	0	0
2	maltodextrina	2:1:1	45	0	0
3	maltodextrina	2:1:1	45	0	0
4	maltodextrina	3:2:0	25	0,001	0,004
5	maltodextrina	1:8:0	67,5	9,49	14,06
6	goma Arábica	1:8:0	67,5	11,76	17,42
7	goma Arábica	1:6:0	52,5	2,67	5,09
8	goma Arábica	1:4:4	33,75	6,89	20,41
9	goma Arábica	1:2:6	33,75	7,41	21,96
10	-	1:0:8	33,75	5,23	15,50
11	maltodextrina	1:4:4	33,75	7,87	23,32
12	maltodextrina	1:2:6	33,75	7,46	22,10

A Figura 12 mostra algumas das amostras obtidas no secador “spray dryer” nos testes avaliados.



Teste 7



Teste 8



Teste 9



Teste 12

**Figura 12:** Amostras obtidas em “spray dryer” em alguns dos ensaios realizados (testes 7, 8, 9 e 12).

### 5.3. Ensaios no Secador Pulso-Fluidizado

Conforme o esperado, não foi produzido pó quando se utilizou a polpa de maracujá sem aditivos em nenhuma das condições avaliadas, ficando o material todo aderido na parede da câmara de secagem e nas esferas de teflon. Isto se deve aos altos teores de açúcares e ácidos de baixo peso molecular da polpa de maracujá, produzindo pós muito higroscópicos, suscetíveis de aglomeração e problemas de fluidez, o que se deve à baixa temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) destes compostos (BHANDARI et al, 1997).



Em temperaturas geralmente usadas em secadores, tais compostos de baixo peso molecular tendem a apresentar os problemas de adesão às paredes da câmara de secagem, além de coesão (adesão das partículas entre si), podendo mesmo produzir um produto pastoso ao invés de um pó (ROOS, 1995; BHANDARI et al, 1997).

### **5.3.1. Ensaios preliminares com solução de polpa de maracujá:maltodextrina (3:7)**

Os resultados dos experimentos preliminares realizados com o objetivo de estudar a influência do modo de injeção e do espaço de tempo entre cada injeção da polpa com maltodextrina sobre a quantidade de pó produzida são apresentados na Tabela 11.

Os resultados mostraram que a injeção da polpa com seringa em um orifício localizado 7 cm acima da base do leito proporcionou os melhores resultados. Com o uso da bomba dosadora na base do leito a fluidização era interrompida com o colapso total do leito e mesmo com o efeito da pulsação, as esferas não voltavam a fluidizar. A produção de pó foi muito inferior ao uso da seringa. Isto é um problema a ser resolvido nos ajustes deste secador, pois a bomba dosadora deveria permitir a obtenção de pó, assim como a injeção por seringa, sendo que este tipo de injeção (seringa) foi realizado apenas para tentar-se obter o pó, não sendo utilizado em escala industrial.

Através dos resultados para a injeção com a seringa, verificou-se que a injeção de 15 em 15 minutos proporcionava um maior rendimento de pó, em relação à injeção de 1 em 1 minuto ou a injeção de uma só vez da quantidade total de polpa. Com a injeção constante de polpa não dá tempo para a secagem completa da polpa e liberação do pó das esferas. Portanto os experimentos posteriores foram realizados com a injeção de 15 em 15 minutos. Observa-se também que os maiores rendimentos foram obtidos na maior temperatura (80°C).

**Tabela 11:** Rendimentos dos ensaios da análise da influência do modo e período de injeção da polpa de maracujá e maltodextrina (3:7).

<b>Temperatura</b>	<b>Modo de injeção</b>	<b>Vazão (ml/min)</b>	<b>Massa de pó obtido (g)</b>	<b>Rendimento do pó (%)</b>
70°C	Bomba dosadora/ h bico + alto	2.5 ml/min	0.02	0,07
	Bomba dosadora/ h bico - alto	2.5 ml/min	0.18	0,65
	Seringa	2.5 ml/min	0.82	2.95
	Seringa	30 ml/15min	0.34	1,53
	Seringa	37.5 ml/15 min	1.07	3,85
	Seringa	50 ml/15 min	0.60	2,16
75°C	Seringa	75 ml direto	0.30	1,08
	Seringa	37.5 ml/15 min	0.80	2,88
80°C	Seringa	20 ml/15 min	0.80	5,40
	Seringa	30 ml/15 min	1.34	6,03
	Seringa	37.5 ml/15 min	1,15	4,14
	Seringa	40 ml/15 min	0,44	1,48

Os resultados do rendimento do pó produzido para uma faixa de concentração de maltodextrina (10 DE) de 50 a 80%, da vazão da polpa de 30 a 37.5 ml/15min e da temperatura de secagem de 50 a 80°C são apresentados na Tabela 12.

Em relação à porcentagem de maltodextrina, observa-se que quanto maior a proporção deste aditivo, maior o rendimento, o que já era esperado, pois a função do aditivo é justamente facilitar o processo de secagem. Considerando a vazão de alimentação, tem-se que valores muito baixos apresentam menor rendimento e muito altos também, devido ao colapso do leito de partículas neste caso, sendo a vazão muito alta para a capacidade de secagem do secador, não havendo tempo suficiente para a secagem de todo material injetado.

Os ensaios com leite desnatado em substituição à parte da maltodextrina são mostrados na Tabela 13.

Como se pode observar na Tabela 13, tem-se que quanto maior a proporção de leite, maior o rendimento. Porém, deve-se analisar que os rendimentos encontrados para as mesmas proporções dos componentes (duplicata) encontram-se bastante diferentes. Tal fato pode ser explicado devido ao secador fluidizado, construído recentemente neste Instituto como parte de um projeto de pesquisa, ainda estar em fase de adaptação, apresentando alguns problemas como perda de ar quente e de parte do pó produzido, prejudicando assim a avaliação do rendimento da produção do pó, porém não afetando a qualidade do pó produzido o qual será o parâmetro avaliado após a produção dos pós com as proporções dos componentes estabelecidas no secador “spray dryer”.

De acordo com Langrish, Chan e Cota (2007), em um estudo realizado com aspersão de maltodextrina e leite desnatado, ambos apresentaram as mesmas taxas de coesão e adesão, entretanto, a maltodextrina (DE 18) mostrou menor taxa de deposição que o leite, e particularmente uma menor taxa de adesão que a subsequente coesão de partículas entre elas após o período inicial de secagem. As menores taxas de deposição da maltodextrina foram associadas a sua maior temperatura de transição vítrea comparado ao leite desnatado. Porém, os resultados encontrados neste trabalho para o pulso-fluidizado mostram que quanto maior a substituição da maltodextrina por leite, maior o rendimento. Entretanto, deve-se levar em conta os problemas enfrentados pelo uso do secador de leite fluidizado, da presença da polpa de maracujá no processo de secagem, não apenas maltodextrina ou leite como no estudo de Langrish, Chan e Cota (2005), do fato de estar-se comparando uma secagem por aspersão (“spray dryer”) dos autores, como um secador pulso-fluidizado deste trabalho e da diferença de DE entre as maltodextrinas utilizada neste projeto (DE=10) e no trabalho dos autores (DE=18).

**Tabela 12:** Rendimento do pó produzido em função da concentração de maltodextrina adicionada, da temperatura de secagem e da vazão da polpa.

Experimento	Maltodextrina 10 DE (%)	Vazão da polpa (ml/15 min)	Temperatura (°C)	Rendimento do pó produzido (%)
1	50	30	50	0.15
2	50	30	80	2.91
3	50	37.5	50	0.46
4	50	37.5	80	3.95
5	80	30	50	7.02
6	80	30	80	7.56
7	80	37.5	50	7.18
8	80	37.5	80	8.70
9	40	34	65	0.00
10	90	34	65	7.97
11	65	27	65	4.33
12	65	40	65	2.29
13	65	34	40	1.09
14	65	34	90	10.89
15	65	34	65	3.05
16	65	34	65	2.33
17	70	34	70	4,57
18	70	50	70	2,56

**Tabela 13:** Rendimento e massa de pó obtida no secador pulso fluidizado para as amostras de polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado (PML), com 70% dos sólidos sendo proveniente dos aditivos maltodextrina e leite desnatado.

Solução	Proporção dos componentes	Massa de pó (g)	Rendimento de pó (%)
PML	3:7:0	1,07	3,85
	3:5:2	0,87	5,22
	3:5:2	0,81	4,86
	3:2:5	0,45	4,32
	3:2:5	0,74	7,10
	3:0:7	0,89	10,68
	3:0:7	1,74	20,88

### 5.3.2. Ensaios realizados no pulso-fluidizado com as melhores proporções encontradas no “spray dryer”

O rendimento do pó no secador pulso-fluidizado para avaliação do rendimento das amostras de polpa:maltodextrina:leite e polpa:goma Arábia:leite a 70°C com 30 minutos de secagem é mostrado na Tabela 14.

Os rendimentos obtidos nestes ensaios foram muito pequenos. Tal fato pode ser explicado por problemas enfrentados no secador de leite, como perda de ar quente e de pó durante a secagem e falha no funcionamento do pulso.

**Tabela 14:** Rendimento do pó no secador pulso-fluidizado para avaliação do rendimento das amostras de polpa:maltodextrina:leite e polpa:goma Arábica:leite a 70 °C com 30 minutos de secagem.

Amostras	Massa pó (g)	Rendimento de pó (%)
Polpa:maltodextrina:leite (1:4:4)	0,08	0,66
	0,11	0,91
Polpa:goma Arábia:leite (1:2:6)	0,07	0,78
	0,09	1,00

### 5.4. Ensaios no Liofilizador

Para as amostras liofilizadas, apenas para a amostra de polpa de maracujá pura não obtive bons resultados, pois o maracujá aderiu ao papel alumínio, além de ter ficado com aparência pegajosa, não sendo possível sua remoção do papel e não tendo sido observada desidratação do produto. As amostras de leite desnatado e PML na proporção de 1:4:4 e de PGL na proporção de 1:2:6 apresentaram-se com boa aparência, descolando-se do papel alumínio com facilidade, não tendo sido observado pegajosidade nas amostras desidratadas. A Figura 13 mostra as amostras após desidratação no liofilizador.



Polpa de maracujá pura



PML



PGL



Leite desnatado

PML = polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado

PGL = polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado

**Figura 13:** Amostras após desidratação no liofilizador a  $-29^{\circ}\text{C}$ .

O liofilizador não permite a regulação de temperatura ou de outro parâmetro que pudesse ser variado, por isto, as amostras utilizadas para a construção das isotermas e para os testes de avaliação da qualidade serão obtidas nestas mesmas condições deste teste preliminar.

### 5.5. Comparação entre os três secadores com relação à produção do produto final

Conforme mostrado no início deste trabalho, tem-se que em relação ao investimento inicial, o “spray dryer” e o liofilizador apresentam custo bastante elevado, especialmente este último que também apresenta alto custo na manutenção do frio. Já o pulso-fluidizado torna-se uma opção um pouco melhor em termos de custos, porém, neste trabalho, não foi possível a obtenção do pó de maracujá devido a problemas no secador. Entretanto outros autores como Pedro (2009) e Martinelli (2008) também

retrataram problemas ao utilizarem este secador para produção de polpas de frutas em pó. Já em relação ao “spray”, este apresentou rendimento de cerca de 20-25%, enquanto o liofilizador, embora seja o método mais caro, tem rendimento de 100%, pois não há perda de amostra durante o processo. Todavia, é preciso considerar que o trabalho foi realizado em um “spray dryer” de bancada, cujo rendimento, por via de regra, é muito inferior ao obtido em um equipamento industrial, sendo que neste, o rendimento pode chegar a 80%. Além de tudo isto deve também ser avaliado a qualidade do produto final, para que se decida qual o melhor método na relação custo-benefício.

## 5.6. Isotermas de Sorção

Dados de umidade de equilíbrio versus atividade de água para as amostras em pó obtidas da secagem em “spray dryer” e liofilizador de PML (1:4:4) e PGL (1:2:6) nas temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C estão apresentados nas Tabelas 15 e 18, respectivamente. O teor de umidade para cada atividade de água representa o valor médio de três repetições. Os resultados das análises de regressão não-linear para ajuste dos modelos aos dados experimentais estão nas Tabelas 16, 17, 19 e 20. Os gráficos de  $X_{eq}$  versus atividade de água para todos os modelos matemáticos estão no Anexo A.

As isotermas obtidas apresentaram um comportamento típico da curva do tipo III, na classificação de Van der Waals (Brunauer *et al*, 1940). De acordo com Rizvi (1986) esse comportamento de isotermas é característico de alimentos ricos em componentes solúveis. A umidade de equilíbrio aumenta a uma dada atividade de água, com o decréscimo da temperatura. Segundo Rizvi (1986) este comportamento é atribuído a mudanças químicas e físicas do alimento causadas pela mudança de temperatura.

**Tabela 15:** Atividades de água ( $a_w$ ) e dados experimentais de umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) para as amostras em pó obtidas da secagem em “spray dryer” de polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado (PML) e polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado (PGL).

Temperatura	PML		PGL	
	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$
20 °C	0,070	0,0147	0,070	0,0149
	0,113	0,0138	0,113	0,0193
	0,246	0,0305	0,246	0,0409
	0,331	0,0503	0,331	0,0539
	0,446	0,0757	0,446	0,0882
	0,547	0,1064	0,547	0,1032
	0,655	0,1143	0,655	0,1192
	0,754	0,1551	0,754	0,1596
	0,853	0,2397	0,853	0,2346
	0,907	0,3516	0,907	0,3576
30 °C	0,069	0,0152	0,069	0,0120
	0,112	0,0146	0,112	0,0204
	0,223	0,0271	0,223	0,0398
	0,324	0,0461	0,324	0,0536
	0,439	0,0709	0,439	0,0776
	0,526	0,0957	0,526	0,0815
	0,635	0,1056	0,635	0,1058
	0,756	0,1456	0,756	0,1463
	0,835	0,2106	0,835	0,2059
	0,900	0,3172	0,900	0,2897
40 °C	0,066	0,0081	0,066	0,0095
	0,111	0,0115	0,111	0,0145
	0,206	0,0252	0,206	0,0241
	0,319	0,0389	0,319	0,0445
	0,432	0,0609	0,432	0,0655
	0,506	0,0724	0,506	0,0584
	0,615	0,0871	0,615	0,0898
	0,753	0,1402	0,753	0,1353
	0,820	0,1722	0,820	0,1759
	0,893	0,2248	0,893	0,2649
50 °C	0,059	0,0030	0,059	0,0090
	0,110	0,0114	0,110	0,0099
	0,189	0,0229	0,189	0,0225
	0,314	0,0377	0,314	0,0419
	0,432	0,0554	0,432	0,0564
	0,489	0,0614	0,489	0,0541
	0,599	0,0768	0,599	0,0776
	0,746	0,1288	0,746	0,1325
	0,809	0,1581	0,809	0,1592
	0,884	0,2421	0,884	0,2457



**Tabela 16:** Parâmetros estimados pelos modelos de ajuste de isotermas a diferentes temperaturas para a PML em pó obtida por “spray dryer”.

Modelo	Parâmetros	Temperatura			
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
Henderson	A	5.9675	6.48246	9,98179	7.47692
	B	0.83456	0.85676	0,99962	0.84933
	CHI <sup>2</sup>	2,5x10 <sup>-4</sup>	2,1x10 <sup>-4</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>	7,0x10 <sup>-5</sup>
	R <sup>2</sup>	0.98098	0.97979	0.99789	0.98908
Oswin	A	0.07827	0.07489	0.06829	0.06102
	B	0.65312	0.65044	0.57944	0.67635
	CHI <sup>2</sup>	8,0x10 <sup>-5</sup>	6,0x10 <sup>-5</sup>	6,0x10 <sup>-5</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>
	R <sup>2</sup>	0.99406	0.99393	0.9907	0.99776
Lewicki-2	A	0.07827	0.07489	0.06829	0.06102
	B	0.3469	0.3496	0.4205	0.32363
	CHI <sup>2</sup>	8,0x10 <sup>-5</sup>	6,0x10 <sup>-5</sup>	6,0x10 <sup>-5</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>
	R <sup>2</sup>	0.99406	0.99393	0.9907	0.99776
Lewicki-3	F	0.08574	0.08089	0.11666	0.06686
	G	0.63925	0,64292	0.40716	0.65796
	H	0.82122	0,7753	1.35253	0.92118
	CHI <sup>2</sup>	8,0x10 <sup>-5</sup>	7,0x10 <sup>-5</sup>	2,0x10 <sup>-5</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>
	R <sup>2</sup>	0.99453	0.99441	0.99768	0.99838
Ferro-Fontan	γ	0.04319	0.04148	0.20453	0.06276
	α	1.04048	1.04223	1.49876	1.10686
	R	1.09492	1.09198	0.61909	0.89288
	CHI <sup>2</sup>	1,5x10 <sup>-4</sup>	1,1x10 <sup>-4</sup>	2,0x10 <sup>-5</sup>	4,0x10 <sup>-5</sup>
	R <sup>2</sup>	0.99044	0.99055	0.99678	0.99431
Peleg	K <sub>1</sub>	0.67846	0.59546	0.14135	0.13544
	n <sub>1</sub>	13.89204	12.62883	1.0915	1.10789
	K <sub>2</sub>	0.19927	0.18097	0.20496	0.38241
	n <sub>2</sub>	1.21021	1.14899	6.31997	9.18052
	CHI <sup>2</sup>	4,0x10 <sup>-5</sup>	3,0x10 <sup>-5</sup>	9,99x10 <sup>-6</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>
	R <sup>2</sup>	0.99775	0.99768	0.99875	0.99875
GAB	C	5.38114	5.60037	2.42754	3.97874
	K	0.95273	0.95253	0.84954	0.94814
	X <sub>m</sub>	0.04854	0.04616	0.06146	0.04084
	CHI <sup>2</sup>	1,0x10 <sup>-4</sup>	8,0x10 <sup>-5</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>
	R <sup>2</sup>	0.99313	0.99328	0.99843	0.998

**Tabela 17:** Parâmetros estimados pelos modelos de ajuste de isotermas a diferentes temperaturas para a PGL em pó obtida por “spray dryer”.

Modelo	Parâmetros	Temperatura			
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
Henderson	A	6.26391	7.94651	7,29535	7,26067
	B	0.8766	0.95834	0,86017	0,83829
	CHI <sup>2</sup>	0.00036	0.00015	0,00011	0,00009
	R <sup>2</sup>	0.97263	0.98233	0,98508	0,9868
Oswin	A	0.08276	0.07826	0,06565	0,06131
	B	0.6291	0.59304	0,65563	0,68097
	CHI <sup>2</sup>	0.0001	0.00003	0,00003	0,00002
	R <sup>2</sup>	0.99224	0.99706	0,99623	0,99668
Lewicki-2	A	0.08278	0.07827	0,06565	0,06131
	B	0.37099	0.40698	0,34437	0,31903
	CHI <sup>2</sup>	0.0001	0.00003	0,00003	0,00002
	R <sup>2</sup>	0.99224	0.99706	0,99623	0,99668
Lewicki-3	F	0.08744	0.09053	0,07113	0,06393
	G	0.63397	0.56893	0,64593	0,68298
	H	0.63248	0.68674	0,80133	0,82633
	CHI <sup>2</sup>	0.0001	0.00003	0,00003	0,00002
	R <sup>2</sup>	0.99314	0.99747	0,99650	0,99689
Ferro-Fontan	$\gamma$	0.02758	0.04233	0.052	0.05813
	$\alpha$	1.00712	1.06566	1.08073	1.0928
	R	1.28213	1.11248	0.97381	0.91644
	CHI <sup>2</sup>	0,00015	0,00006	0,00005	0,00004
	R <sup>2</sup>	0.99003	0.99406	0.99384	0.99461
Peleg	K <sub>1</sub>	0.19597	0.40597	0,13421	0,37049
	n <sub>1</sub>	1.08286	9.19539	1,00819	8,06696
	K <sub>2</sub>	0.79917	0.14945	0,39218	0,12143
	n <sub>2</sub>	15.21485	0.89311	8,81209	0,99946
	CHI <sup>2</sup>	0.00002	9.4003E-6	0,00003	0,00003
	R <sup>2</sup>	0.99857	0.99919	0,99681	0,99668
GAB	C	8.2491	7.23096	4,83757	4,23017
	K	0.95541	0.93301	0,94774	0,95303
	X <sub>m</sub>	0.04763	0.04743	0,04208	0,04024
	CHI <sup>2</sup>	0.00012	0.00003	0,00003	0,00002
	R <sup>2</sup>	0.99174	0.99722	0,99632	0,99682

**Tabela 18:** Atividades de água ( $a_w$ ) e dados experimentais de umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) para as amostras em pó obtidas da secagem em liofilizador de polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado (PML) e polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado (PGL).

Temperatura	PML		PGL	
	$a_w$	$X_{eq}$	$a_w$	$X_{eq}$
20 °C	0,070	0.0405	0,070	0.0234
	0,113	0.0318	0,113	0.0319
	0,246	0.0489	0,246	0.0609
	0,331	0.0574	0,331	0.0639
	0,446	0.0731	0,446	0.0775
	0,547	0.1047	0,547	0.1098
	0,655	0.1357	0,655	0.1138
	0,754	0.1564	0,754	0.1578
	0,853	0.2325	0,853	0.2389
	0,907	0.3541	0,907	0.3845
30 °C	0,069	0.0219	0,069	0.0157
	0,112	0.0260	0,112	0.0205
	0,223	0.0375	0,223	0.0348
	0,324	0.0498	0,324	0.0430
	0,439	0.0648	0,439	0.0619
	0,526	0.0911	0,526	0.0944
	0,635	0.1150	0,635	0.0984
	0,756	0.1432	0,756	0.1368
	0,835	0.2064	0,835	0.2007
	0,900	0.3184	0,900	0.2967
40 °C	0,066	0.0098	0,066	0,0173
	0,111	0.0161	0,111	0,0195
	0,206	0.0270	0,206	0,0344
	0,319	0.0346	0,319	0,0412
	0,432	0.0503	0,432	0,0627
	0,506	0.0735	0,506	0,0830
	0,615	0.0862	0,615	0,0898
	0,753	0.1245	0,753	0,1346
	0,820	0.1601	0,820	0,1900
	0,893	0.2113	0,893	0,2480
50 °C	0,059	0,0110	0,059	0,0197
	0,110	0,0198	0,110	0,0213
	0,189	0,0294	0,189	0,0334
	0,314	0,0419	0,314	0,0473
	0,432	0,0566	0,432	0,0666
	0,489	0,0874	0,489	0,0862
	0,599	0,1099	0,599	0,0995
	0,746	0,1467	0,746	0,1443
	0,809	0,1955	0,809	0,1773
	0,884	0,2540	0,884	0,2565

**Tabela 19:** Parâmetros estimados pelos modelos de ajuste de isotermas a diferentes temperaturas para a PML em pó obtida por liofilizador.

Modelo	Parâmetros	Temperatura			
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
Henderson	A	6.76214	6.76705	10,97304	8,62801
	B	0.92932	0.88446	1,01277	1,00234
	CHI <sup>2</sup>	0,00051	0,0003	0,00002	0,00006
	R <sup>2</sup>	0,95669	0.96992	0,99548	0,99246
Oswin	A	0.08791	0.07735	0,06438	0,07921
	B	0.59372	0.63134	0,57293	0,58769
	CHI <sup>2</sup>	0,00017	0,0007	0,00003	0,00008
	R <sup>2</sup>	0.98587	0.99301	0,99344	0,98994
Lewicki-2	A	0.08794	0.07737	0,06437	0,0792
	B	0.4065	0.36881	0,42701	0,41225
	CHI <sup>2</sup>	0,00017	0,00007	0,00003	0,00008
	R <sup>2</sup>	0.98587	0.99301	0,99344	0,98994
Lewicki-3	F	0.08146	0.0742	0,09716	0,11981
	G	0.65771	0.67629	0,44843	0,45661
	H	0.19822	0.42254	1,10151	1,15487
	CHI <sup>2</sup>	0,0001	0,00005	0,00002	0,00006
	R <sup>2</sup>	0,99252	0.99558	0,99664	0,99315
Ferro-Fontan	$\gamma$	0.01549	0.02375	0,12391	0,17218
	$\alpha$	0.97999	1.00109	1,32684	1,38346
	R	1.53969	1.30465	0,74331	0,69343
	CHI <sup>2</sup>	0,00009	0,00006	0,00002	0,00006
	R <sup>2</sup>	0.99367	0.99501	0,99603	0,99265
Peleg	K <sub>1</sub>	0.1735	0.60529	0,12813	0,2565
	n <sub>1</sub>	0.84968	11.88518	1,02013	6,87691
	K <sub>2</sub>	0.71398	0.16038	0,20883	0,16503
	n <sub>2</sub>	13.39253	0.93927	6,76551	1,07244
	CHI <sup>2</sup>	0,00017	0,00005	0,00002	0,00007
	R <sup>2</sup>	0,9891	0.99622	0,99692	0,9932
GAB	C	31.59988	11.73934	3.31738	2,95084
	K	0.96073	0.96307	0.87353	0,86925
	X <sub>m</sub>	0.04497	0.04256	0.05042	0,06488
	CHI <sup>2</sup>	0,00013	0,00006	0,00002	0,00005
	R <sup>2</sup>	0,99069	0,99492	0.99719	0,9936

**Tabela 20:** Parâmetros estimados pelos modelos de ajuste de isotermas a diferentes temperaturas. para a PGL em pó obtida por liofilizador.

Modelo	Parâmetros	Temperatura			
		20 °C	30 °C	40 °C	50 °C
Henderson	A	5,82386	7,05918	9,1401	9.36809
	B	0,84949	0,87831	0,99106	1.03638
	CHI <sup>2</sup>	0,00078	0,00022	0,0001	0,0001
	R <sup>2</sup>	0,94382	0,9756	0,98515	0,98465
Oswin	A	0,08485	0,07242	0,07342	0,07907
	B	0,64016	0,63497	0,582	0,57447
	CHI <sup>2</sup>	0,00027	0,00006	0,00005	0,00002
	R <sup>2</sup>	0,98029	0,99334	0,99302	0,99734
Lewicki-2	A	0,0849	0,07243	0,07341	0,07907
	B	0,36016	0,36511	0,41797	0,42555
	CHI <sup>2</sup>	0,00027	0,00006	0,00005	0,00002
	R <sup>2</sup>	0,98029	0,99334	0,99302	0,99734
Lewicki-3	F	0,07277	0,07449	0,08955	0,09249
	G	0,72815	0,6503	0,53881	0,55043
	H	0,16904	0,59396	0,74371	0,64521
	CHI <sup>2</sup>	0,00017	0,00006	0,00005	0,00002
	R <sup>2</sup>	0,98929	0,99416	0,99295	0,99738
Ferro-Fontan	$\gamma$	0,01184	0,0324	0,06628	0,04791
	$\alpha$	0,95964	1,0294	1,14559	1,09252
	R	1,62794	1,16626	0,95204	1,08304
	CHI <sup>2</sup>	0,00009	0,00008	0,00005	0,00004
	R <sup>2</sup>	0,99449	0,99215	0,99345	0,99473
Peleg	K <sub>1</sub>	0,1625	0,15224	0,12122	0,3631
	n <sub>1</sub>	0,77037	0,98222	0,80791	8,89263
	K <sub>2</sub>	0,89997	0,50346	0,29537	0,15029
	n <sub>2</sub>	13,86156	10,87771	6,63767	0,89371
	CHI <sup>2</sup>	0,00006	0,00005	0,00005	0,00003
	R <sup>2</sup>	0,99675	0,9958	0,99467	0,99687
GAB	C	26,72869	7,74653	5,63981	7,4409
	K	0,97773	0,95486	0,9141	0,92174
	X <sub>m</sub>	0,04289	0,04236	0,04782	0,0485
	CHI <sup>2</sup>	0,00015	0,00007	0,00005	0,00003
	R <sup>2</sup>	0,99064	0,99365	0,99381	0,9963

O teor de umidade de equilíbrio tende a diminuir com o aumento da temperatura em uma determinada atividade de água, tanto para as amostras obtidas por “spray dryer” quanto aquelas liofilizadas, conforme observado nas Figuras 14 a 17. A extensão desse decréscimo depende da composição dos alimentos (RIZVI, 1995).

Pedro (2009) observou que a temperatura não teve um efeito muito pronunciado sobre os valores da umidade de equilíbrio nas isotermas de sorção da polpa de maracujá em pó obtidas por secagem em estufa a vácuo. Hubinger et al. (1992) verificaram que as isotermas de abacaxi, manga e goiaba desidratadas a vácuo, nas temperaturas de 25 e 50 °C, apresentaram o mesmo comportamento, observado por Pedro (2009), quanto à influência da temperatura nas isotermas. A similaridade apresentada por estas isotermas provavelmente está relacionada à composição semelhante dos produtos analisados e à mesma forma final do produto. Os produtos foram obtidos através do mesmo método, as temperaturas das isotermas são muito próximas, além disso, as polpas utilizadas apresentam alto teor de açúcares. No caso das amostras de PML e PGL, deve-se lembrar que há a presença do leite desnatado, podendo ser este o responsável pela pequena diferença de comportamento em relação a estes outros trabalhos.

Gabas, Telis-Romero e Menegalli (1999) verificaram que a polpa de uva apresentou uma maior dependência com a umidade de equilíbrio em relação à casca. Entretanto, Gabas, Menegalli e Telis-Romero (2000) observaram o mesmo comportamento para a casca e para a polpa de caqui: a umidade de equilíbrio diminuiu com o aumento da temperatura. Gabas et al. (2007) e Martinelli (2008) também não observaram efeito considerável da temperatura sobre as isotermas de abacaxi em pó e limão em pó, ambos com 18% de maltodextrina, obtidos por secagem a vácuo.

O modelo de GAB ajustou-se bem aos dados experimentais. Apresentou valores de  $R^2$  superiores a 0,99 e  $\text{Chi}^2$  menores que 0,0001 para a maioria das amostras analisadas. Portanto, as linhas sólidas das Figuras 14 a 33 representam o modelo de GAB.

Os valores dos parâmetros de ajuste do modelo de GAB,  $X_m$ , C e K, obtidos para as diferentes formulações do produto, diferentes temperaturas e dois métodos de secagem, são apresentados nas Tabelas 16, 17, 19 e 20.

O conceito de teor de umidade da monocamada ( $X_m$ ) tem sido bastante estudado em alimentos, devido à sua relação com a estabilidade química e física dos alimentos desidratados. O valor de  $X_m$  indica a quantidade de água que é fortemente adsorvida, formando uma primeira camada monomolecular na superfície dos alimentos. Esse valor

é considerado como um valor ótimo para assegurar a estabilidade dos mesmos. Abaixo deste valor, com exceção da reação de oxidação lipídica, as reações de deterioração são mínimas (GOULA et al., 2008).

Para a PML, o valor de  $X_m$  encontrado variou de 0,04084 a 0,06215 g água/g sólido seco e 0,04024 a 0,04763 g água/g sólido seco para PGL atomizadas. Já as amostras PML e PGL liofilizadas, apresentaram valores de 0,04256 a 0,06488 g água/g sólido seco e 0,04236 a 0,0485 g água/g sólido seco, respectivamente. Para o pó de maracujá puro, a faixa de valores de  $X_m$  encontrada foi de 0,1423 a 0,1802 g água/g sólido seco, com uma tendência crescente de  $X_m$  com o aumento da temperatura de 20 a 50 °C (PEDRO, 2009). Para frutas em pedaços como manga (TELIS-ROMERO et al., 2005) e ameixas (GABAS; MENEGALLI; TELIS-ROMERO, 2000), a faixa encontrada foi de 0,109 a 0,152 g água/g sólido seco.

De acordo com Pedro (2009), os resultados dos ajustes do modelo de GAB aos dados experimentais da polpa de maracujá em pó com aditivos apresentaram valores de teor de umidade da monocamada menores que os resultados para o pó puro, isto é, sem aditivos. Para as amostras de polpa de maracujá com 18% de maltodextrina 10 DE (PMD18), a faixa de valores de  $X_m$  encontrada foi de 0,0538 a 0,0754 g água/g sólido seco, para amostras com 55% de maltodextrina 10 DE (PMD55), a faixa foi 0,061 a 0,065 g água/g sólido seco, que apresentou a menor variação, e para amostras com polpa de maracujá e 18% de goma Arábica (PGA18), a faixa de encontrada foi de 0,0805 a 0,0631 g água/g sólido seco. Os valores de  $X_m$  para amostras com aditivos não mostraram uma dependência clara com a temperatura. Martinelli (2008), reportou uma diminuição de  $X_m$  com a polpa de limão com aditivos maltodextrina e goma Arábica (0,0545 a 0,068 e 0,0632 a 0,0761 g água/g sólido seco, respectivamente) quando comparada a polpa de limão pura (0,1409 a 0,2664 g água/g sólido seco). Gabas et al. (2007) mostrou que para amostras de polpa de abacaxi em pó pura (PAP), com 18% de maltodextrina (PAM) e 18% de goma Arábica (PAGA) desidratadas em secador a vácuo e mantidas a 4 temperaturas (20, 30, 40 e 50°C) nas mesmas soluções salinas deste trabalho, o teor de  $X_m$  variou de 0,146 a 0,166, 0,058 a 0,069 e 0,067 a 0,079 g água/g sólido seco, respectivamente. De acordo com Telis et al. (2000) a faixa encontrada de  $X_m$  para a polpa de caqui sem aditivos foi de 0,10 a 0,11 g água/g sólido seco 10 a 11%. Kiranoudis et al. (1993) citaram os valores de  $X_m$ , de algumas frutas que variaram entre 0,10 e 0,15 g água/g sólido seco.

Pérez-Alonso et al. (2006) obtiveram valores de  $X_m$  entre 0,0696 a 0,0735 para

maltodextrina pura (DE 10) e uma faixa de 0,0811 a 0,11 g água/g sólido seco para goma arábica pura, na faixa de temperatura de 25 a 40 °C. Já Len, Chen e Pearse (2004) encontraram, para o leite desnatado em pó mantido a 52,6°C, um valor de  $X_m$  de 0,06245 g água/g sólido seco. Silva, Sobral e Kieckbusch (2006) observaram que a adição de 30% de maltodextrina DE 20 em polpa de camu-camu reduziu o valor de  $X_m$  de 0,158 para 0,065 g água/g sólido seco, efeito bem parecido ao observado para a polpa de maracujá em pó. Righetto e Netto (2005), desidrataram suco de acerola imatura com 20% de maltodextrina em “spray dryer” e calcularam valores de  $X_m$  entre 0,0452 e 0,0543 g água/g sólido seco a temperatura de 25, 34 e 45 °C. Foram observadas pequenas diferenças em  $X_m$  quando a maltodextrina foi substituída por 20% de goma arábica:  $X_m$  variou de 0,0480 a 0,0544 g água/g sólido seco. Por outro lado, no estudo de óleo de laranja essencial encapsulado com misturas de maltodextrina e goma arábica, Asheri (1999) encontrou menores valores de  $X_m$  que variaram entre 0,018 a 0,031 g água/g sólido seco.

A Equação 8b prediz o aumento no parâmetro C com o decréscimo na temperatura. Para as amostras atomizadas de PGL, observou-se uma tendência a este comportamento, o mesmo ocorrendo para PML, exceto na temperatura de 40 °C. Já para PML e PGL liofilizadas, C decresceu com o aumento da temperatura, exceto para PGL a 50°C, que foi maior que aquele a 40°C. Pedro (2009) observou que para o pó de maracujá puro (PP), um aumento na temperatura de 20 a 50 °C diminuiu o valor de C e para as amostras PMD18, o parâmetro C a 20°C foi 6,93; na faixa de 30 a 50 °C o valor decresceu de 13,46 para 4,87. Já as amostras com PMD55 apresentaram uma redução de C com o aumento na temperatura (27,19 a 11,96). Para as amostras PGA o valor de C a 20 °C foi de 10,07; na faixa de 30 a 50 °C, o valor decresceu de 17,39 para 6,23 (PEDRO, 2009).

Gabas et al (2007), após a secagem de polpa de abacaxi, obtiveram para as amostras PAP, PAM, PAGA, valores do parâmetro C variando de 12,393 a 26,457, 5,670 a 13,183 e 5,670 a 14,936, respectivamente. Para PAP, o maior valor foi registrado a 30°C, diminuindo depois com o aumento da temperatura, enquanto para PAGA, o maior valor deu-se a 20°C, diminuindo com o aumento da temperatura conforme predito pela equação 8b. Já para PAM, o maior valor deu-se a 20°C, com diminuição do parâmetro com o aumento da temperatura, exceto para 50°C, onde C foi ligeiramente maior que a 40°C.

Iglesias e Chirife (1992) estudaram mais de 30 alimentos diferentes e relataram



que, em 74% deles,  $C$  não diminuiu com o aumento da temperatura, provavelmente devido a mudanças irreversíveis associadas com temperatura crescente, como reações enzimáticas e a desnaturação de proteínas. Righetto e Netto (2005) também observaram uma variação de  $C$  com a temperatura para amostras com maltodextrina na produção de suco de acerola em pó. Por outro lado, amostras com goma arábica apresentaram uma diminuição de  $C$  com o aumento na temperatura. Silva, Sobral e Kieckbusch (2006) observaram que a maltodextrina reduziu o valor de  $C$  em polpa de camu-camu desidratada.

O valor de  $K$  representa uma medida das interações entre as moléculas das multicamadas com o adsorvente. Os valores de  $K$  para as amostras obtidas por “spray dryer” PML foram de 0,84954 a 0,95273 e para PGL de 0,93301 a 0,95541, enquanto para PML e PGL liofilizadas foram de 0,86925 a 0,96307 e 0,9141 a 0,97773, respectivamente. Os valores de  $K$  para o pó de maracujá puro apresentaram pequenas variações de 0,866 a 0,945 (PEDRO, 2009).

Nos ensaios realizados por Pedro (2009), o parâmetro  $K$  praticamente não foi afetado pela presença dos materiais encapsulantes. Para as amostras de PGA, PMD18 e PMD55 os valores encontrados estão em uma pequena faixa de 0,89 a 0,97, enquanto para as amostras de PGA estão na faixa de 0,91 a 0,98. Righetto e Netto (2005) não observaram uma variação de  $K$  com a presença de maltodextrina ou goma arábica. Pérez-Alonso et al. (2006) observaram valores de  $K$  ligeiramente mais baixos para polímeros puros (maltodextrina 10 DE, goma Arábica e goma mesquita). Nos ensaios de Gabas et al (2007), também não houve uma dependência clara com a temperatura, sendo que os valores variaram de 0,905 a 0,971.

Comparando-se as amostras PML e PGL em relação aos dois métodos de secagem utilizados (atomização e liofilização), tem-se que para ambas as amostras, o comportamento das curvas de umidade de equilíbrio versus atividade de água, assim como os próprios valores de umidade de equilíbrio foram muito próximos (Figuras 18 a 25), especialmente nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, onde as curvas coincidem em vários pontos. Já na temperatura de 50°C, observou-se uma pequena diferença na umidade de equilíbrio das amostras PML e PGL obtidas por “spray” e liofilizador.

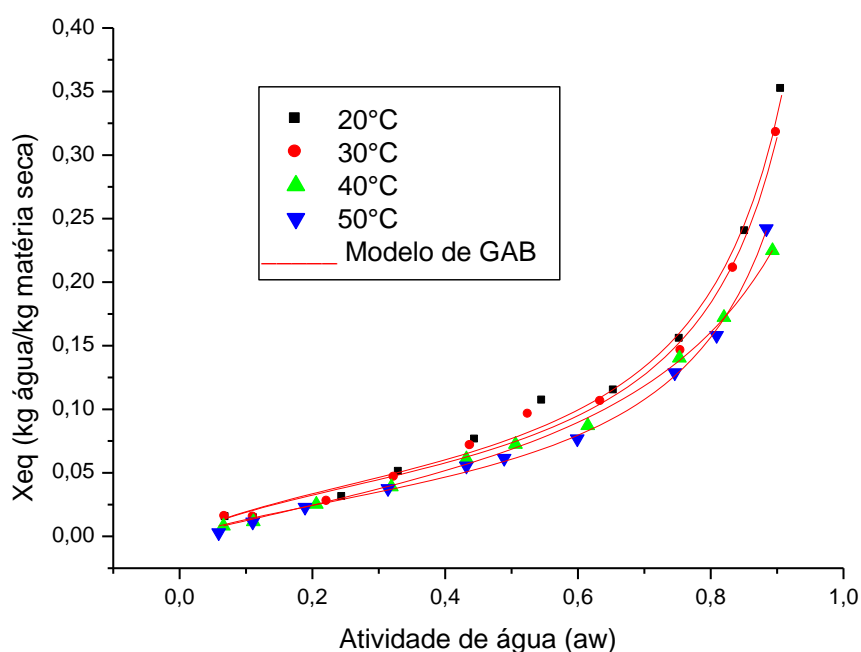
De acordo com Pedro (2009), os resultados dos ajustes do modelo de GAB aos dados experimentais da PMD55 obtida por liofilização apresentou valores de teor de umidade da monocamada menor que os resultados da polpa obtida por “spray drying”.

Os valores de  $X_m$ , para todas as amostras estudadas por este autor, não foram influenciados pela temperatura, ou seja, as amostras obtidas por “spray drying” exibiram uma maior capacidade de sorção em relação às amostras obtidas por liofilização. Provavelmente, as partículas obtidas por Pedro (2009) por liofilização apresentam uma menor área de superfície em relação às partículas obtidas por “spray drying”. Segundo Desobry, Netto e Labuza (1997), a capacidade de sorção de  $\beta$ -caroteno encapsulado com maltodextrina produzido através do processo de liofilização é menor que a capacidade de sorção do mesmo produto obtido por “spray drying” devido ao processo de moagem que o produto sofre depois de desidratado para a obtenção do pó. Debnath, Hemavathy, Bhatet (2002) obtiveram as isotermas de adsorção para a cebola desidratada por liofilização, a vácuo e através da secagem em leito fixo e verificaram que, embora o produto tenha sido obtido por diferentes métodos de secagem, para a mesma atividade de água as umidades de equilíbrio das três amostras foram as mesmas.

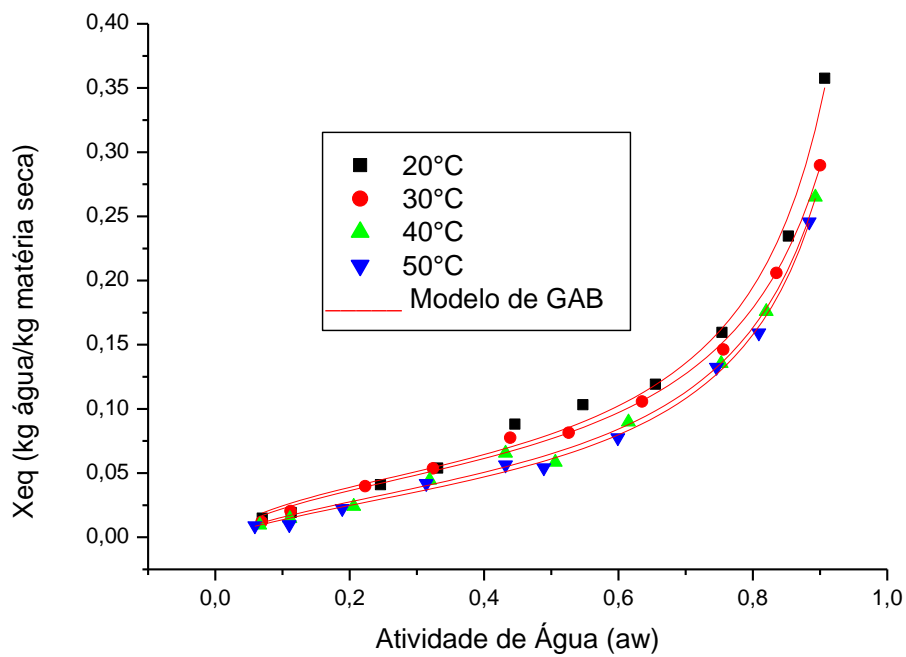
Através das Figuras 26 a 33, observa-se que há uma diferença muito pequena entre a umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) entre as amostras PML e PGL atomizadas e liofilizadas para as 4 temperaturas estudadas. Apenas as amostras liofilizadas e mantidas a 40°C apresentaram uma diferença um pouco maior entre os  $X_{eq}$  das amostras PML e PGL. Nas demais temperaturas, as diferenças nos valores de umidade de equilíbrio para as amostras PML e PGL foram pequenas entre si, de modo que se pode afirmar que o tipo de aditivo utilizado não influenciou de modo considerável os valores de umidade de equilíbrio de sorção. O mesmo comportamento foi observado por Pedro (2009) para as amostras com maltodextrina e goma Arábica.

Segundo Pedro (2009), embora as isotermas de polpa de maracujá pura (PP) e com aditivos tenham apresentado o mesmo comportamento qualitativo, notaram-se diferenças consideráveis nos valores de umidade de equilíbrio para as amostras estudadas. Observou-se que as isotermas das amostras PP apresentaram maiores valores de umidades de equilíbrio em relação às amostras com maltodextrina e goma arábica, para todas as temperaturas estudadas. Estes resultados mostram que esses aditivos provocam mudanças no comportamento higroscópico da polpa de maracujá desidratada. A forte interação entre a água e os açúcares presentes na polpa das frutas justifica a alta higroscopicidade dos pós. As moléculas dos açúcares estabelecem ligações intermoleculares com a molécula de água em razão dos terminais polares presentes

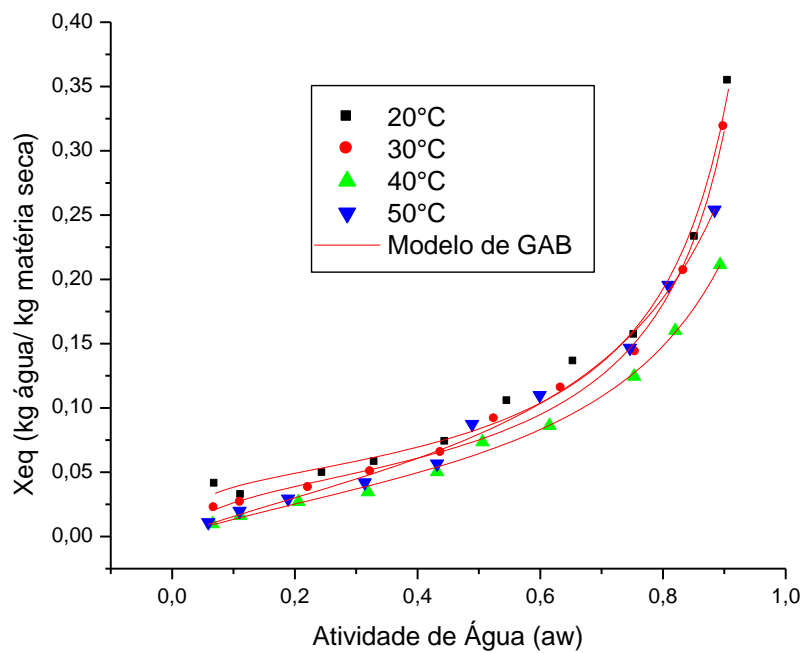
nestas. A presença dos aditivos reduz a umidade de equilíbrio devido ao comportamento não-higroscópico dos mesmos. Os aditivos agem como uma barreira física que impedem a ligação entre a água e os açúcares reduzindo a higroscopicidade ou também podem interagir com as moléculas dos açúcares e ocupar os lugares disponíveis para a ligação com a água. Os dados das isotermas da maltodextrina pura foram obtidos no trabalho de Pérez-Alonso et al. (2006). Para uma mesma atividade de água, os valores de umidade de equilíbrio da PP foram maiores em comparação com a polpa com adição de maltodextrina e com a solução de maltodextrina pura. Não houve diferença considerável entre os valores de umidade de equilíbrio das amostras PMD18, PMD55 e da maltodextrina pura.



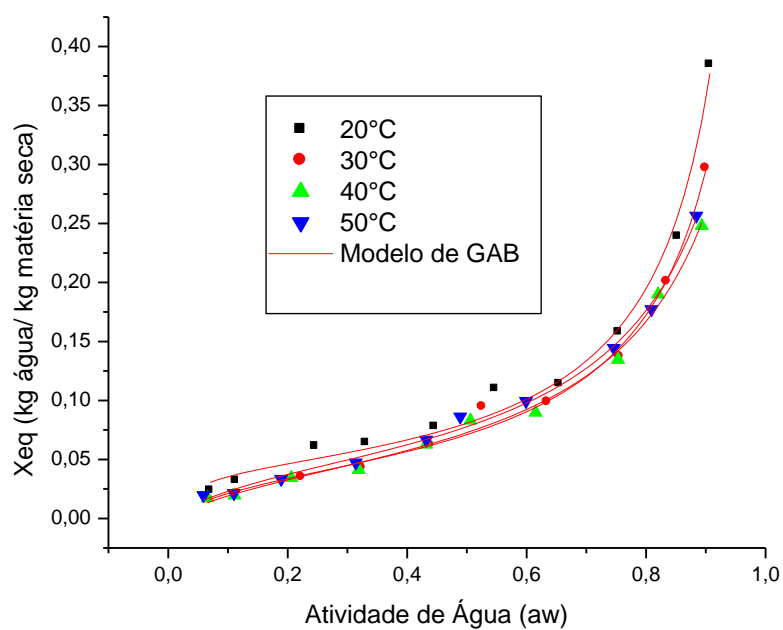
**Figura 14:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 20, 30, 40 e 50°C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.



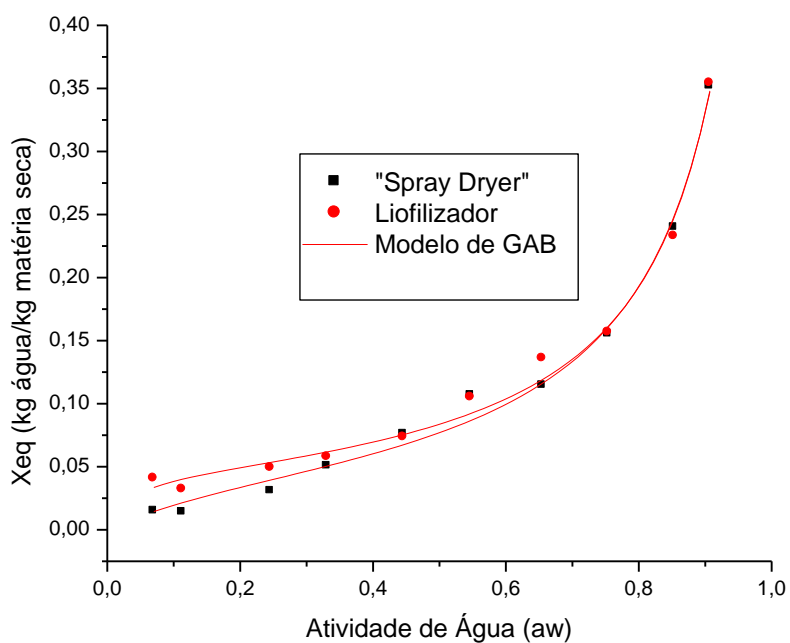
**Figura 15:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 20, 30, 40 e 50°C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.



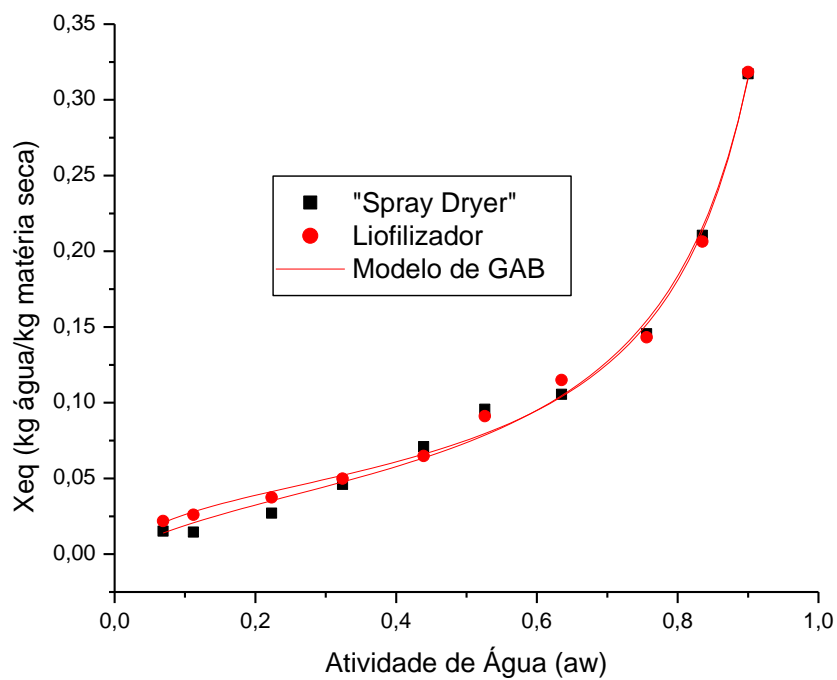
**Figura 16:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML liofilizadas a 20, 30, 40 e 50°C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.



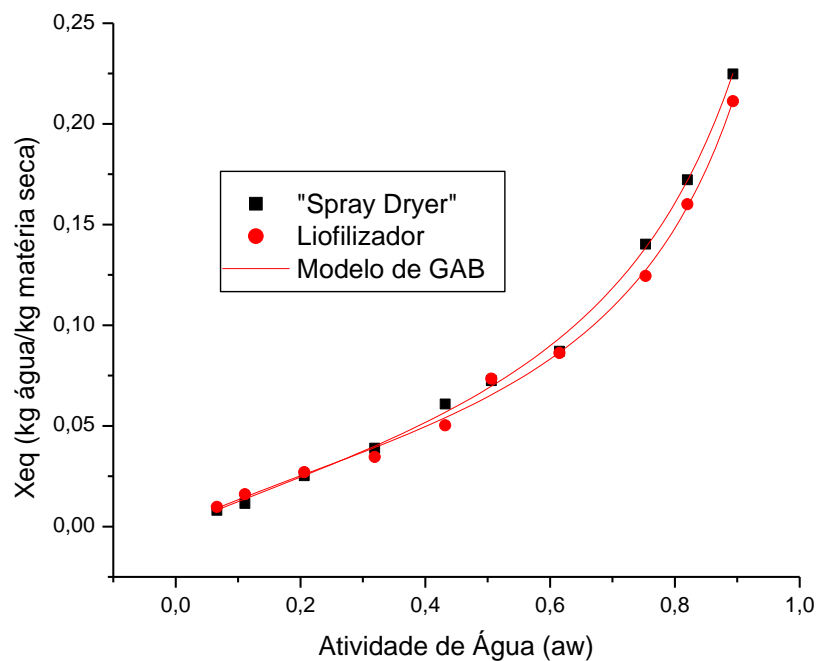
**Figura 17:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL liofilizadas a 20, 30, 40 e 50°C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.



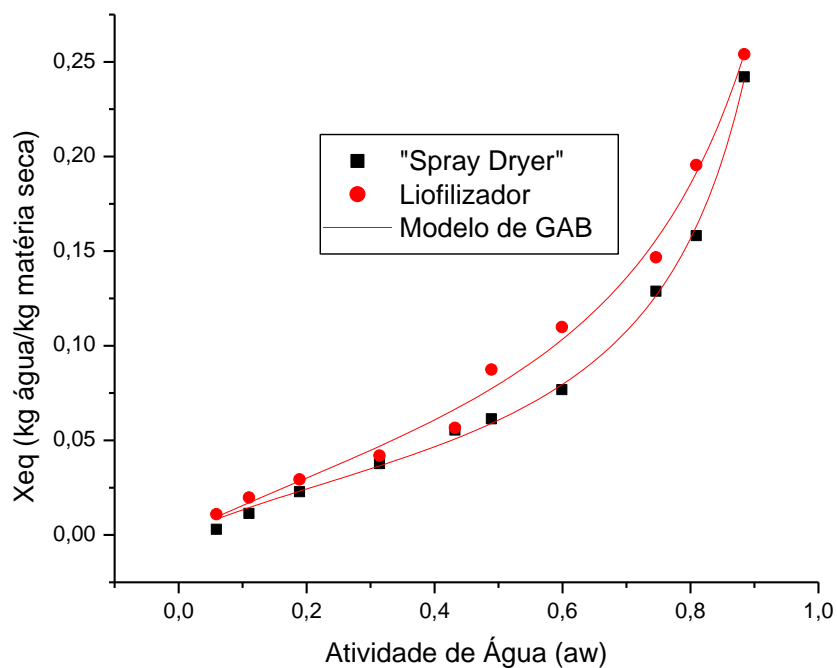
**Figura 18:** Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PML a 20 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.



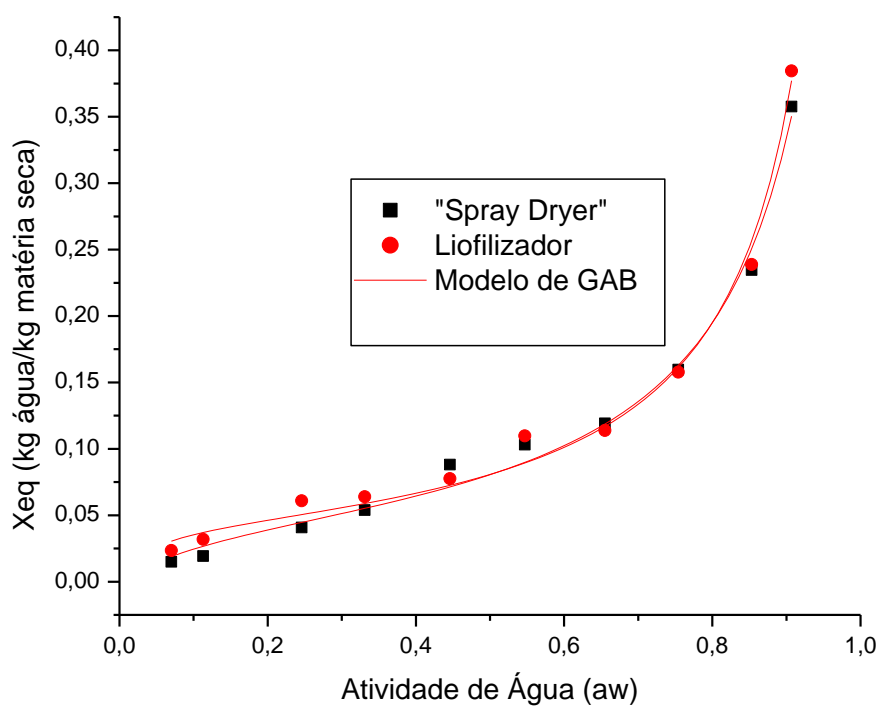
**Figura 19:** Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PML a 30 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.



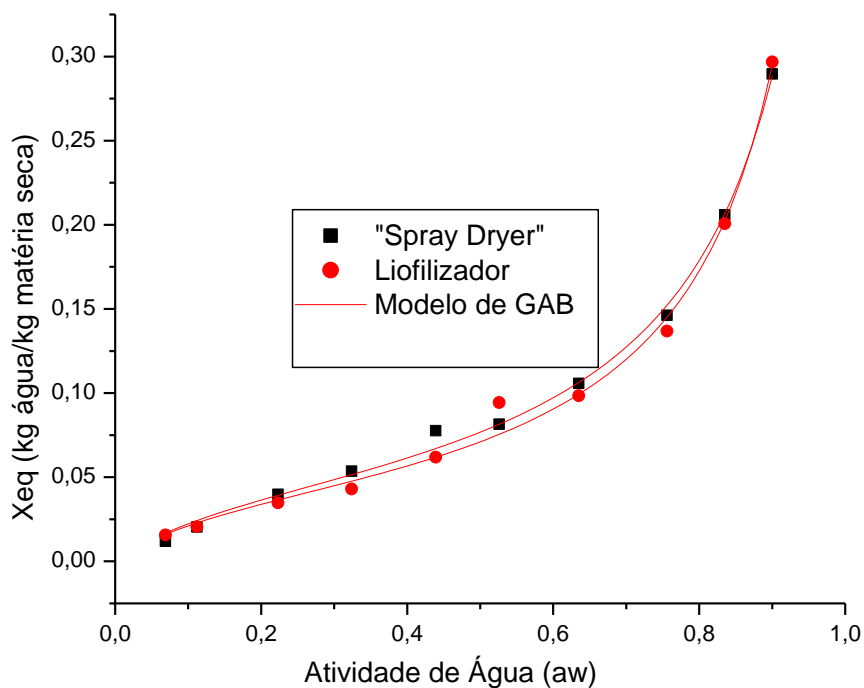
**Figura 20:** Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PML a 40 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.



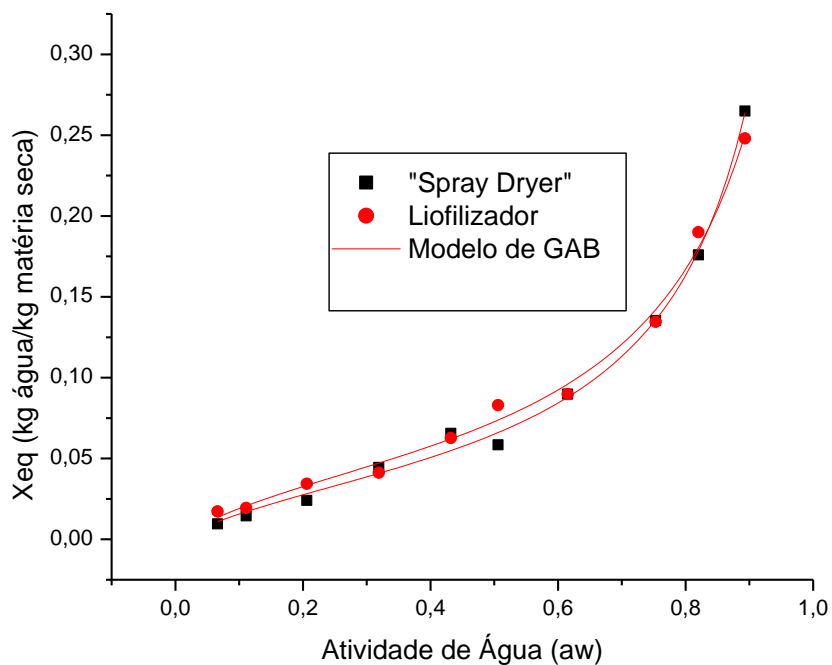
**Figura 21:** Influência do método de secagem nas isoterma de sorção das amostras de PML a 50 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.



**Figura 22:** Influência do método de secagem nas isoterma de sorção das amostras de PGL a 20 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.

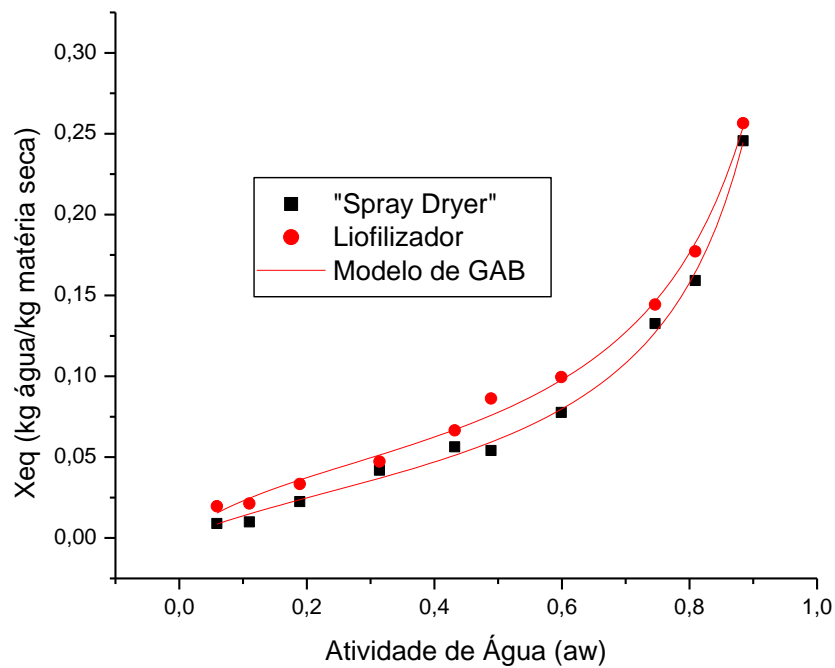


**Figura 23:** Influência do método de secagem nas isoterma de sorção das amostras de PGL a 30 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.

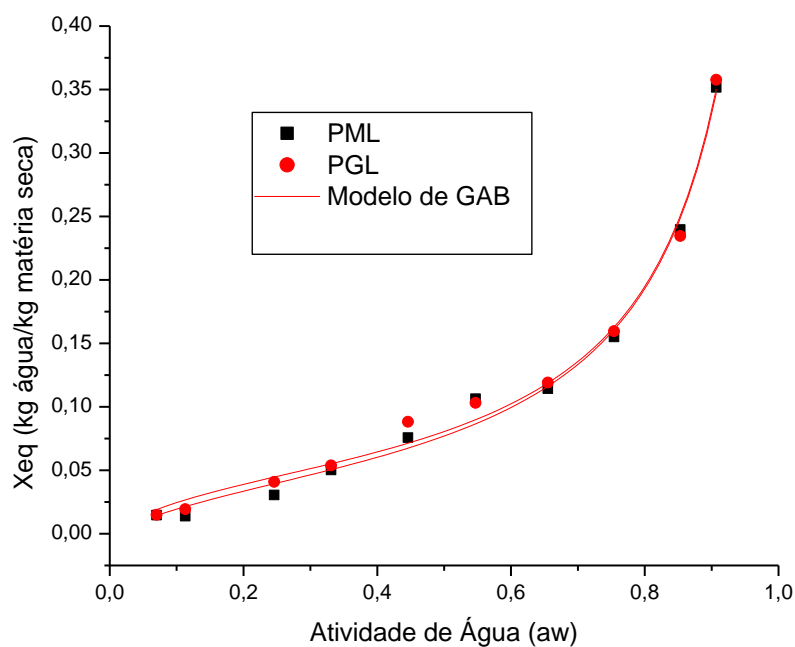


**Figura 24:** Influência do método de secagem nas isoterma de sorção das amostras de PGL a 40 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.

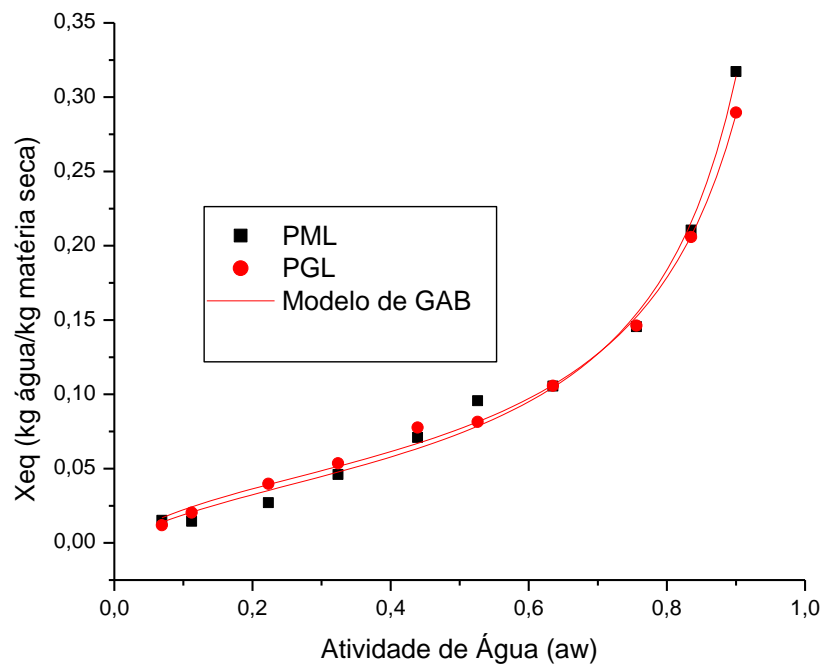




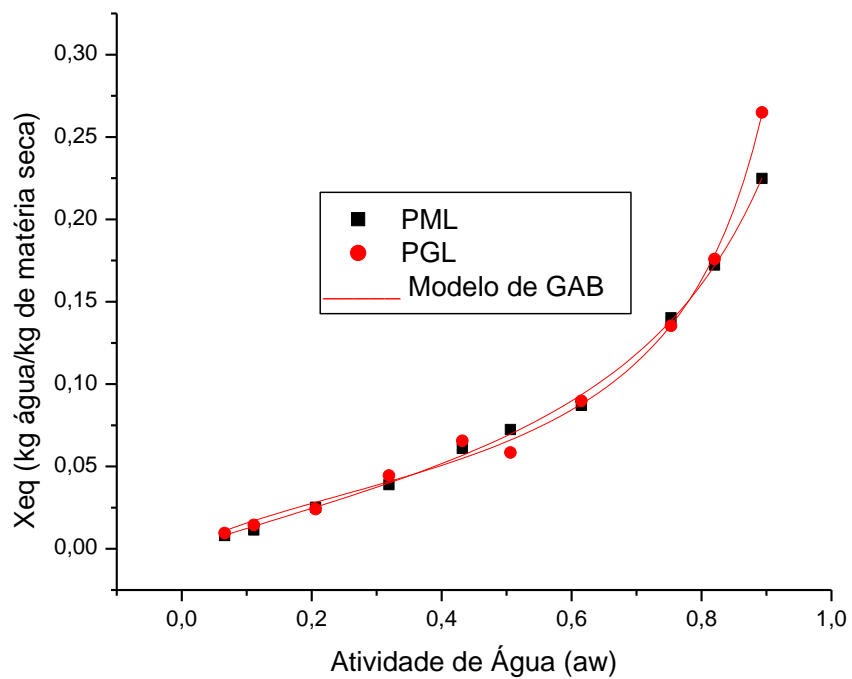
**Figura 25:** Influência do método de secagem nas isotermas de sorção das amostras de PGL a 50 °C ajustadas de acordo com o modelo de GAB.



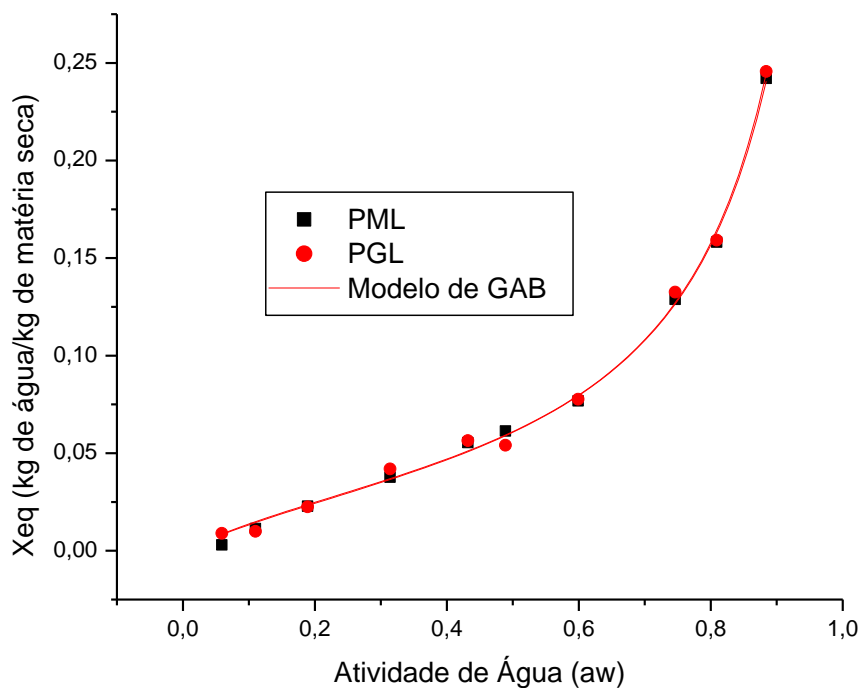
**Figura 26:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 20°C obtidas por “spray dryer”.



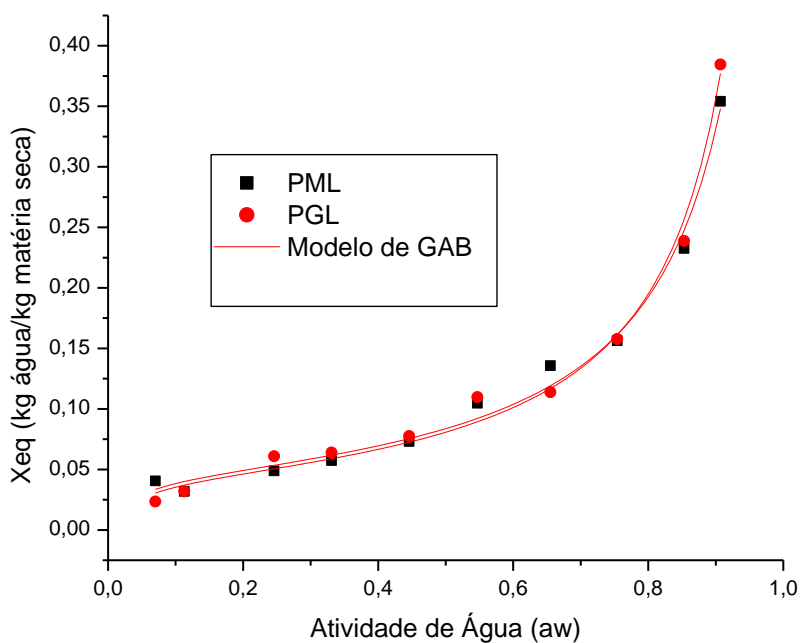
**Figura 27:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 30°C obtidas por “spray dryer”.



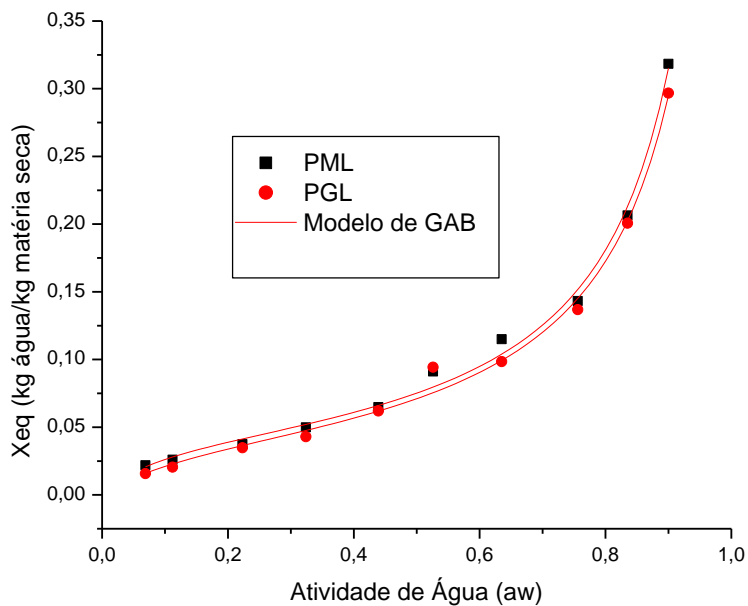
**Figura 28:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 40°C obtidas por “spray dryer”.



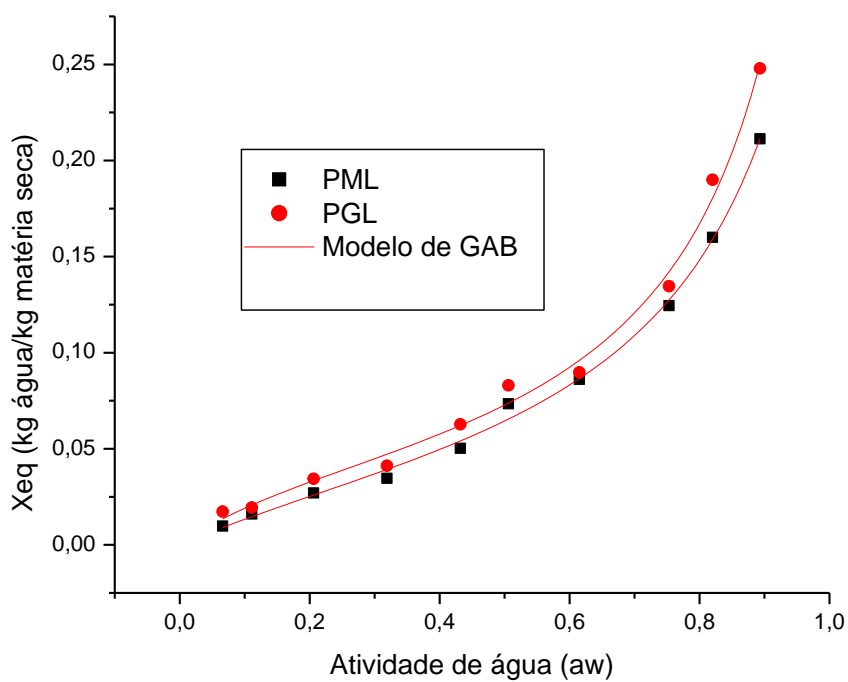
**Figura 29:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 50°C obtidas por “spray dryer”.



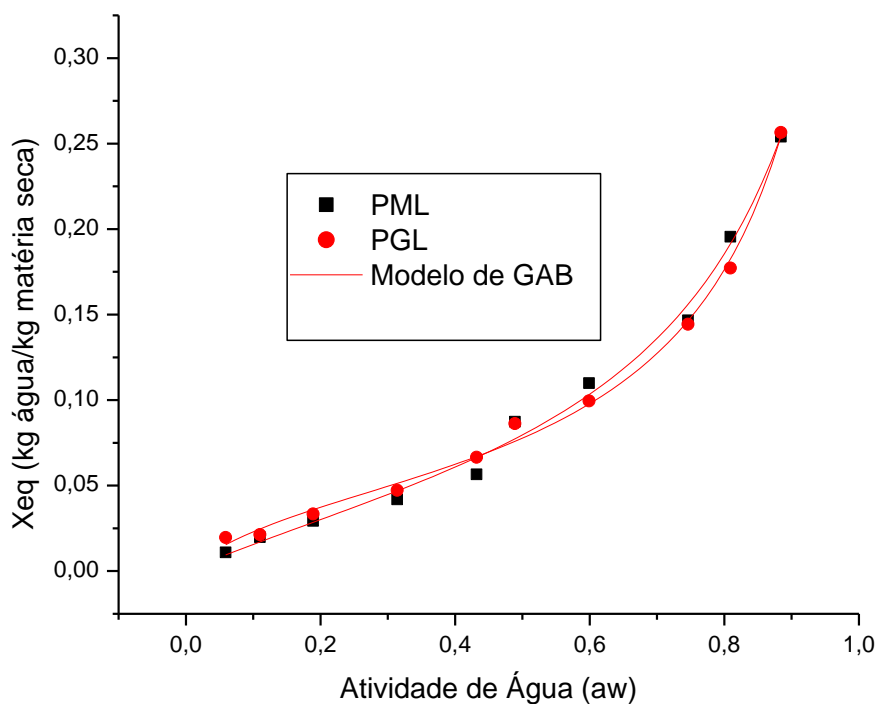
**Figura 30:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 20°C obtidas por liofilizador.



**Figura 31:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 30°C obtidas por liofilizador.



**Figura 32:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 40°C obtidas por liofilizador.



**Figura 33:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) para amostras PML e PGL a 50°C obtidas por liofilizador.

A Figura 34 mostra as fotografias das amostras de PML e PGL em pó obtidas por “spray dryer” e liofilizador, após atingido o equilíbrio a 40°C nas 10 soluções saturadas utilizadas. Observa-se que com o aumento da atividade de água das soluções, havia um escurecimento maior da amostra, especialmente naquelas atomizadas.

### 5.7. Determinação dos Parâmetros de Qualidade do Produto Final em Pó

Os resultados das análises de qualidade dos pós obtidos por “spray dryer” e liofilizador, são mostrados nas Tabelas 21, 22, 23 e 24.

	"Spray Dryer"		Liofilizador	
	PML	PGL	PML	PGL
NaOH				
LiCl				
CH <sub>3</sub> COOK				
MgCl <sub>2</sub>				
K <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>				
Mg(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>				
NaNO <sub>2</sub>				
NaCl				
KCl				
BaCl <sub>2</sub>				

**Figura 34:** Fotografias das amostras de PML e PGL em pó obtidas por "spray dryer" e liofilizador após atingido o equilíbrio a 40°C em diferentes soluções saturadas.

**Tabela 21:** Valores de umidade final (X), higroscopicidade (Hi), grau de aglomeração (GA), dispersibilidade (Ds) e molhabilidade (Mo) da polpa de maracujá em pó obtida no “spray dryer” com maltodextrina/leite desnatado e goma Arábica/leite desnatado.

Amostra	X (bu%)	Hi (%)	GA (%)	Ds(%)	Mo (s)
PML	1,40±0,17	1,09±0,04	98,61±0,10	13,78±0,47	786±30
PGL	1,16±0,08	0,93±0,03	89,55±0,15	15,97±0,22	470±20

PML = Polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado

PGL= Polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado

**Tabela 22:** Valores de umidade final (X), higroscopicidade (Hi), grau de aglomeração (GA), dispersibilidade (Ds) e molhabilidade (Mo) da polpa de maracujá em pó obtida no liofilizador com maltodextrina/leite desnatado e goma Arábica/leite desnatado.

Amostra	X (bu%)	Hi (%)	GA (%)	Ds(%)	Mo (s)
PML	1,59±0,09	1,92±0,04	33,94±0,20	13,14±0,05	5±0,5
PGL	2,83±0,11	2,18±0,02	21,92±0,15	14,55±0,14	7±0,5

PML = Polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado

PGL= Polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado

Os valores de umidade das amostras de PML e PGL foram inferiores aos encontrados por Jaya e Das (2004) para a polpa de manga, os quais encontraram uma faixa de 4,19 a 4,62 (% bs) e também inferiores aos encontrados por Pedro (2009), que foram de 6,46; 5,91 e 6,79 (% bu) para uma mistura de polpa de maracujá e maltodextrina nas seguintes proporções: 35:65 (maltodextrina DE 10), 35:65 (maltodextrina DE 20) e 40:60 (maltodextrina DE 10), todas obtidas em “spray dryer”.

Foi observada uma tendência de redução no teor de umidade do produto final com o aumento da concentração de maltodextrina. Este resultado está de acordo com os dados experimentais obtidos por Quek, Chok e Swedlund (2007) para melancia em pó. De acordo com esses autores, a adição de maltodextrina aumenta o teor de sólidos e reduz a quantidade de água para evaporação. Entretanto, Goula e Adamopoulos (2008) observaram um aumento na umidade de amostras com o aumento na concentração de maltodextrina de polpa de tomate em pó obtidas a 140 °C por “spray drying” e, atribuíram este comportamento à dificuldade das moléculas de água difundirem através das moléculas de maltodextrina. Adhikari et al. (2004) estudaram o efeito da adição de maltodextrina sobre a cinética de secagem de alimentos ricos em açúcares durante a

secagem convectiva e concluíram que a adição de maltodextrina diminui a taxa de secagem, de modo similar ao comportamento observado por Goula e Adamopoulos (2008).

As amostras liofilizadas apresentaram teores de umidade ligeiramente superiores às atomizadas (Tabelas 21 e 22). Este resultado foi similar ao obtido por Righetto (2005), quando esta autora produziu suco de acerola atomizado e liofilizado, utilizando maltodextrina e goma arábica em diferentes proporções.

Nas amostras obtidas em “spray”, a umidade foi menor para PGL que para PML, enquanto para as obtidas em liofilizador, obteve-se o efeito contrário. Rodrigues (2004), estudando a microencapsulação de extrato de café em “spray dryer”, encontrou valores de umidade maiores para as amostras com goma Arábica (7,0%) que às aquelas com maltodextrina (4,6%).

Os valores obtidos para a higroscopicidade da polpa de maracujá em pó apresentaram-se inferiores aos encontrados por Jaya e Das (2004), que obtiveram valores entre 5,13 e 9,38% para manga em pó e aos valores encontrados por Martinelli (2008) para o suco de limão (5,34 – 7,68%). Nos ensaios realizados por Pedro (2009), verificou-se um pequeno decréscimo no valor da higroscopicidade com um aumento na quantidade de maltodextrina para polpa de maracujá em pó. Jaya e Das (2004) mencionaram que a higroscopicidade da polpa de manga em pó diminuiu com o acréscimo da quantidade de maltodextrina. Goula e Adamopoulos (2008) observaram o mesmo comportamento para a polpa de tomate em pó. O efeito da adição de maltodextrina na higroscopicidade também foi observado para outras frutas, tais como, figo da Índia (RODRIGUES-HERNANDEZ et al., 2005), açaí (TONON; BRABET; HUBINGER, 2008), limão (MARTINELLI, 2008), melancia (QUEK; CHOK; SWEDLUND, 2007), entre outras. Isto explica o fato das amostras de PML e PGL estarem com valores de higroscopicidade bem inferiores aos destes autores, pois a quantidade de aditivos utilizada neste trabalho foi bastante superior àqueles.

Em relação à higroscopicidade das amostras PML e PGL atomizadas e liofilizadas, observam-se que as liofilizadas apresentam maior higroscopicidade. Já as PGL apresentaram maior higroscopicidade nas amostras obtidas por liofilizador e menor às PML obtidas por “spray”.

Os resultados obtidos para o grau de aglomeração da PML e PGL em pó obtidas por “spray dryer” foram bem superiores aos encontrados por Jaya e Das (2004), que obtiveram valores entre 8,96 e 33,97% para a manga em pó. Já para PML e PGL



liofilizadas, os valores estão dentro da faixa destes autores. Martinelli (2008) encontrou uma faixa de valores de 74,51 – 77,04% para polpa de limão. Goula e Adamopoulos (2008) encontraram para a polpa de tomate em pó valores próximos ao de Jaya e Das (2004). Segundo Righetto e Netto (2005), a principal causa da aglomeração do pó é a indução da plasticização pela água presente na superfície do alimento em pó. A água adsorvida na superfície forma uma solução saturada e torna as partículas pegajosas e capazes de formarem pontes líquidas (DOWNTON et al., 1982).

Os valores de dispersibilidade encontrados neste estudo estão abaixo da faixa obtida por Jaya e Das (2004) para polpa de manga (67,05 – 99,98%) e dos valores obtidos por Martinelli (2008) para o suco de limão em pó (78,73 – 79,28%). De acordo com Jaya e Das (2008), o decréscimo da quantidade de maltodextrina aumenta a dispersibilidade e, portanto, a adição de maltodextrina prejudica a reconstituição do suco de manga em pó, o que pode explicar os menores valores de dispersibilidade encontrados para PML e PGL obtidos por “spray” e liofilizador neste trabalho. O valor da dispersibilidade do leite desnatado em pó está em torno de 90% (EL-SAMRAGY et al, 1993). Produtos em pó obtidos por “spray dryer” são constituídos de pequeno tamanho de partículas, na faixa de 10-100  $\mu\text{m}$ , apresentando propriedades de reconstituição e manipulação relativamente ruins (FUCHS et al., 2006). Muitas vezes é necessário acrescentar uma etapa de instantaneização. Na reconstituição de um alimento em pó, quando as partículas finas entram em contato com o meio de dissolução, ocorre a formação de uma camada hidrófoba que impede o líquido de penetrar. A aglomeração promove a formação de uma estrutura porosa no grânulo, com aumento na quantidade de ar intersticial, formando "canais" que facilitam a entrada do líquido de dissolução (MAUREL, 1994).

Os valores de molhabilidade do pó de polpa de maracujá obtidas em “spray” são muito maiores que aqueles encontrados por Pedro (2009) para polpa de maracujá com 65 e 60 % de maltodextrina 10 DE (6,46 e 6,79 s, respectivamente), provavelmente devido à presença do leite desnatado, pois em trabalho realizado por Kim et al (2002), o tempo de molhabilidade do leite desnatado foi de pouco mais de 10 minutos (600 segundos). São também maiores em comparação àqueles encontrados por Jaya e Das (2004) (17,35 a 35,27 s) e àqueles encontrados para o suco de limão (123,67 a 130,33 s). De acordo com Vissoto et al. (2006), os valores encontrados pelos autores para achocolatado em pó foram de até 480 s. Segundo Maia e Golgher (1983), produtos em pó que apresentam baixa molhabilidade tendem a formar grumos durante a adição e

mistura com a água. Isto foi observado nas amostras de PML e PGL durante a análise de dispersibilidade, onde a formação de grumos e dificuldade de homogeneização foi bastante pronunciada, especialmente nas amostras obtidas por “spray”.

Já para as amostras de PML e PGL liofilizadas, os resultados da molhabilidade ficaram muito próximos aos de Pedro (2009) para as amostras atomizadas, apresentando resultados muito inferiores às amostras PML e PGL obtidas em “spray”, pois produtos em pó obtidos por “spray dryer” são constituídos de pequeno tamanho de partículas, na faixa de 10-100  $\mu\text{m}$ , apresentando propriedades de reconstituição e manipulação relativamente ruins (FUCHS et al., 2006).

**Tabela 23:** Resultados da colorimetria das amostras PML e PGL em pó obtidas no “spray dryer”.

Parâmetro de cor	PML	PGL
L*	95,65 $\pm$ 0,06	94,67 $\pm$ 0,26
a*	-0,48 $\pm$ 0,03	-0,53 $\pm$ 0,03
b*	10,19 $\pm$ 0,19	7,62 $\pm$ 0,35

PML = Polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado

PGL= Polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado

**Tabela 24:** Resultados da colorimetria das amostras PML e PGL em pó obtidas no liofilizador.

Parâmetro de cor	PML	PGL
L*	89,44 $\pm$ 0,11	87,35 $\pm$ 0,14
a*	0,65 $\pm$ 0,02	1,14 $\pm$ 0,09
b*	27,40 $\pm$ 0,27	24,87 $\pm$ 0,62

PML = Polpa de maracujá:maltodextrina:leite desnatado

PGL= Polpa de maracujá:goma Arábica:leite desnatado

Os resultados para a medida da cor para as amostras em pó de PML e PGL atomizadas e liofilizadas estão apresentados nas Tabelas 23 e 24, respectivamente. A medida de  $L^*$  indica a luminosidade, a medida de  $a^*$  indica a intensidade da cor vermelha ou verde ( $-a^*$ ) e a medida de  $b^*$  indica a intensidade da cor amarela. A cor é um importante atributo de qualidade para os consumidores. Portanto é um importante item de comparação entre as amostras *in natura*. De acordo com a escala, quanto mais próximo de 100 o valor de  $L^*$ , mais a amostra se aproxima da cor branca. Segundo

Telis e Martinez-Navarrete (2009), a adição de aditivos, causa um aumento no valor do parâmetro  $L^*$  do pó quando comparado com a fruta seca sem aditivos. Este efeito foi atribuído à dissolução dos pigmentos presentes nos sucos pela adição dos aditivos, que são pós mais claros. Não foram encontrados valores de  $L^*$ ,  $a^*$  e  $b^*$  para a polpa de maracujá pura liofilizadas e obtidas no “spray dryer”, assim como estas amostras não puderam ser obtidas neste trabalho, devido a dificuldade em secar-se a polpa sem adição de aditivos. Cunha, De La Cruz e Menegalli (2008) verificaram um decréscimo na cor da polpa de manga sem aditivos após o processo de secagem em leito de jorro. Para polpa de manga in natura os valores de  $a^*$ ,  $b^*$  e  $L^*$  foram respectivamente, 7,53, 33,16 e 50,05, depois de processada esses valores caíram para, 0,45 - 2,31 8,60 - 20,30 e 38,46 - 49,14. Os valores de  $L^*$  encontrados por esses autores foram menores em relação aos valores obtidos neste estudo, pois eles não adicionaram maltodextrina ou goma Arábica. Os resultados de  $L^*$  encontrados por Abadio et al. (2004) para a polpa de abacaxi com maltodextrina seca em “spray dryer” são próximos de 100 e estão de acordo com os resultados da polpa de maracujá em pó obtidos neste trabalho,

Comparando-se os parâmetros de cor obtidos das amostras PML e PGL em “spray dryer” e no liofilizador, observa-se que as liofilizadas apresentam menores valores de  $L^*$ , mostrando que estas tendem a distanciar-se da cor branca ( $L^* = 100$ ) o que pode ser observado visualmente nas amostras quando comparadas às obtidas pelo “spray”. O valor de  $b^*$  das liofilizadas apresentou-se maior, ou seja, maior intensidade da coloração amarela, também observada visualmente, em relação às do “spray”. Em relação ao valor do parâmetro  $a^*$ , observa-se que nas amostras obtidas em “spray”, os valores obtidos são negativos, indicando uma leve tendência à coloração verde. Já para as amostras procedentes do liofilizador, estes parâmetros indicam uma tendência a cor vermelha, embora bastante pequena.

Em relação às diferenças entre as amostras PML e PGL, observa-se que tanto para as liofilizadas quanto para as atomizadas (“spray”), há uma diminuição dos parâmetros  $L^*$  e  $b^*$  e um aumento do parâmetro  $a^*$ .

## 6. CONCLUSÕES

Os resultados das análises físico-químicas da polpa de maracujá e do leite desnatado obtidos neste trabalho foram muito próximos aos reportados na literatura.

Foi possível obter polpa de maracujá em pó no secador por aspersão (“spray dryer”) e no liofilizador, porém somente com a utilização de aditivos. Já no secador pulso-fluidizado alguns problemas operacionais no equipamento dificultaram a obtenção do pó, porém, ainda assim foram determinados os parâmetros de secagem para as amostras de polpa de maracujá com aditivos.

As isotermas das amostras obtidas em “spray” e no liofilizador apresentaram-se do tipo III, com pouca variação entre as umidades de equilíbrio das amostras obtidas nos dois equipamentos e com diminuição da umidade de equilíbrio com o aumento da temperatura para todas as amostras testadas. As análises de qualidade apresentaram alguns resultados próximos à literatura, porém outros bastante diferentes, devido provavelmente ao maior teor de aditivos utilizado e a presença do leite desnatado na mistura.

## **7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- ✓ Secagem da polpa de maracujá com aditivos maltodextrina e goma Arábica em outros secadores para comparação com o “spray dryer” e o liofilizador.
- ✓ Testar outras formulações da polpa de maracujá em “spray dryer” a fim de tentar diminuir o uso de aditivos.
- ✓ Caracterização termodinâmica das soluções a serem desidratadas, como por exemplo, análise para determinação da temperatura de transição vítrea.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABADIO, F.D.B.; DOMINGUES, A.M.; BORGES, S.V.; OLIVEIRA, V.M. Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice – effect of malt dextrin concentration and atomization speed. **Journal of Food Engineering**, v.64, n.3, 2004.

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; LECOMTE, D.; BHANDARI, B.R. A glass transition temperature approach for the prediction of the surface stickiness of a drying droplet during spray drying. **Powder Technology**, v. 149, p. 168-179, 2005.

ADHIKARI, B.; HOWES, T.; BHANDARI, B.R.; TROUNG, V. Effect of addition of maltodextrin on drying kinetics and stickiness of sugar and acid-rich foods during convective drying: experiments and modeling. **Journal of Food Engineering**, v. 62, p. 53-68, 2004.

ALVES, C. O. C. **Pós obtidos da polpa de pequi (*caryocar brasiliense camb.*) liofilizada: higroscopicidade e microestrutura**. 2007. 146p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos). Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007.

ANDRADE JÚNIOR, W. M.; XAVIER, C. H.; ARAÚJO, A. A. L.; JÁCOME, B. C.; MEDEIROS, U.K.L.; PEDRINI, M.R.S.; MEDEIROS, M.F.D. Secagem de Leite em Leito de Jorro. In: VI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica (VI Cobeq), 2005 - Faculdade de Engenharia Química - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, Brasil.

ASHERI D. P. R. Estudo das características de sorção de água e da estabilidade das microcápsulas de óleo essencial de laranja na seleção de material de parede. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 19, n. 3, p. 1-17, 1999.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**, Arlington: A.O.A.C.,1995.

BAKER, C. G. J. **Industrial drying of food**. 309 p. 1. ed. London: Blackie academic & Professional, 1997.

BARBOSA-CANÓVAS, G.; VEJA-MERCADO, H. **Dehydration of foods**. Nova Iorque, Editora Chapman & Hall, p. 265-284, 1996.

BHANDARI, B.R.; DATTA, N.; HOWES, T. Problems associated with spray drying of sugar-rich foods. **Drying Technology**, v.15, n.2, p. 671-684, 1997.

BLACHA-JURKIEWICZ. J.; GAWRZYNSKI. Z.; GLASER. R. **Drying of granular material in pulsofluidized bed**. *Drying'87*. p.109-114, 1987.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução a Química de Alimentos**. São Paulo: Varela, 1992a, 223 p.

BORGES, S. V.; REIS, A. L. S. H.; JORGE, E. C.; PINTO, P. R.; OLIVEIRA, V. M. Jugo de frutas tropicales deshidratado por “*spray drying*”. **Alimentaria**, v. 12, p. 125-130, 2002.

BRUNAUER, S.; DEMING, L. S.; DEMING, W.E.; TELLER, E. On a theory of the van der Waals adsorption of gases. **Journal of the American Chemical Society**, v. 62, p. 1723-1732, 1940.

CABRAL, R. A. F.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L.; FINZER, J. R. D. Effect of apparent viscosity on fluidized bed drying process parameters of guava pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 1096–1106, 2007.

CANO-CHAUCA, M.; STRINGHETA, P. C.; RAMOS, A. M.; CAL-VIDAL, J. Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v.5, n.4, p.420-428, 2005.

CASTRO, M.V.; OLIVEIRA, J.P.; MAGALHÃES-JUNIOR, M.J.; ASSUNÇÃO, E.A.O.; BRASIL, A.P.; RABELO, F.L.A.; VALE, C.H.B. Análise química, físico-química e microbiológica de suco de frutas industrializados. **Diálogos e Ciências – Revista da Rede de Ensino FTC**, ano V, n. 12, 2007.

CECCHI, H.M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. Campinas, SP, editora da UNICAMP, 1999.

CHUA, K.J.; CHOU, S.K. Low-cost drying methods for developing countries. **Trends in Food Science and Technology**, 14: 519-528, 2003.

COLLARES, F.P.; FINZER, J.R.; KIECKBUSCH, T.G. Glass transition control of the detachment of food pastes dried over glass plates. **Journal of Food Engineering**, v.61, n.2, p. 261-267, 2004.

COSTA, J. M. C.; MEDEIROS, M. F. D.; MATA, A. L. M. L. da. Isotermas de adsorção de pós de beterraba (*Beta vulgaris L.*), abóbora (*Curcubita moschata*) e cenoura (*Ducus carota*) obtidos pelo processo de secagem em leito de jorro: estudo comparativo. **Revista Ciência Agronômica**, v. 34, n.1, p.5-9, 2003.

CUNHA, R. L.; DE LA CRUZ, A. G.; MENEGALLI, F. C. Effects of operating Conditions on the Quality of Mango Pulp Dried in a Spout Fluidized Bed. **Drying Technology**, v. 24, p. 423–432, 2006.

DE MARCHI, R.; MONTEIRO, M.; BENATO, E.A.; SILVA, C.A.R. Uso da Cor da Casca como Indicador de Qualidade do Maracujá Amarelo (*Passiflora Edulis Sims. F. Flavicarpa Deg.*) destinado à Industrialização. **Ciênc. Tecnol. Aliment**, v. 20, no.3, Campinas Sept./Dec, 2000.

DEBNATH, S.; HEMAVATHY, J.; BHATET, K. K. Moisture sorption on onion powder. **Food Chemistry**, v. 78, p. 479-482, 2002.

DESOBRY, S. A.; NETTO, F. M.; LABUZA, T. P. Comparison of spray-drying, drum-drying and freeze-drying for b-carotene encapsulation and preservation. **Journal of Food Science**, v. 62, n. 6, p. 1158-1162, 1997.

DIB TAXI, C. M. A. **Suco de camu-camu (*Myrciaria dubia*) microencapsulado obtido através de secagem por atomização**. Campinas, 2001. 166p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

DOWNTON, G. E., FLORES-LUNA, J. L., KING, C. J. Mechanism of stickiness in hygroscopic, amorphous powders. **Industrial & Engineering Chemistry Fundamentals**, v. 21, n. 4, p. 447-451, 1982.

EL-SAMRAGY, Y.A., HANSEN, C.L., McMAHON, D.J. Production of Ultrafiltered Skim Milk Retentate Powder. 1. Composition and Physical Properties. **Journal of Dairy Science**, v. 76, n 2, p. 388-392, 1993

FERNÁNDEZ-PÉREZ, V., TAPIADOR, J. MARTÍN<sup>C</sup>, A., LUQUE DE CASTRO, M.D. Optimization of the drying step for preparing a new commercial powdered soup. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 5, n 3, p. 361-368, 2004.



FERRO-FONTAN, C.; CHIRIFE, J.; SANCHO, E.; IGLESIAS, H. A. Analysis of a model for water sorption phenomena in foods. **Journal of Food Science**, v. 47, p. 1590-1594, 1982.

FUCHS, M., TURCHIULI, C.; BOHIN, M.; CUVELIER, M. E.; ORDONNAUD, C.; PEYRAT-MAILLARD, M. N. Encapsulation of oil in powder using spray drying and fluidised bed agglomeration. **Journal of Food Engineering**, v. 75, p. 27–35, 2006.

GABAS, A.L.; TELIS, V.R.N.; SOBRAL, P.J.A.; TELIS-ROMERO, J. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. **Journal of Food Engineering**, v. 82, p. 246-252, 2007.

GABAS, A. L.; MENEGALLI, F. C.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption enthalpy-entropy compensation based on isotherms of plum skin and pulp. **Journal of Food Science**, v. 65, n. 4, p. 680-684, 2000.

GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J.; MENEGALLI, F. C. Thermodynamic models for water sorption by grape skin and pulp. **Drying Technology**, v. 17, n. 4-5, p. 961-974, 1999.

GAWRZYNSKI, Z.; GLASER, R. Drying in a pulsed-fluid bed with relocated gas stream. **Drying Technology**, v.14, n. 5, p.1121-1172, 1996.

GAWRZYNSKI, Z.; GLASER, R.; ZGORZALEWICZ, J.; PELECH, Z.; STANISLAWSKI, J.; ROGULA, G.; PIECZABA, B. **Operational testes of a pulsed fluid bed dryer/ cooler for granulated sugar**. Drying'96 – Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Drying Symposium v. B, p. p. 771-777, 1996.

GAWRZYNSKI, Z.; GLASER, R.; ZGORZALEWICZ, J. Drying of granular material in pulsofluidized bed. **Hungarian Journal of Industrial Chemistry** v.17, p.245-255, 1989.

GOMES, P. M. A; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, AL. J. M.. Caracterização e isotermas de adsorção de umidade da polpa de acerola em pó. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.2, p.157-165, 2002.

GONZÁLEZ, F.H.D.; DURR, J.W.; FONTANELI, R.S. **Uso do leite para monitorar a nutrição e o metabolismo de vacas leiteiras**. Porto Alegre, RS, 2001.

GOULA, A. M.; KARAPANTSIOS, T. D.; ACHILIAS, D. S.; ADAMOPOULOS, K. G. Water sorption isotherms and glass transition temperature of spray dried tomato pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 85, p. 73–83, 2008.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Effect of maltodextrin addition during spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. Powder properties. **Drying Technology**, v. 26, p. 726-737, 2008.

GOULA, A. M.; ADAMOPOULOS, K. G. Stability of lycopene during spray drying of tomato pulp. **LWT – Food Science Technologic**, v. 38, n. 5, p. 479-487, 2005.

GOULA, A.M.; ADAMOPOULOS, K.G. Spray drying of tomato pulp in dehumidified air: II. The effect on powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 66, p. 35-42, 2005.

GRATÃO, A.C.A. **Termofluidodinâmica de Sucos de Frutas Pseudoplásticos em Dutos Cilíndricos e Ânulos Concêntricos**, 2006, 216p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GUERRA, N.B.; DAVID, P.R.B.S.; MELO, D.D.; VASCONCELOS, A.B.B.; GUERRA, M.R.M. Modificações do método gravimétrico não-enzimático para determinar fibra alimentar solúvel e insolúvel em frutos. **Rev. Nutr., Campinas**, volume 17, n. 1, p. 45-52, jan./mar., 2004.

GUPTA, A.S. **Spray drying orange juice**, U.S. Patent 4 112 130, 5 September, 1978.

HASATANI, M.; ITAYA, Y.; MIURA, K. Drying of granular materials in an inclined vibrated fluidized bed by combined radiative and convective heating. **Drying Technology**, New York, v. 9, n. 2, p. 349-366, 1991.

HELDMAN, D. R.; LUND, B. L. **Handbook of Food Engineering**, New York: Marcel Dekker, 1992, 756 p.

HENDERSON, S. M. A basic concept of equilibrium moisture. **Agricultural engineering**, v.33, p.29-32, 1952.

HOFISKY, A. V.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A J. M. Isotermas de adsorção de umidade da pitanga em pó. **Revista de biologia e ciências da terra**, v. 7, n.1, 2007.

HUBINGER, M.; MENEGALLI, F. C.; AGUERRE, R. J.; SUAREZ, C. Water vapor adsorption isotherms of guava, mango and pineapple. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 6, 1992.

IGLESIAS, H.A.; CHIRIFE J. (1992). **Handbook of Food Isotherms**. New York: Academic Press.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (IAL). **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo: 4ª Ed, 1ª edição digital, capítulo 4, 2008.

JAYA, S.; DAS, H. Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalcium phosphate on vacuum dried mango powder properties. **Journal of Food Engineering**, v. 63, p. 125-134, 2004.

JINESCU, G.; VASILESCU, P.; ISOPENCU, G.; PETRESCU, M..Aspects Concerning the Intensification of Drying Process of Powdery Biomaterials. **Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Drying Symposium (IDS'2000)**, IDS 2000 Paper n° 243, 2000.

JOWITT, R.; ESCHER, F.; HALLSTOM, B.; MEFFERT, H.F.T.; SPIESS, W.E.L.; VOS, G. **Physical properties of foods**. London: Applied Science, 1983.

KENNEDY, J.F.; KNILL, C.J.; TAYLOR, D.W. Maltodextrin. In: Kearsley, M.W., Dziejczak, S.Z. (ED.) **Handbook of Starch Hydrolysis Products and their Derivates**. Glasgow: Blackie Academic & Professional, 1995, 275 p., p. 65-82.

KIM, E.H.J., CHEN, X.D., PEARCE, D. Surface characterization of four industrial spray-dried dairy powders in relation to chemical composition, structure and wetting property. **Colloids and Surfaces B: Biointerfaces**, v. 26, p. 197–212, 2002.

KIRANOUDIS, C.T.; MAROULIS, Z.B.; TSAMI, E.; MARINOSKOURIS, D. Equilibrium moisture-content and heat of desorption of some vegetables. **Journal of Food Engineering**, v.20, n.1, p.55-74, 1993.

KOCKEL, T.K.; ALLEN, S.; HENNIGS, C.; LANGRISH, T.A.G. An experimental study of the equilibrium for skim milk powder at elevated temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 51, p. 291-297, 2002.

KUDRA, T. Current issues on drying of particulate materials – A canadian prospective. Disponível em <http://cetc-varenes.nrcan.gc.ca>, 2002-023(OP-J), 2002.

KUDRA, T.; MUJUMDAR, A.S. Special Drying Techniques and Novel Dryers. **Handbook of industrial drying** 2nd Edition, v.2, 1995. p.1087-1149.

LANGRISH, T.A.G.; CHAN, W.C.; KOTA, K. Comparison of maltodextrin and skim milk wall deposition rates in a pilot-scale spray dryer. **Powder Technology**, v. 179, p. 84–89, 2007.

LIN, S.X.Q., CHEN, X.D., PEARCE, D.L. Desorption isotherm of milk powders at elevated temperatures and over a wide range of relative humidity. *Journal of Food Engineering* v. 68, p. 257–264, 2005.

LEWICKI, P. P. A three parameter equation for food moisture sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**, n. 21, p. 127-144, 1998.

LEWICKI, P. P. The applicability of the GAB model to food water sorption isotherms. **International of Food Science and technology**, n. 32, p. 553-557, 1997.

LEWICKI, P. P.; WOLF, W. Rheological properties of raisins. Part II. Effect of water activity, **Journal of Food Engineering**. n. 26, p. 29–43.1995.

MACHADO, S.S.; CARDOSO, R.L.; MATSUURA, F.C.A.U.; FOLEGATTI, M.I.S. Caracterização Física e Físico-Química de Frutos de Maracujá Amarelo Provenientes da Região de Jaguaquara – Bahia. **Magistra, Cruz das Almas - BA**, v. 15, n. 2, jul./dez., 2003.

MAIA, A. B. R.; GOLGHER, M. Parâmetros para Avaliação da Qualidade de Reconstituição do Leite em pó Desidratado em Secador de Aspersão ("*Spray-Dryer*"). **Boletim SBCTA**, Campinas, v. 17, n. 3, p. 235-254, 1983.

MARTINELLI, L. **Construção e desenvolvimento de um secador de leite pulso-fluidizado para secagem de pastas e polpas**, 2008, 148p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São José do Rio Preto.

MARTINELLI, L.; GABAS, A. L.; TELIS-ROMERO, J. T. Thermodynamic and quality properties of lemon juice powder as affected by maltodextrin and arabic gum. **Drying Technology**, v. 25, p. 2035-2045, 2007.

MASTERS, K. **Spray Drying Handbook**. 3 Ed. New York, Longman Scientific & Technical, 1997

MAUREL, E. C. Technologie des poudre. Granulation: tout un savior-faire. **Process**, n° 1095, p. 62-65, 1994.

MAZZA, G.; LEMAGUER, M. Water sorption properties of yellow globe onion (*Allium cepa*, L.). **Canadian Institute Food Science Thecnology Journal**, v. 11, p. 189-193, 1978.

MCMINN, W. A. M.; AL-MUHTASEB, A. H.; MAGEE T.R.A. Enthalpy–entropy compensation in sorption phenomena of starch materials. **Food Research International**, v. 38, p. 505–510, 2005.

MOREIRA, R.; CHENLO, F.; VÁZQUEZ, M. J.; CAMEÁM, P. Sorption isotherms of turnip top leaves and stems in the temperature range form 298 to 328K. **Journal de Food Engineering**, v. 71, n. 2, p. 193-199, 2005.

NIJDAM, J.J.; LANGRISH, T.A.G.; The effect of surface composition on the functional properties of milk powders. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 919-952, 2006.

NITZ, M. Fluidodinâmica, secagem e recobrimento em leite pulso-fluidizado. 2006. 212f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. 2006.

OKOS, M. R.; NARSIMHAN, G.; SINGH, R. K.; WEITNAUER, A. C. **Handbook of food engineering**, New York: Marcel Dekker, 1992. 756 p.

OLIVEIRA, M.A. **Avaliação da influência de adjuvantes de secagem sobre as propriedades de suco de caju atomizado**, 2008. 63p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

OLIVEIRA, A. R. G.; BORGES, S. V.; FARIA, R. K. ENDO, E.; GREGÓRIO, S. R. Influência das condições de secagem por atomização sobre as características sensoriais de sucos maracujá (*passiflora edullis* ) e abacaxi (*ananas comosus*) desidratados **Revista Ciência Agrônômica**, v.38, n.3, p.251-256, 2007.

ORDOÑEZ, J. A. **Tecnología de alimentos**: Componentes dos alimentos e processos. 1 ed. Vol 1. São Paulo: Artmed editora, 2005, 294 p.

OSWIN, C. R. The kinetics of package life III. The isotherm. **Journal of Chemical Industry**, 65, 419-421, 1946.

PAN, Y. K.; LI, J. G.; ZHAO, J.; YE, W. H.; MUJUMDAR, A. S.; KUDRA, T. Performance characteristics of vibrated fluid bed of inert particles for drying of liquid feeds. **Drying Technology**, v.19, n. 8, p.2003-2018, 2001.

PEDRO, M.A.M. **Influência de encapsulantes e do método de secagem nas propriedades físico-químicas e atributos de qualidade de polpa de maracujá (*Passiflora edulis f. flavicarpa*) em pó**, 2009. 205p. Tese de Doutorado - Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

PEDRO, M.A.M. **Influência de pré-tratamentos com emulsões a base de lecitina e óleo de soja na cinética de secagem da uva rubi**, 2005, 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto.

PELEG, M. Assessment of a semi-empirical four parameter general model for sigmoid moisture sorption isotherms. **Journal of Food Process Engineering**, v. 16, p. 21-37, 1993.

PEÑA, L.M.R. **Estudo da instantaneização de misturas contendo cacau em pó por aglomeração com jato de vapor**. 2003. 259f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos)- Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PÉREZ-ALONSO, C.; BERISTAIN, C. I.; LOBATO-CALLEROS, C.; RODRÍGUEZ-HUEZO, M.E.; VERNON-CARTER, E.J. Thermodynamic analysis of the sorption isotherms of pure and blended carbohydrate polymers. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 4, p. 753-760, 2006.

PISECKY, J. Standards, specifications and test methods for dry milk products. In M. C. Diarmuid (Ed.), **Concentration and drying of foods**. New York: Elsevier Science Publishing Co, p. 203-220, 1985.

POTTER, N.N.; HOTCHKISS, J.H. **Food Science**. 3 ed. New York; Chapman and Hall, 1995, 608 p.

QUEK, S. Y.; CHOK, N. K. SWEDLUND, P. The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. **Chemical Engineering and Processing**, v. 46, p. 386–392, 2007.

RAHMAN, S. **Food Properties Handbook**. CRC Press, 1995.

RÉ, M.I. Microencapsulation by spray drying. **Drying Technology**, v.16, n.6, p.1195-1236, 1998.

REINECCIUS, G.A. Multiple-core encapsulation: the spray drying of food ingredients. In: VILSTRUP, P. **Microencapsulation of food ingredients**. Surrey: Leatherhead Publishing, 2001, cap.9, p.151-185.

RIBEIRO, M. S. **Estudo fluidodinâmico de um leito fluidizado pulsado rotativo com partículas secas e úmidas**. 2005, 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RIGHETTO, A.M.; NETTO, F.M. Effect of encapsulating materials on water sorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. **International Journal of Food Properties**, v.8, n.2, p.337-346, 2005.

RIGHETTO, A.M.; NETTO, F.M. Sorption isotherms of encapsulated unripe West Indian cherry (*Malpighia glabra L*) juice. In: **ISOPOW, 2000 – International symposium on the properties of water**, 8<sup>th</sup>. Zichron Yaakov, 2000, 98p.

RIZVI, S.S.H. Thermodynamic properties of foods in dehydration, In: M.A. Rao and S.S.H. Rizvi (Ed.). **Engineering Properties of Foods**, New York: Academic Press, 1995.

RODRÍGUEZ-HERNANDEZ, G.R.; GONZÁLEZ-GARCÍA, R.; GRAJALES-LAGUNES, A.; RUIZ-CABRERA, M.A. Spray-drying of cactus pear juice (*Opuntia streptacantha*): Effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. **Drying Technology**, v.23, n.4, p.955-973, 2005.

ROOS, Y.H. Glass transition-related physicochemical changes in foods. **Food Technology**, v. 49, n. 10, p. 97-102, 1995.

ROSENBERG, M.; KOPELMAN, I.J.; TALMON, Y. Factors affecting retention in spray drying microencapsulation of volatile materials. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.38, n.5, p.1288-1294, 1990.

SCHALLER-POVOLNY, L. A.; SMITH, D. E.; LABUZA, T. P. Effect of water content and molecular weight on the moisture isotherms and glass transition properties of inulin. **International Journal of Food Properties**. New York, v. 3, n. 2, p. 173-192, 2000.

SCHUBERT, H. Food particle technology. Part I: properties of particles and particles food systems. **Journal of food engineering**, v. 6, n. 1, p. 1-30, 1993.

SHEWFELT, R. L.; THAI, C . N.; DAVIS, J. W. Prediction of changes in color of tomatoes ripening at different constant temperatures. **Journal of Food Science**, v.53, n.5, p.1433-1437, 1988.

SHILTON, N.C.; NIRANJAM, K.; Fluidization and is applications to food processing. **Food Structure**, v. 12, n. 3, p. 199 –215, 1993.

SILVA, M. A.; SOBRAL, P. J. A.; KIECKBUSCH, T. G. State diagrams of freeze-dried camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh) pulp with and without maltodextrin addition. **Journal of Food Engineering**, v. 77, n. 3, p. 426-432, 2006.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS (TACO). NEPA-UNICAMP, versão II – 2ª edição, Campinas-SP, 2006, 113p.

TARUNA, I.; JINDAL V.K. Drying of soy pulp (okara) in a bed of inert particles. **Drying Technology**. V. 20 n. 4-5, 2002. p. 1035-1051.

TELIS-ROMERO, J.; BERISTAIN, C.I.; GABAS, A.L.; TELIS, V.R.N. Effect of apparent viscosity on the pressure drop during fluidized bed drying of soursop pulp. **Chemical Engineering and Processing**, v. 45, p. 684-694, 2007.

TELIS-ROMERO, J. T.; KOHAYAKAWA, M. N.; SILVEIRA, V. ; PEDRO, M. A. M. ; GABAS, A. L. . Enthalpy-Entropy Compensation Based on Isotherms of Mango. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 297-303, 2005.

TELIS, V. R. N.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Collapse and Color Changes in Grapefruit Juice Powder as Affected by Water Activity, Glass Transition, and Addition of Carbohydrate Polymers. **Food Biophysics**, v. 4, p. 83-93, 2009.



TELIS, V. R. N.; GABAS, A. L.; MENEGALLI, F. C.; TELIS-ROMERO, J. Water sorption thermodynamic properties applied to persimmon skin and pulp. **Thermochimica Acta**, v. 343, n. 1, p. 49-56, 2000.

TODA FRUTA. Disponível em: <<http://www.todafruta.com.br>>. Acesso em: 10/04/2009.

TONON, R.V. Secagem por atomização do suco de açaí: Influência das variáveis de processo, qualidade e estabilidade do produto. Campinas, 2009. 212p. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas.

TONON, R. V.; BRABET, C.; HUBINGER, M. D. Influence of process conditions on the physicochemical properties of açaí (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. **Journal of Food Engineering**, v. 88, p. 411-418, 2008.

TSAMI, E.; KROKIDA, M.K.; DROUZAS, A.E. Effect of drying method on the sorption characteristics model fruit powders. **Journal of Food Engineering** 38 (1999), 381-392.

TUMA, A.L.S.; HOLANDA, L.F.F.; MAIA, G.A.; ORIÁ, H.F. Contribuição ao Estudo do Suco de Maracujá. **Ciê. Agron**, v.11, n.2, p.19-26, 1980.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **National Nutrient Database for Standard Reference**. Disponível em: < <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/> Acesso em: março de 2009.

VAILLANT, F. ; JEANTON, E. ; DORNIER, M. ; O'BRIEN, G.M. ; REYNES, M. ; DECLoux, M. Concentration of passion fruit juice on an industrial pilot scale using osmotic evaporation. **Journal of Food Engineering**, v. 47, p.195-202, 2001.

VAILLANT, F.; MILLAN, P.; O'BRIEN, G.; DORNIER, M.; DECLoux, M.; REYNES, M. Crossflow microfiltration of passion fruit juice after partial enzymatic liquefaction. **Journal of Food Engineering**, v. 42, p. 215-224, 1999.

VAN DEN BERG, C. Development of B.E.T. like models for sorption of water of foods; theory and relevance. In D. Simatos & J.L. Multon (Eds). **Properties of water in foods**. (pp. 119-135). Dordrecht: Martinus Nijhoff Publishers, 1985.

VISSOTTO, F. Z.; MONTENEGRO, F. M. ; SANTOS, J. M.; OLIVEIRA, S. J. R. Avaliação da influência dos processos de lecitinação e de aglomeração nas propriedades físicas de achocolatado em pó. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 2, n. 3, 2006.

WALSTRA, P.; JENNESS, R. **Química y Física Lactológica**. Editorial Acribia S/A, Zaragoza, Espana, 1987, 2 p., p. 164-165.

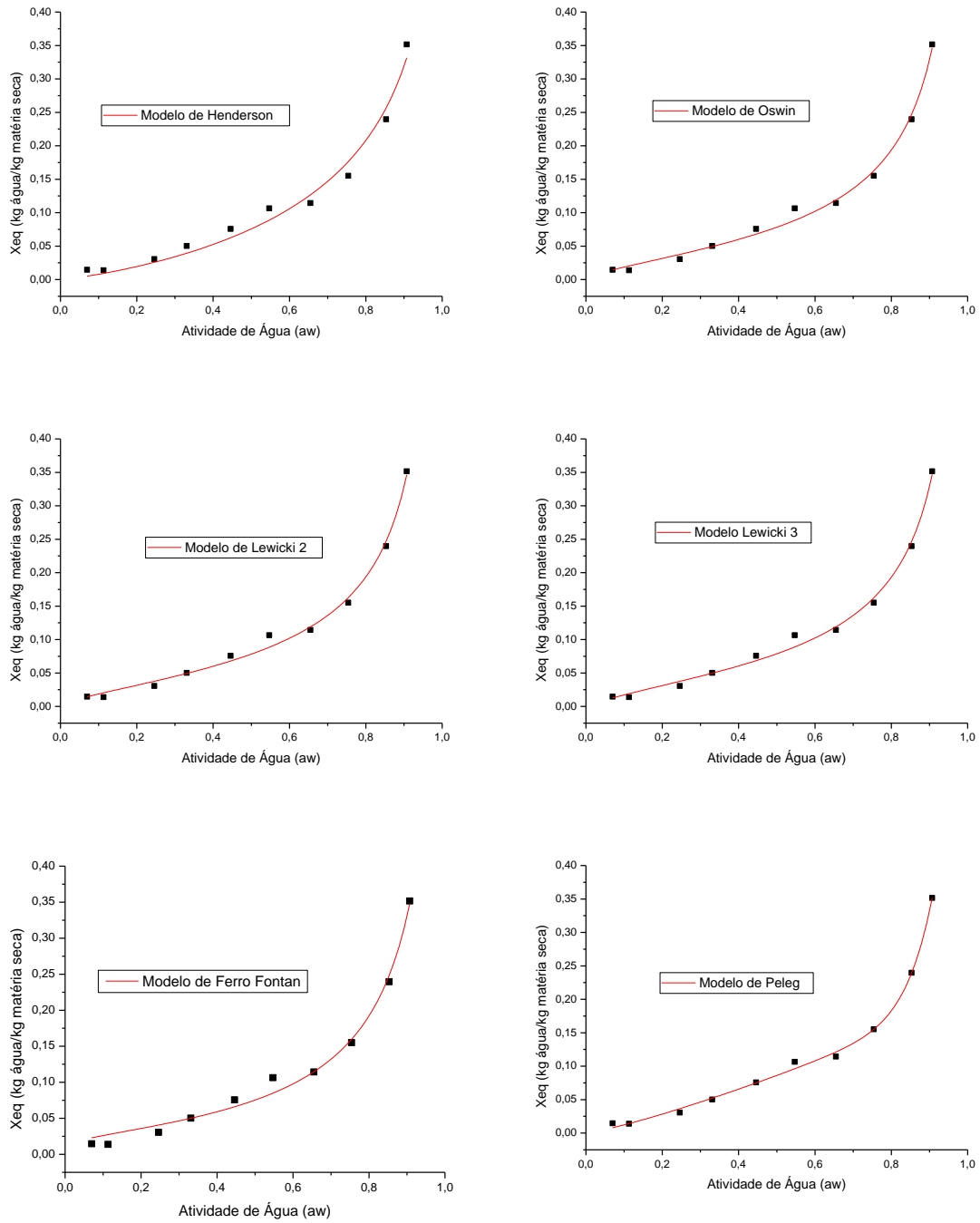
WANG, X. S.; RHODES, M. J. Pulsed fluidization — a DEM study of a fascinating phenomenon. **Powder Technology**, v.159, pp.142-149, 2005b.

WANG, X. S.; RHODES, M. J. Using pulsed flow to overcome defluidization. **Chemical Engineering Science**, v.60, pp.5177-5181, 2005a.

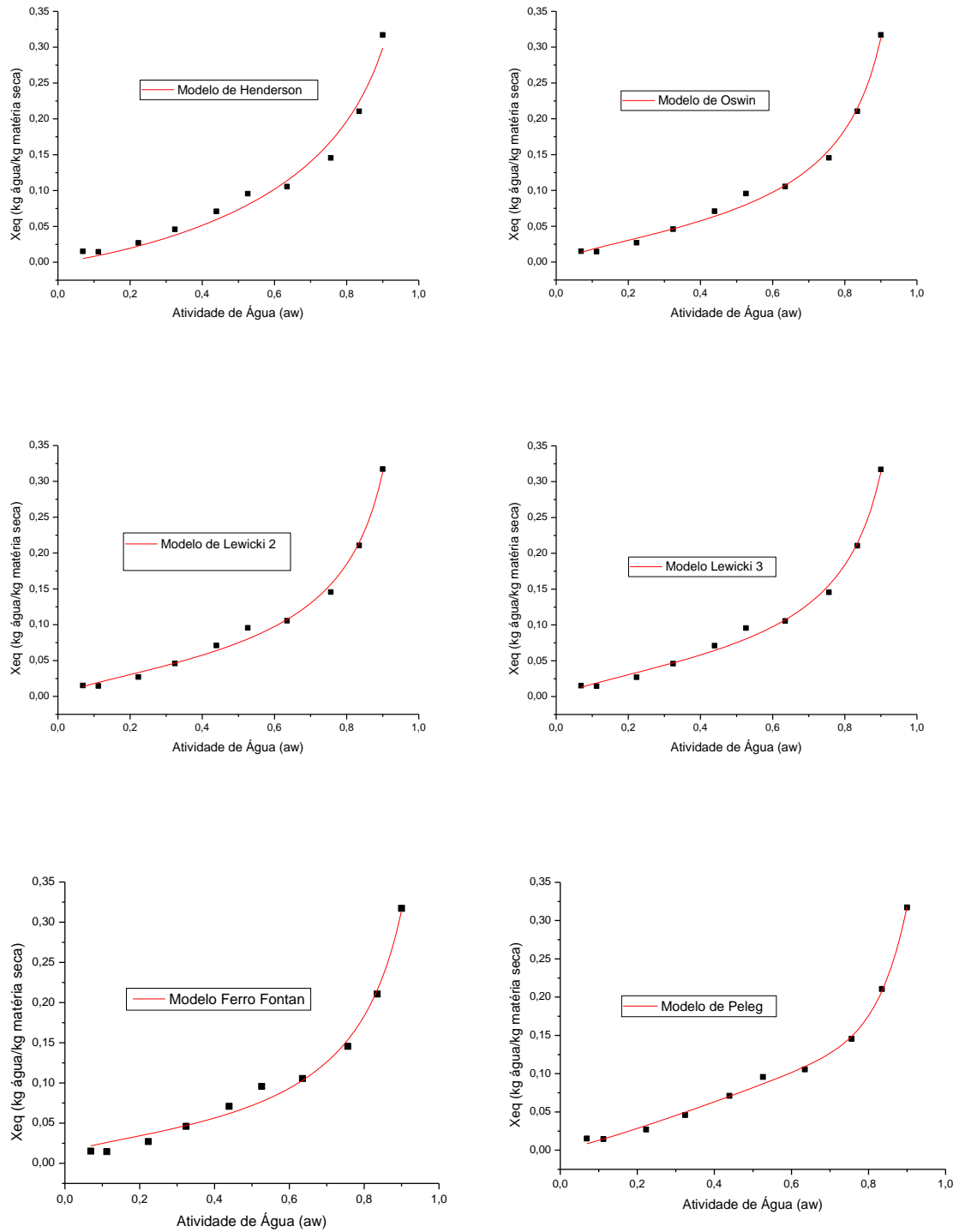
WOLF. W.; SPIESS. W.; JUNG. G. **Sorption isotherms and water activity of food material**. 1. ed. London: Elsevier Science Publishing Co. 1985. 239 p.

**ANEXO A**

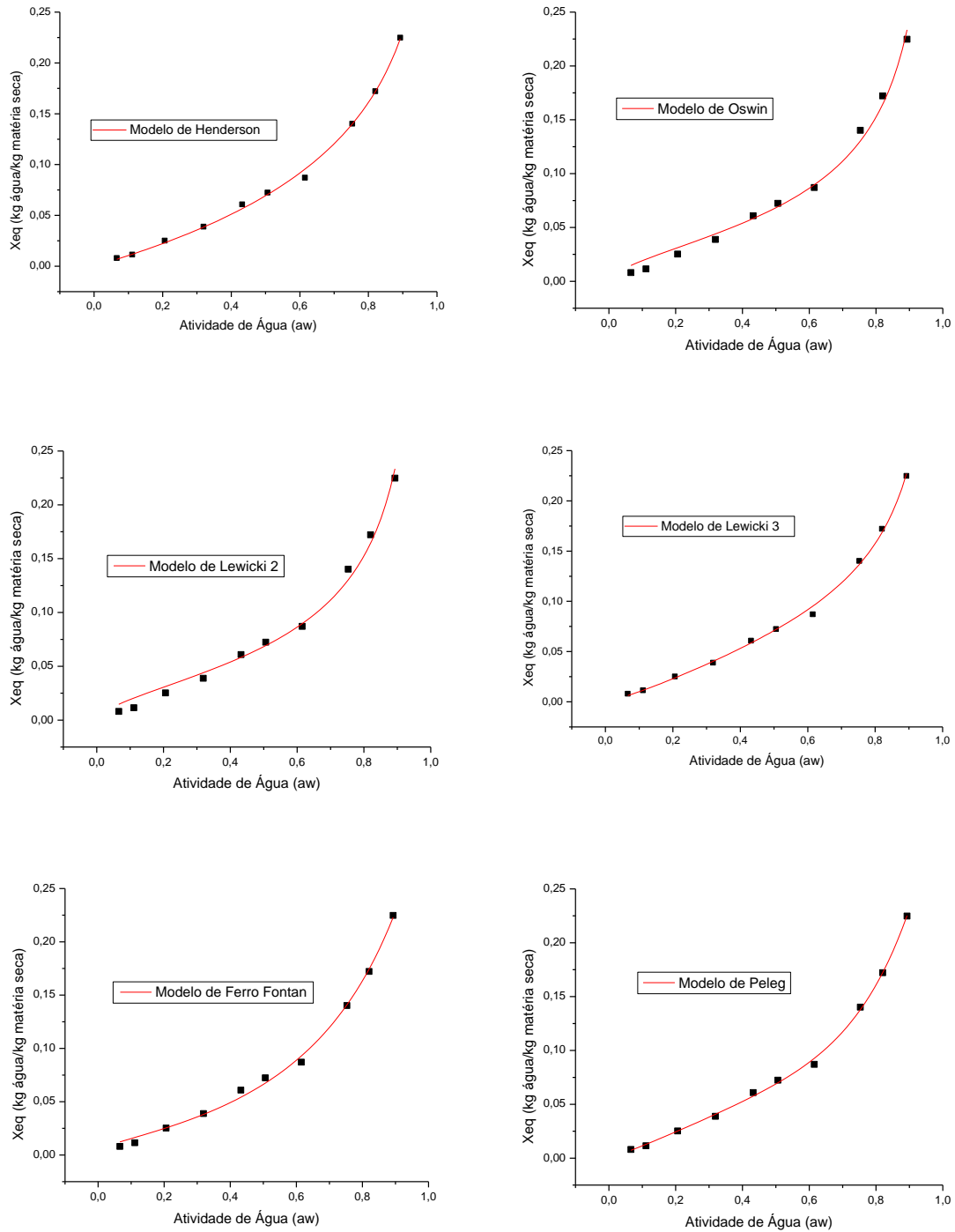
Gráficos de umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML e PGL obtidas por “spray dryer” e liofilizador a 20, 30, 40 e 50°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



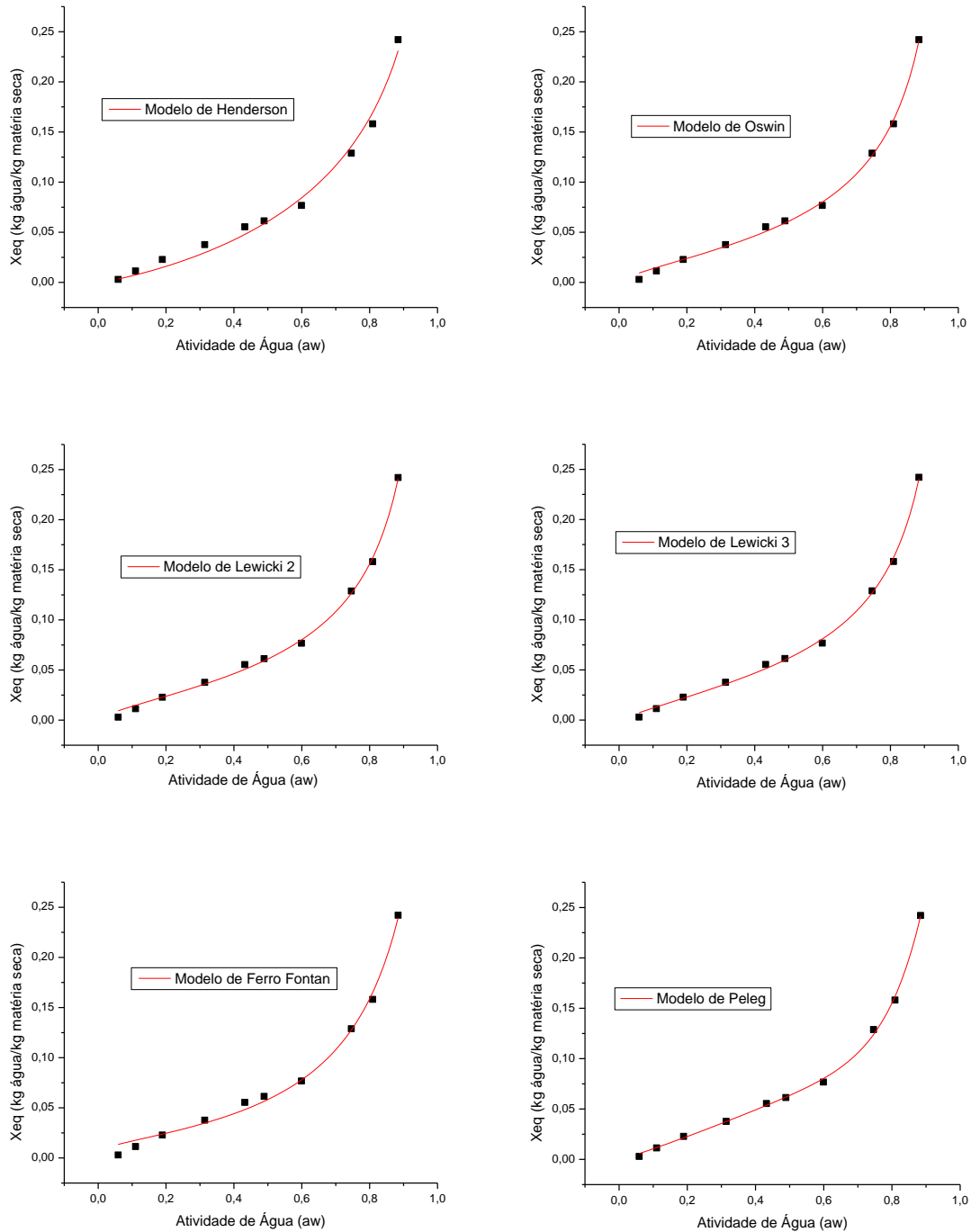
**Figura A1:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 20°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



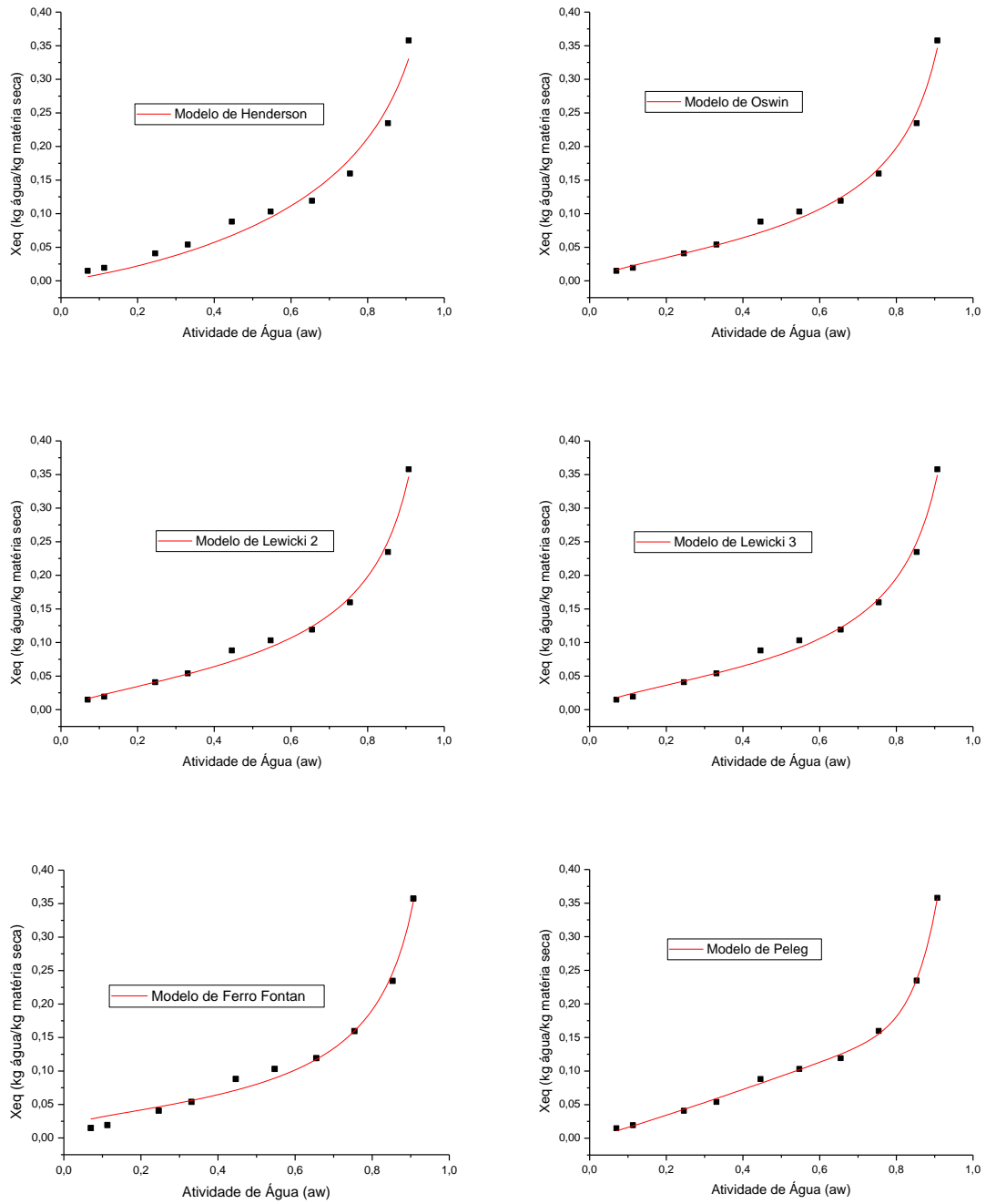
**Figura A2:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 30°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



**Figura A3:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 40°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.

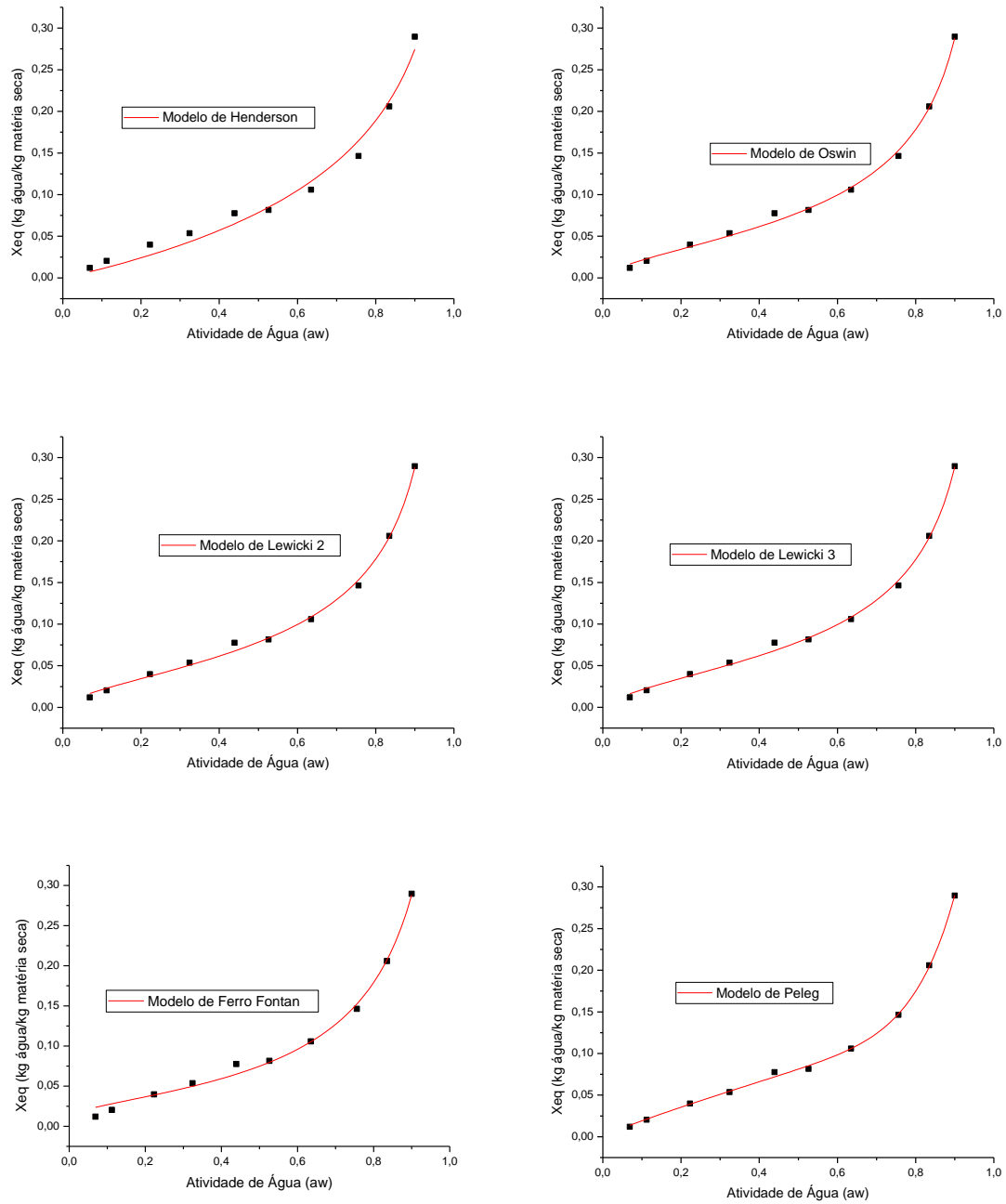


**Figura A4:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por “spray dryer” a 50°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.

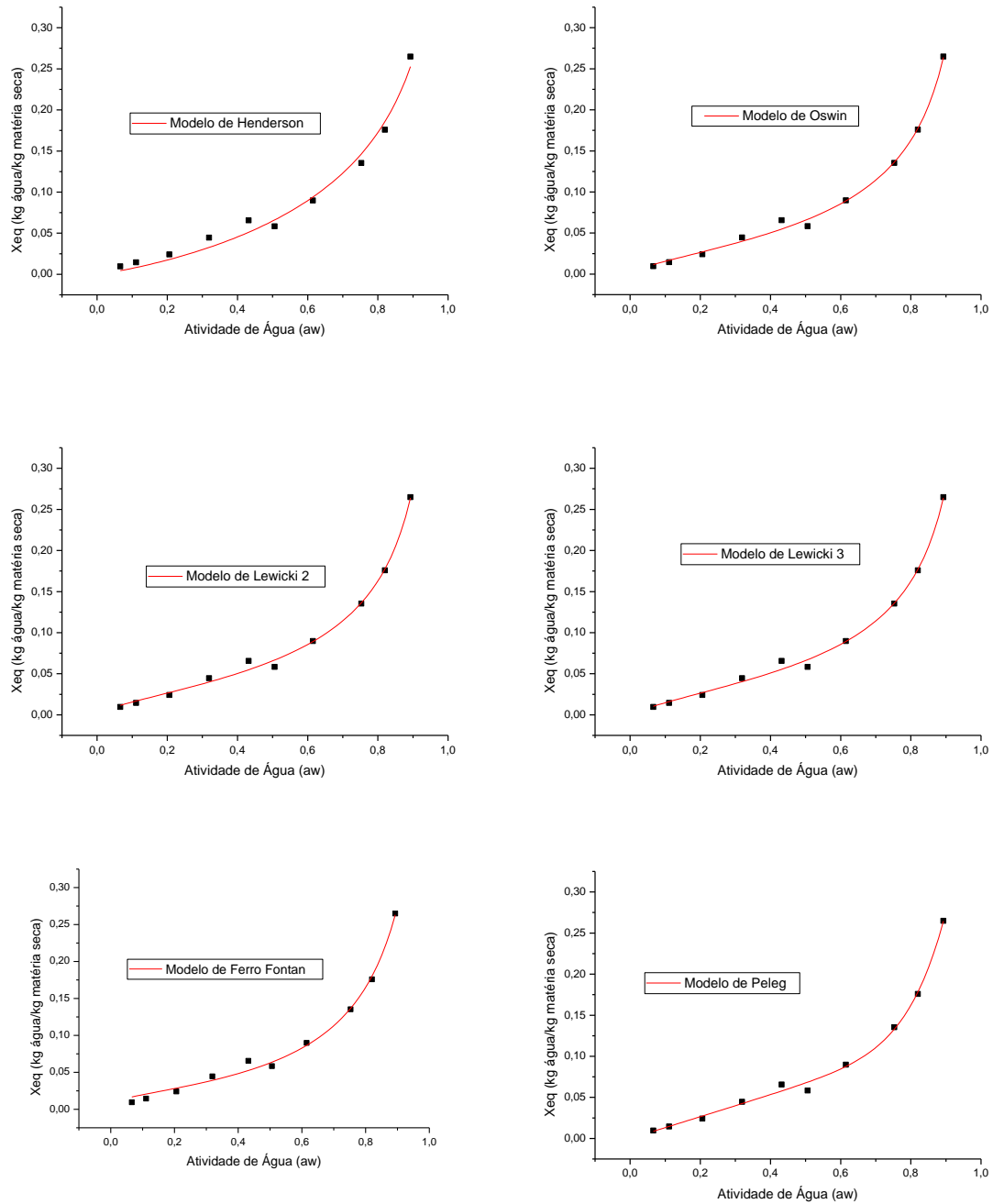


**Figura A5:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 20°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.

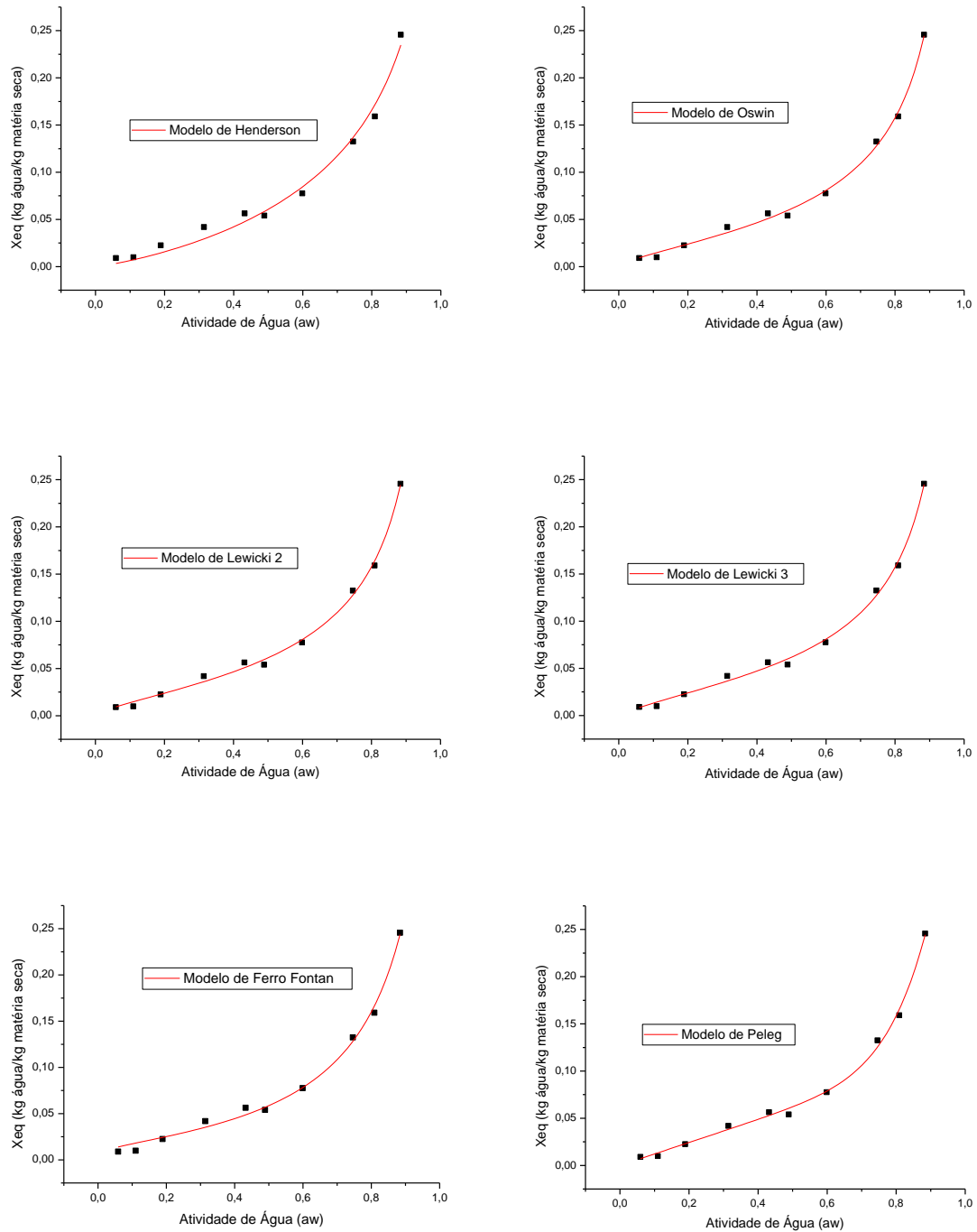




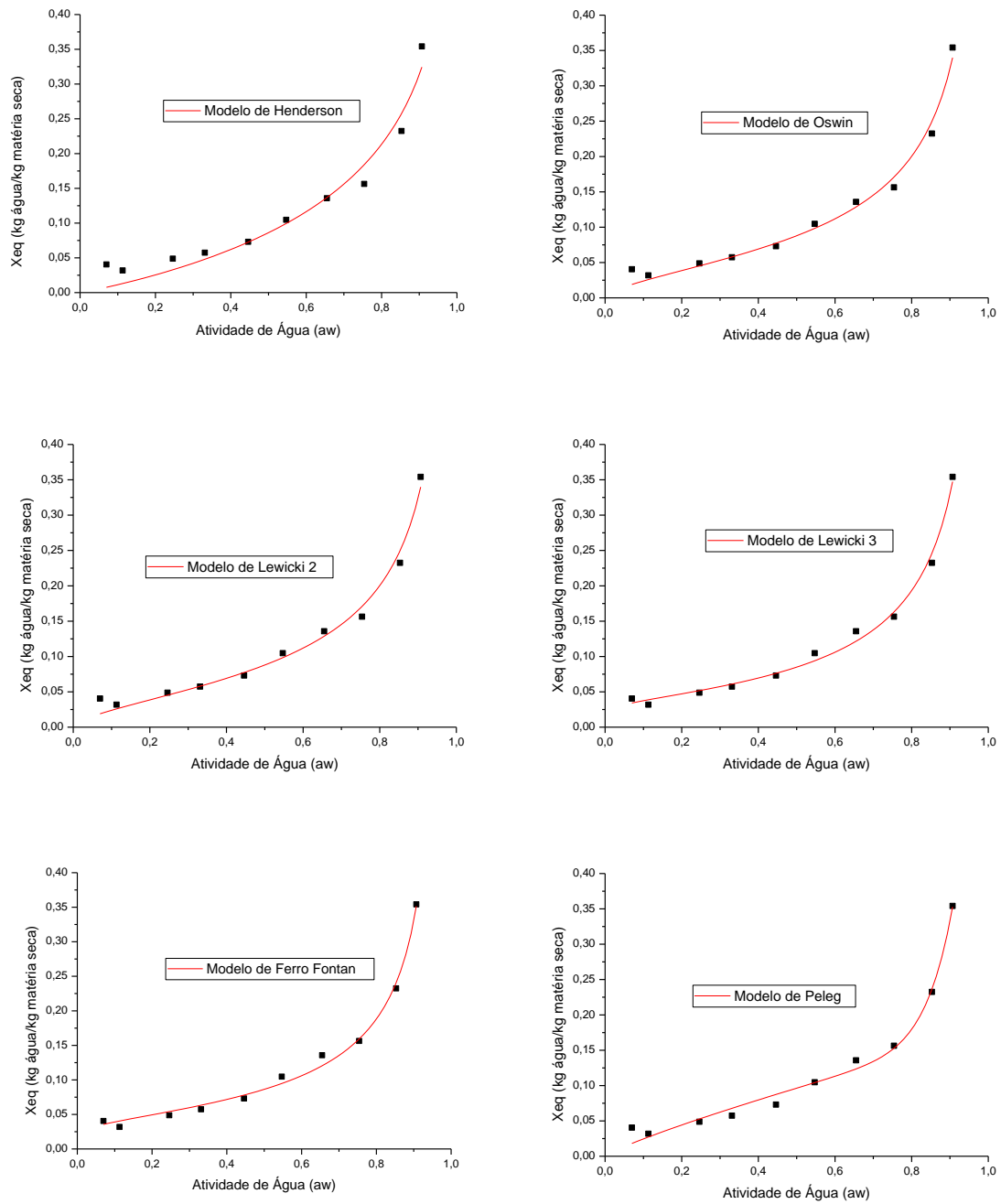
**Figura A6:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 30°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



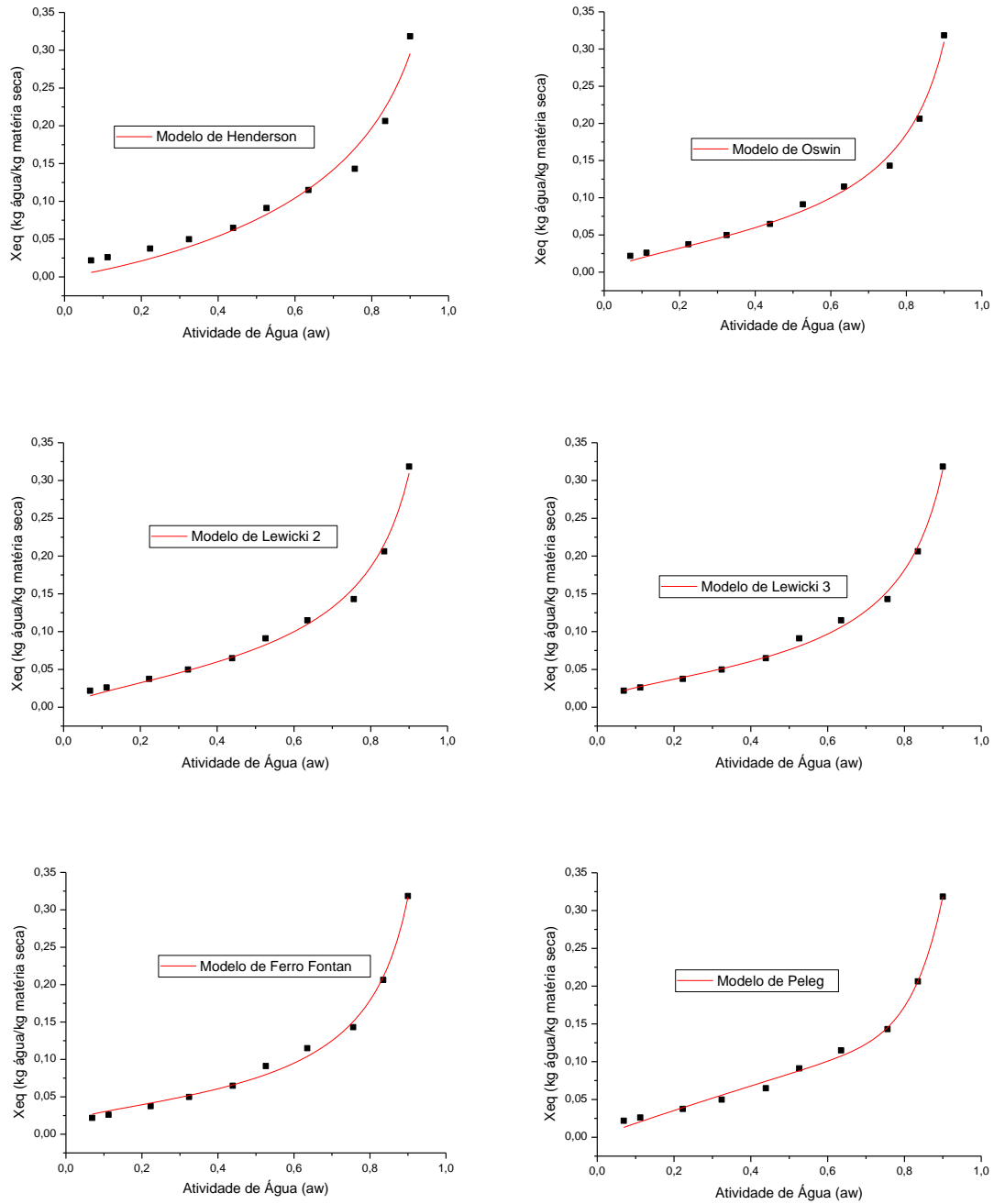
**Figura A7:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 40°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



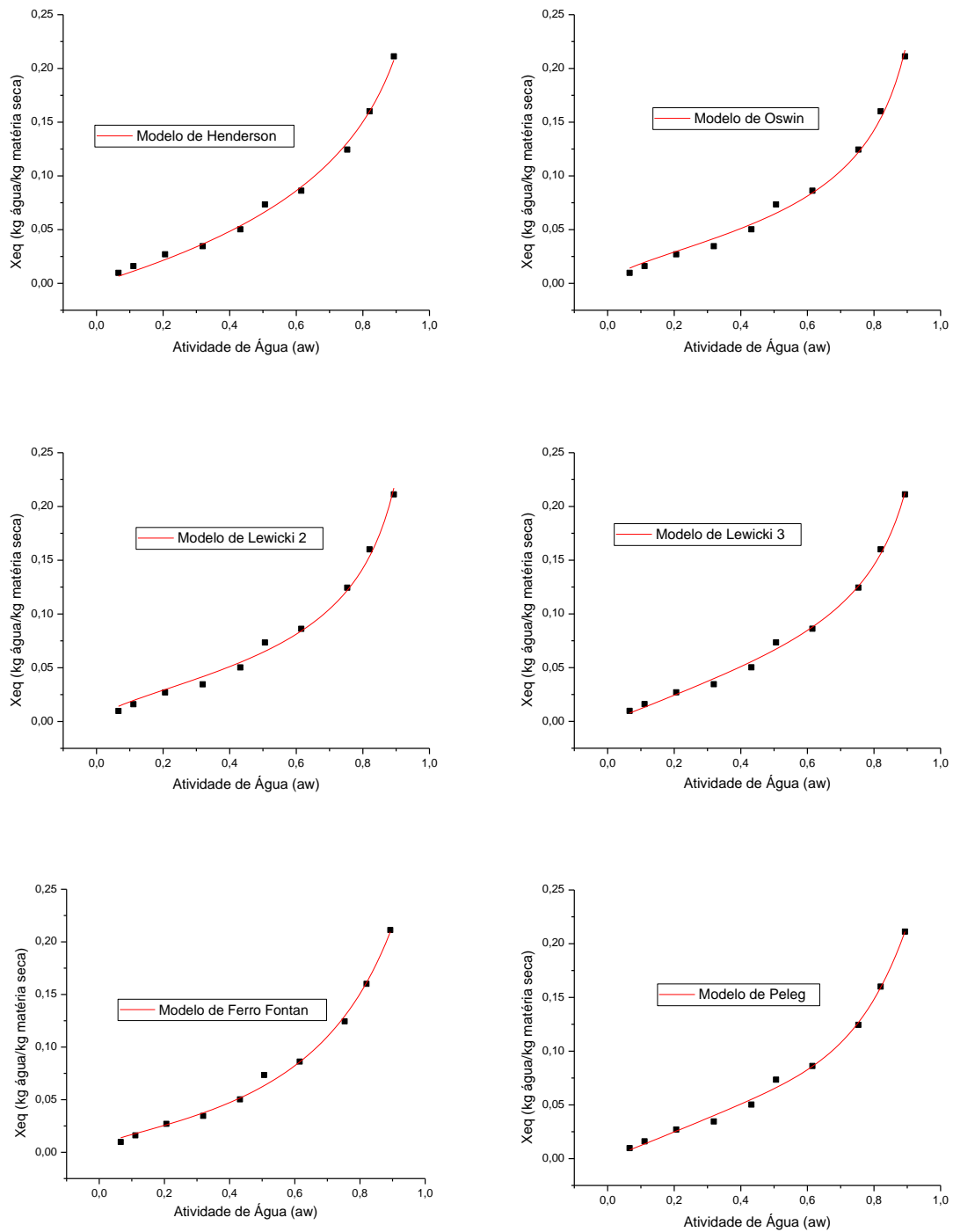
**Figura A8:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por “spray dryer” a 50°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



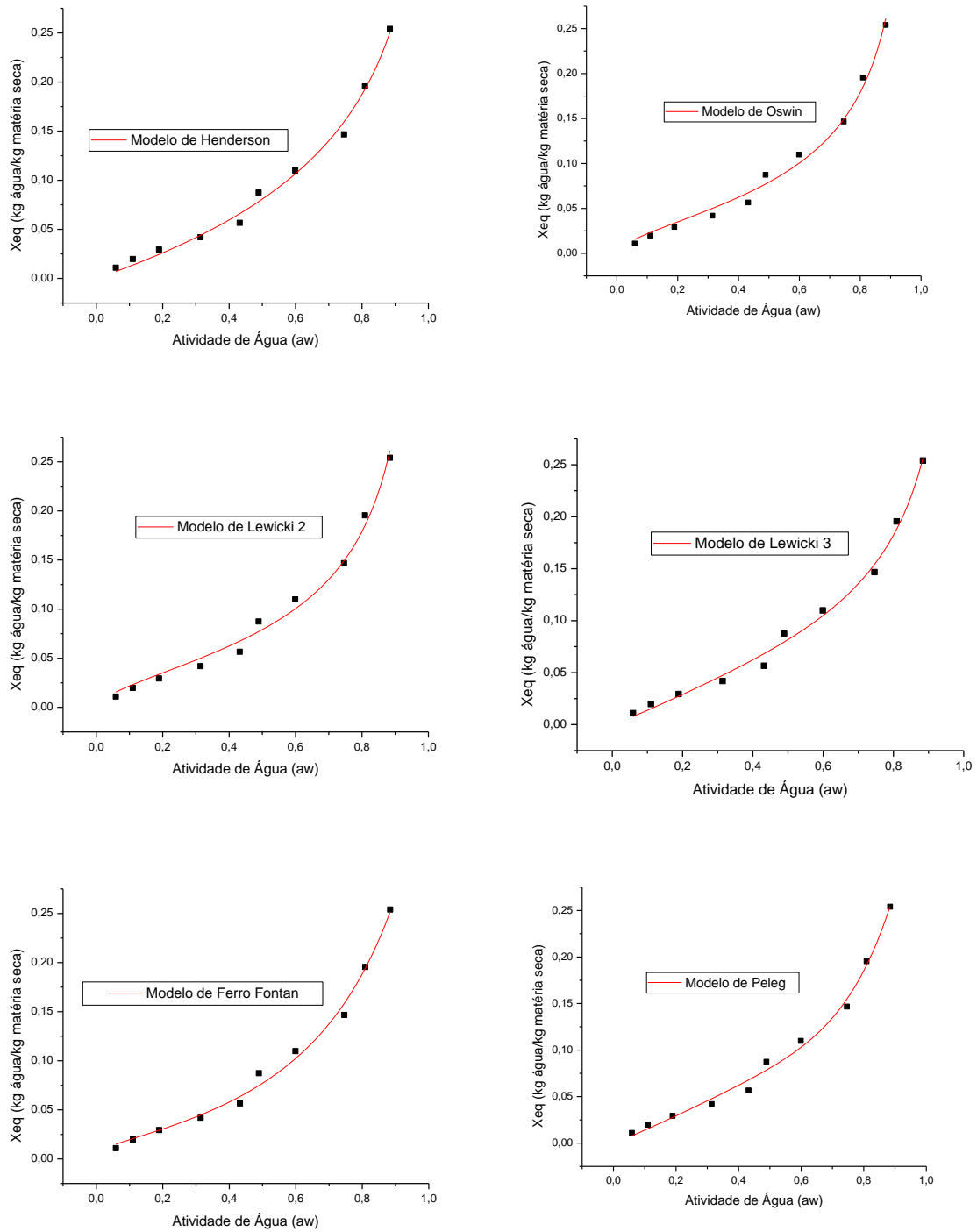
**Figura A9:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por liofilizador a 20°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



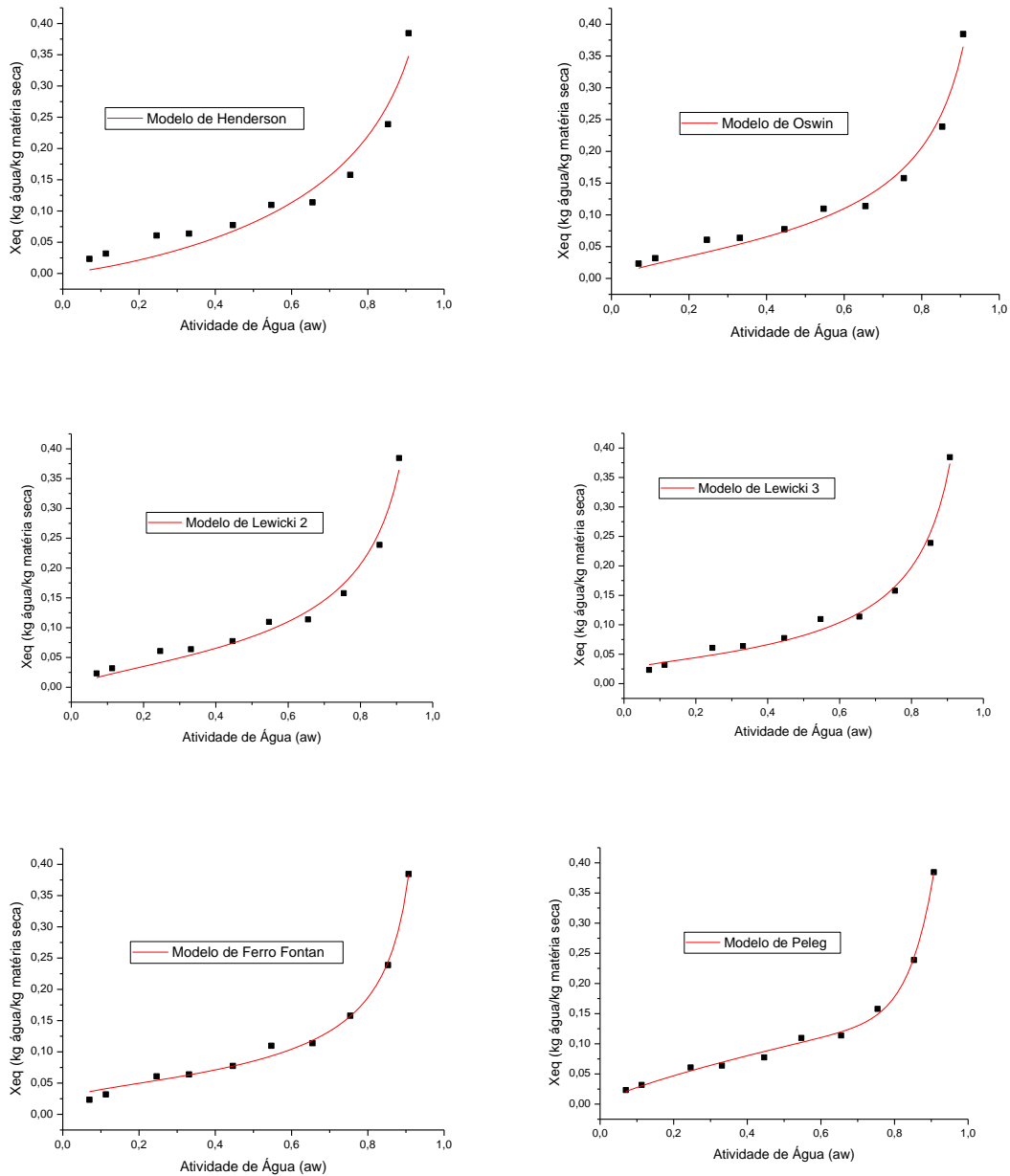
**Figura A10:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por liofilizador a 30°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



**Figura A11:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por liofilizador a 40°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.

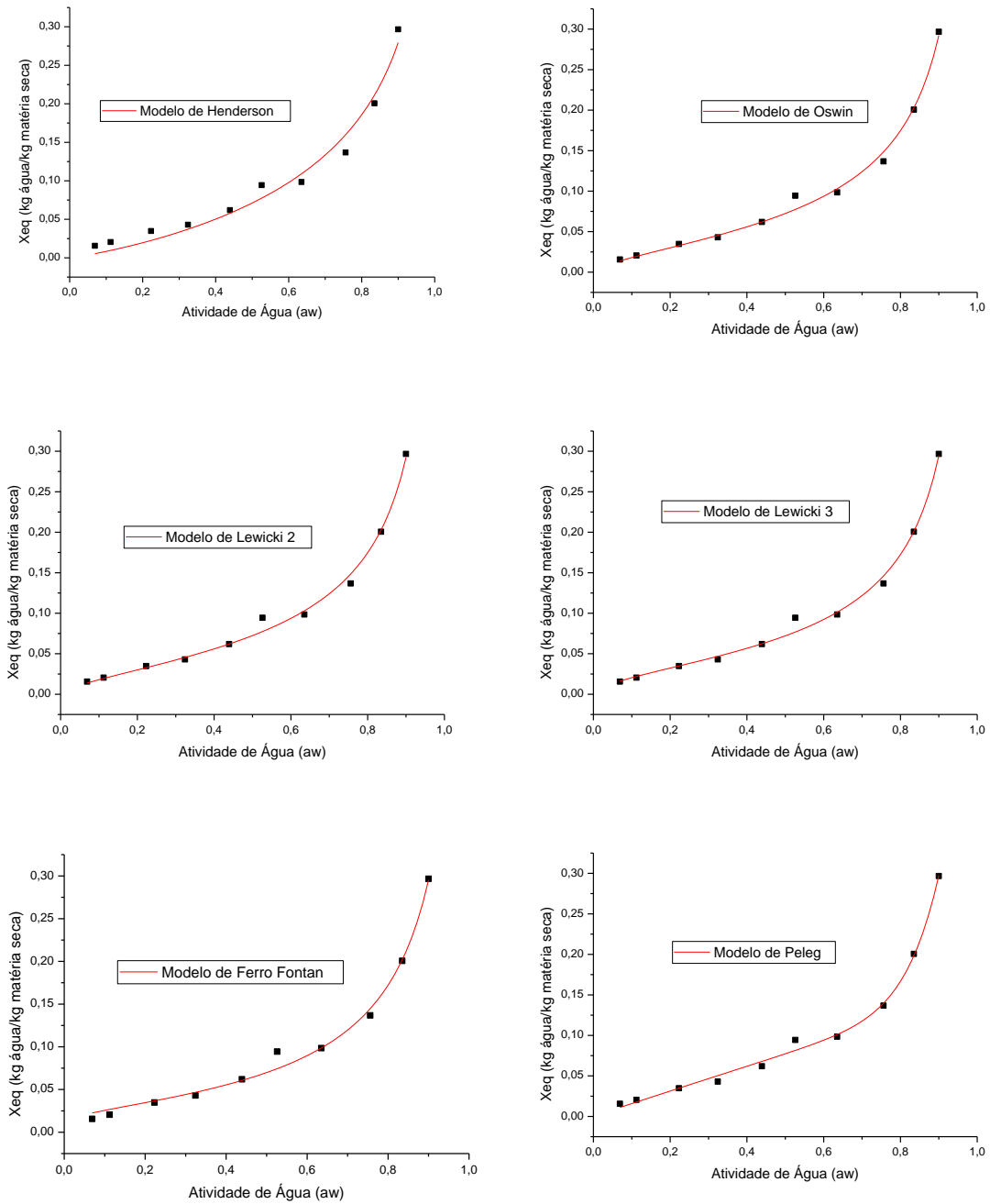


**Figura A12:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PML obtidas por liofilizador a 50°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.

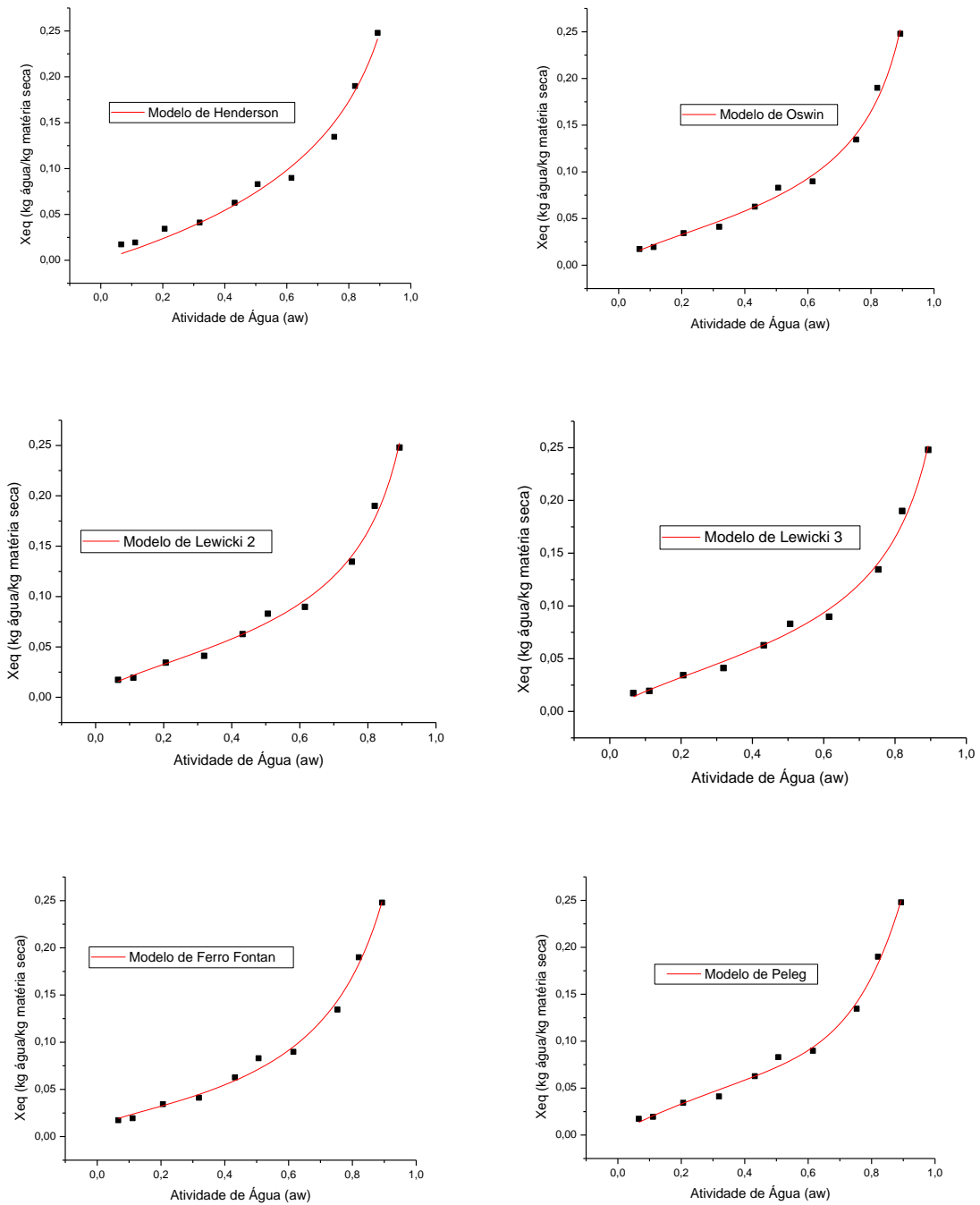


**Figura A13:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por liofilizador a 20°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.

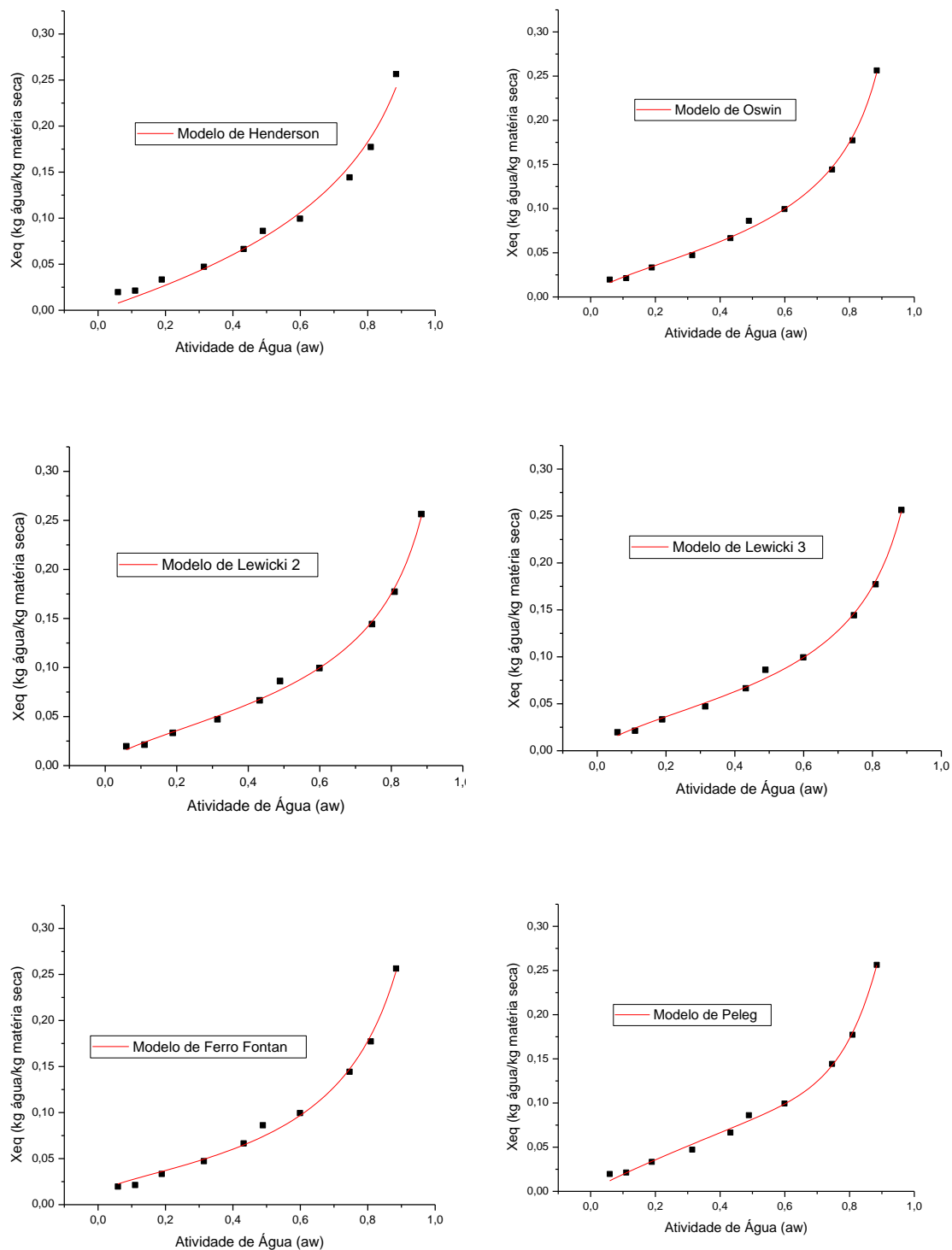




**Figura A14:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por liofilizador a 30°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



**Figura A15:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por liofilizador a 40°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.



**Figura A16:** Umidade de equilíbrio ( $X_{eq}$ ) versus atividade de água ( $a_w$ ) das amostras PGL obtidas por liofilizador a 50°C ajustadas de acordo com os modelos de Henderson, Oswin, Lewicki 2, Lewicki 3, Ferro Fontan e Peleg.