

## **Produção de maltodextrina em secador por atomização e em SRRI<sup>1</sup>: impactos da temperatura de transição vítrea**

**Production of maltodextrin in spray drying and in SRRI: impacts of the glass transition temperature**

**Producción de maltodextrina en secador atomizador y en SRRI: impactos de la temperatura de transición vítrea**

Recebido: 24/01/2022 | Revisado: 29/01/2022 | Aceito: 31/01/2022 | Publicado: 03/02/2022

**Siegrid Kopp Ikeda**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4514-912X>  
Universidade de Uberaba, Brasil  
E-mail: [siegridkikeda@gmail.com](mailto:siegridkikeda@gmail.com)

**José Roberto Delalibera Finzer**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6139-3619>  
Universidade de Uberaba, Brasil  
E-mail: [jose.finzer@uniube.br](mailto:jose.finzer@uniube.br)

### **Resumo**

As maltodextrinas são produtos da hidrólise parcial do amido. São classificadas de acordo com o grau de hidrólise do amido e possuem várias propriedades funcionais, como doçura, solubilidade e viscosidade. A variação da densidade final do produto pode não atender à especificação de empresas consumidoras. Isto ocasiona problemas no armazenamento do produto acabado e um possível risco de segurança no armazenamento. A decisão de avaliar o controle de qualidade de maltodextrina amadureceu após a constatação de que a densidade final tem um impacto no armazenamento e no atendimento dos clientes. Este trabalho tem por objetivo verificar a influência dos parâmetros de secagem em spray dryer, na densidade aparente da maltodextrina, utilizando os dados de processos disponíveis e a temperatura de transição vítrea nas condições de operação do spray dryer. O estudo mostrou que entre os parâmetros quantificados, o vácuo aplicado no secador por atomização (spray dryer) influenciou na densidade aparente da maltodextrina e o secador deve operar com um vácuo médio de 44 mmCa, uma vez que os outros parâmetros de secagem apresentaram valores similares e, portanto, sem influência na densidade aparente. O valor da temperatura de transição vítrea (T<sub>g</sub>) calculada para este sistema de secagem está entre 150,0°C a 150,8°C, a temperatura de saída da câmara do secador entre 106,12°C a 107,00°C e a temperatura de entrada do ar no secador entre 192,08°C a 196,43°C. A temperatura de operação interna do secador está abaixo da temperatura de transição vítrea do produto. Isso possibilita classificar o produto como no estado vítreo

**Palavras-chave:** Maltodextrina; Temperatura de transição vítrea; Densidade aparente.

### **Abstract**

Incluir o resumo em inglês. Maltodextrins are products of the partial hydrolysis of starch. They are classified according to the degree of hydrolysis of the starch and have various functional properties such as sweetness, solubility and viscosity. The variation in the final density of the product may not meet the specification of consumer companies. The product will not be properly positioned on the pallets or there will be damage to the packaging, due to inadequate storage, generating financial losses or product returns. The decision to evaluate maltodextrin quality control has matured after the realization that final density has an impact on storage and customer service. This work aims to verify the influence of the spray dryer drying parameters on the apparent density of maltodextrin, using data from available processes and the glass transition temperature under the operating conditions of the spray dryer. The study showed that among the quantified parameters, the vacuum applied in the spray dryer influenced the apparent density of maltodextrin and the dryer must operate with an average vacuum of 44 mmCa, since the other drying parameters presented similar values and, therefore, without influencing the apparent density. The calculated glass transition temperature (T<sub>g</sub>) value for this drying system is between 150.0°C to 150.8°C, the dryer chamber outlet temperature between 106.12°C to 107.00°C and at air inlet temperature in the dryer between 192.08°C to 196.43°C. The dryer's

---

<sup>1</sup> SRRI -Secador Rotativo com Recheio de Inertes, consiste em equipamento patenteado usado na secagem de materiais pastosos: Carta Patente Nº PI8804812; inventores: Burjaili, M.M.; Limaverde, J.R.; Finzer, J.R.D.

internal operating temperature is below the glass transition temperature of the product. This makes it possible to classify the product as vitreous.

**Keywords:** Maltodextrin; Glass transition temperature; Apparently density.

### Resumen

Las maltodextrinas son productos de la hidrólisis parcial del almidón. Se clasifican según el grado de hidrólisis del almidón y tienen diferentes propiedades funcionales, como dulzor, solubilidad y viscosidad. La variación de la densidad final del producto puede no cumplir con las especificaciones de las empresas consumidoras. Esto provoca problemas en el almacenamiento del producto terminado y un posible riesgo de seguridad en el almacenamiento. La decisión de evaluar el control de calidad de la maltodextrina maduró después de darse cuenta de que la densidad final tiene un impacto en el almacenamiento y el servicio al cliente. Este trabajo tiene como objetivo verificar la influencia de los parámetros de secado por aspersión en la densidad aparente de maltodextrina, utilizando los datos disponibles del proceso y la temperatura de transición vítrea en condiciones de operación del secador por aspersión. El estudio mostró que entre los parámetros cuantificados, el vacío aplicado en el atomizador influyó en la densidad aparente de maltodextrina y el secador debe operar con un vacío promedio de 44 mmCa, ya que los demás parámetros de secado presentaron valores similares y, por tanto, sin influencia en la densidad aparente. El valor de la temperatura de transición vítrea ( $T_g$ ) calculada para este sistema de secado está entre 150.0°C a 150.8°C, la temperatura de salida de la cámara de secado entre 106.12°C a 107,00°C y la temperatura de entrada del aire en el secador entre 192.08 °C a 196,43 °C. La temperatura de funcionamiento interna del secador está por debajo de la temperatura de transición vítrea del producto. Esto permite clasificar el producto como vítreo.

**Palabras clave:** Maltodextrina; Temperatura de transición vítrea; Densidad aparente.

## 1. Introdução

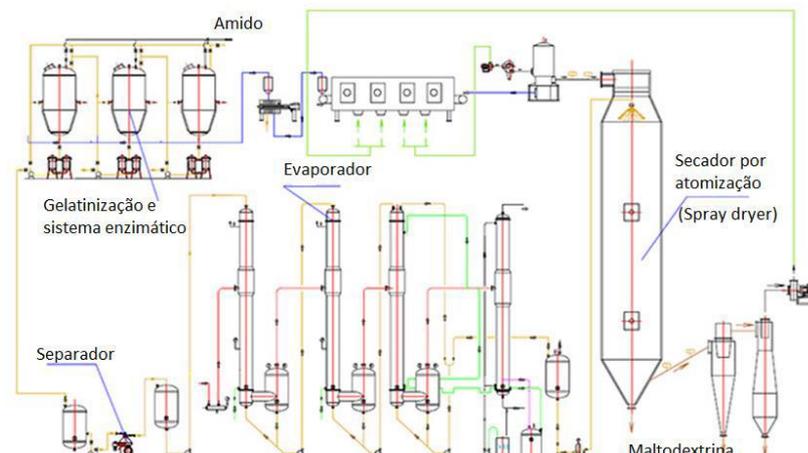
As maltodextrinas são produtos da hidrólise parcial do amido e têm sido largamente usadas em muitos tipos de alimentos processados (Silva, 1995). São classificadas de acordo com o grau de hidrólise do amido e possuem várias propriedades funcionais, como doçura, solubilidade e viscosidade de pastas.

Por definição, a maltodextrina é amido hidrolizado formado por unidades de  $\alpha$ -D-glicose unidas, principalmente, por ligações glicosídicas  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4). Como o produto hidrolizado do amido, é constituído por uma mistura de sacarídeos, principalmente D-glicose, maltose e uma série de oligossacarídeos e polissacarídeos apresenta ampla distribuição de massa molecular (Moretto et al., 2005).

A maltodextrina é solúvel em água, onde é utilizada como modificador de textura, gelificante, substituto de gordura, intensificadores de volume, crioprotetores e para prolongar a vida útil do produto, principalmente como matriz de encapsulamento.

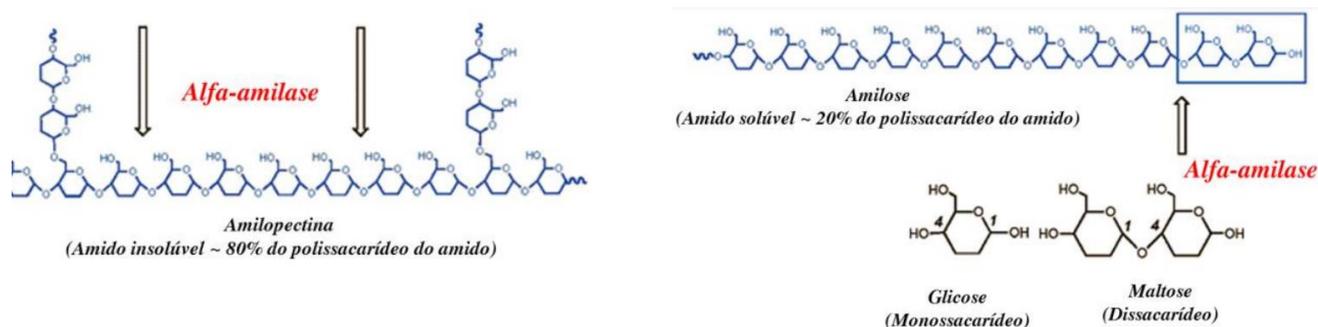
A enzima amilase hidrolisa as ligações  $\alpha$ (1-4) das cadeias do amido, produzindo glicose, maltose e oligossacarídeos. A Figura 1 consiste no fluxograma do processo de conversão do amido a maltodextrina e a Figura 2 como atua a  $\alpha$ -amilase.

**Figura 1** - Representação esquemática do processo de conversão do amido a maltodextrina (Ikeda, 2021).



Fonte: Ikeda (2021).

**Figura 2** - Atuação da enzima alfa-amilase na conversão do amido.



Fonte: Ikeda (2021).

A equação da velocidade para uma reação catalisada enzimaticamente e com um único substrato pode ser descrita pela equação de Michaelis-Menten, ver a Equação (1), sendo  $v_{\max}$  e  $K_m$  constantes do modelo e  $[S]$  a concentração do substrato (Fogler, 1992).

$$v = \frac{v_{\max} \cdot S}{K_m + S} \quad (1)$$

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência dos parâmetros de secagem em *spray dryer*, na densidade aparente da maltodextrina em seis lotes industriais, utilizando os dados de processo disponíveis e a temperatura de transição vítrea nas condições de operação do *spray dryer*, faz uma comparação com resultados de secagem de maltodextrina em secador rotativo com recheio de inertes em termos da influência da temperatura de transição vítrea.

## 2. Metodologia

O secador por atomização “*spray dryer*” utilizado neste estudo é da Marca: NIRO-GEA, com capacidade nominal de evaporação de 1200 kg.h<sup>-1</sup>; vazão de ar de saída de 46,4 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>; produção de 50 toneladas maltodextrina/dia. As dimensões deste equipamento são 9600 mm de altura e 6800 mm de diâmetro.

Utilizou-se para este estudo seis lotes industriais de maltodextrina produzidos em fábrica de processamento de amido. A partir da escolha dos lotes, foi realizada uma rastreabilidade desses lotes, identificado as condições de processo de secagem em *spray dryer* e as características do xarope obtido após a evaporação para concentração do teor de sólidos. O xarope foi seco em secador por atomização “*spray dryer*”. Para a caracterização do produto acabado em pó, amostras foram coletadas durante o ensaio do material em pó. As amostras foram analisadas em laboratório, usando técnicas de rotina. Os dados de operação de secagem dos lotes de xarope foram coletados a cada hora, utilizando-se a leitura dos dados disponíveis nos instrumentos de controle de operação do *spray dryer*.

As condições de operação do *spray dryer* foi monitorada a cada uma hora durante a secagem de seis lotes de maltodextrina processadas.

Inicialmente a concentração de amido é ajustada entre 30% e 40% de sólidos em base seca, e adição de amilase de origem microbiana.

O amido gelatinizado segue para o reator de liquefação a temperatura de 90°C a 95°C, onde o amido é hidrolisado.

A pasta é bombeada para um tanque a 140°C por até 10 minutos para inativação enzimática.

A dextrose-equivalente (DE) expressa o número de grupos aldeídos de extremidades reductoras em relação à glicose

pura na mesma concentração, de modo que dextrose-equivalente (DE) alta indica alta conversão hidrolítica e baixa massa molecular. A Equação (2) é usada para quantificar a dextrose-equivalente.

$$DE = \frac{\text{Açúcares redutores}}{\text{Substância seca}} \cdot 100 \quad (2)$$

O amido não hidrolisado tem um valor de DE igual a zero, enquanto a glicose anidra tem uma DE igual a 100.

O método analítico usado consiste em pesar 12 a 13 g de amostra, diluir a amostra a 13% de sólidos na amostra. Pipetar 25 µl da amostra para o osmômetro (marca: Adjanced Instruments, Inc. modelo: 3250 e proceder à leitura). O valor da dextrose-equivalente é calculado pela Equação (3), com a determinação da osmolalidade, mensuração da depressão do ponto de congelamento em osmômetro (Ikeda, 2021).

$$\text{DE} = 0,14 \cdot \text{Osm} - 1,18 \quad (\%) \quad (3)$$

A maltodextrina é comercializada, geralmente, no estado sólido, devendo, portanto, ser seca.

A secagem por spray é adequada para o processamento de soluções, suspensões e materiais pastosos, ver a Figura 3.

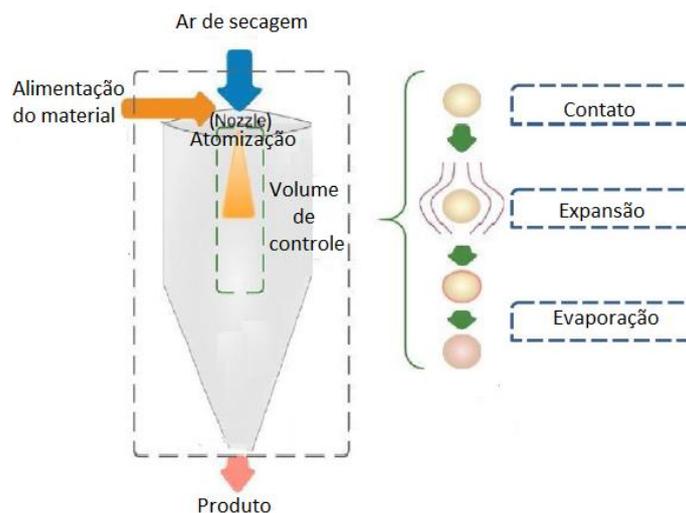
O líquido de alimentação adquire a forma de gotículas, sendo secas rapidamente em partículas com um diâmetro de cerca de 30 a 500 µm por ar quente em 5 ~ 30 s.

Alto consumo de energia e eficiência de utilização de energia relativamente baixa.

A eficiência energética do secador por spray é de cerca de 25% a 60%.

O estado físico de materiais está relacionado com mudanças entre estados de equilíbrio e estado vítreo, ver a Figura 4.

**Figura 3** - Esquema de funcionamento de secador por atomização (Ramos et al., 2019).



Fonte: Ramos et al. (2019).

Abaixo de T<sub>g</sub> um material está em um estado vítreo que é caracterizado por um sólido rígido, embora quebradiço. Nos estados vítreos, a mobilidade ou difusão das moléculas é praticamente inexistente. Quando a temperatura do material está acima da temperatura de transição vítrea, o material demonstra aumento da mobilidade.

O comportamento pegajoso depende da composição, temperatura e teor de água, em relação ao fenômeno de transição

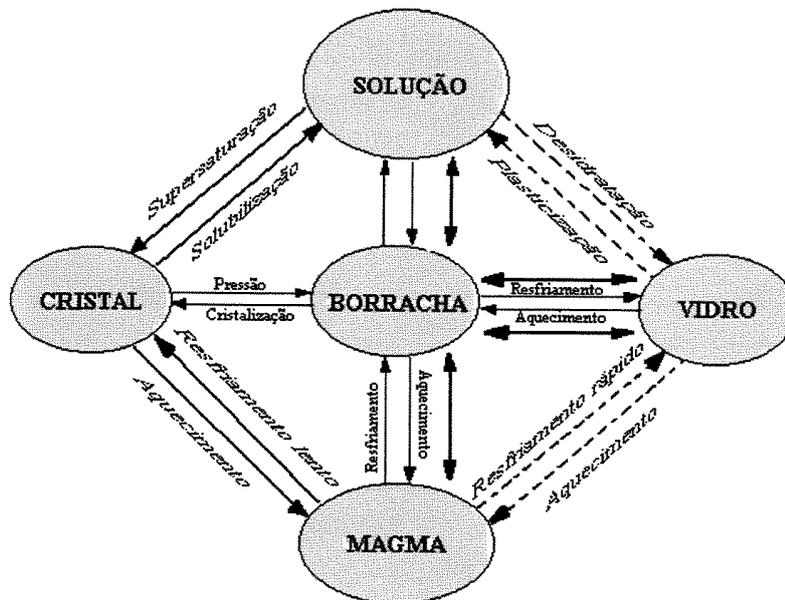
vítrea (Jouppila & Ross, 1994). A superfície das partículas será pegajosa para temperaturas de 10°C a 30°C mais altas do que as temperaturas de transição vítrea. Abaixo da transição vítrea, as partículas serão semelhantes a um vidro estável. A temperatura de transição vítrea da maltodextrina foi quantificada pela Equação (4): Busin, 1996; Collares, 2001; Schenz, (1995).

$$T_g = -1.4 \cdot DE + 1$$

(4)

Em função do material processado e do tipo de secador, ocorrem vários aspectos fenomenológicos citados por: Bucek, et al., 2020; Cavallaro, et al., 2020; Lourenço e Finzer, 2013; Sfredo, et al., 2005; Kachan, 1988; Strumillo et al., (1983).

Figura 4 - Estado físico de materiais (Collares, 2001).



Fonte: Collares (2001).

A pesquisa desenvolvida é experimental e são utilizados dados industriais de processamento de maltodextrina e as medidas experimentais são laboratoriais usando metodologia de rotina industrial. Outros detalhes metodológicos são descritos em (Ikeda, 2021) e (Ikeda et. al., 2022). São descritas informações de operação de secador rotativo com recheio de inertes na secagem de matodextrina para exemplificar a influência da temperatura de transição vítrea no desempenho da secagem. O SRRI consiste em equipamento patenteado usado na secagem de materiais pastosos: Carta Patente N° PI8804812; inventores: Burjaili, M.M.; Limaverde, J.R.; Finzer, J.R.D.

### 3. Resultados e Discussão

Na secagem dos seis lotes de maltodextrina os dados coletados no estudo são:  $T_{ek}$  a temperatura de entrada na câmara de secagem do spray dryer (°C);  $V_{elr}$  a vazão de entrada do liquor no spray dryer ( $m^3 \cdot h^{-1}$ );  $T_{e_{lr}}$  a temperatura de entrada do liquor no spray dryer (°C);  $R$  a rotação do atomizador do spray dryer (rpm);  $V_k$  o vácuo na câmara de secagem do spray dryer (mmCa) e  $T_{sk}$  a temperatura de saída do ar da câmara de secagem do spray dryer (°C).

Os lotes industriais de maltodextrina foram amostrados e analisados para a verificação dos parâmetros de controle de qualidade. Os parâmetros de umidade (U), pH, sólidos totais (DS), dextrose-equivalente (DE) e densidade aparente ( $\rho_{r\text{ mx}}$ ) foram analisados. Os resultados estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** - Dados de análise da umidade, pH, sólidos totais (%DS), dextrose equivalente (%DE) e densidade aparente dos seis lotes de maltodextrina.

Parâmetros U (%)	Especificação < 5,00	lote <sub>mx</sub> 1 4,93	lote <sub>mx</sub> 2 4,48	lote <sub>mx</sub> 3 4,22	lote <sub>mx</sub> 4 4,75	lote <sub>mx</sub> 5 4,24	lote <sub>mx</sub> 6 4,37
pH	4,50- 5,50	4,94	4,80	4,90	4,97	4,92	4,91
DS (%)	> 95,00	95,07	95,52	95,78	95,25	95,76	95,64
DE (%)	17,0- 19,9	17,86	18,56	18,84	17,72	17,58	17,86
$\rho_{r\text{ mx}}$ (kg·m <sup>-3</sup> )	470 (alvo)	446	419	434,1	482	477	469
Parâmetros U (%)	Especificação < 5,00	lote <sub>mx</sub> 1 4,93	lote <sub>mx</sub> 2 4,48	lote <sub>mx</sub> 3 4,22	lote <sub>mx</sub> 4 4,75	lote <sub>mx</sub> 5 4,24	lote <sub>mx</sub> 6 4,37
pH	4,50- 5,50	4,94	4,80	4,90	4,97	4,92	4,91
DS (%)	> 95,00	95,07	95,52	95,78	95,25	95,76	95,64
DE (%)	17,0- 19,9	17,86	18,56	18,84	17,72	17,58	17,86
$\rho_{r\text{ mx}}$ (kg·m <sup>-3</sup> )	470 (alvo)	446	419	434,1	482	477	469

Fonte: Ikeda (2021).

Os resultados de umidade (U), pH, sólidos totais (DS) e dextrose-equivalente (DE) estão dentro do intervalo estabelecido da especificação do produto. A densidade aparente dos lotes 1,2 e 3 estão com resultados abaixo do alvo, e nos lotes 4,5 e 6 os dados estão próximos ao valor alvo, de 470 kg·m<sup>-3</sup>.

O cálculo das médias das temperaturas de admissão do ar de secagem e saída da câmara e vazão de entrada do *liquor* mostrou que a variação em 25 horas, quantificadas a cada hora, situaram-se em torno de um valor médio com baixa dispersão conforme descrito na Tabela 2.

**Tabela 2** - Valores médios e desvio padrão dos parâmetros de controle do *spray dryer* para os seis lotes de maltodextrina. Sendo: **M** o valor da média;  $\sigma$  o desvio padrão.

	Lote <sub>mx</sub> 1	Lote <sub>mx</sub> 2	Lote <sub>mx</sub> 3	Lote <sub>mx</sub> 4	Lote <sub>mx</sub> 5	Lote <sub>mx</sub> 6
	<b>M</b> ± $\sigma$					
T <sub>ek</sub> (°C)	192,08±16,64	195,4±3,77	196,43±3,09	193,35±2,52	194,5±1,54	194,85±1,67
V <sub>elr</sub> (m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	2,39±0,18	2,35±0,2	2,47±0,07	2,47±0,04	2,51±0,06	2,47±0,06
T <sub>elr</sub> (°C)	109,43±3,31	108,6±7,27	104,95±20,59	109,06±4,71	109,82±2,26	110,05±2,08
R (rpm)	11598±38	11480±0	11535±67	11480±0	11442±59	11480±0
V <sub>k</sub> (mmCa)	34,72±5,4	30,21±4,26	33,57±2,57	42,61±3,76	44,45±3,04	-43,35±4,13
T <sub>sk</sub> (°C)	106,66±2,13	106,52±1,1	107,05±0,74	106,23±0,97	106,4±0,66	106,12±0,63

Fonte: Ikeda (2021).

Contudo, o vácuo aplicado para os lotes 1 a 6 foram: -34,72; -30,21; -33,57; -42,61; -44,45 e -43,35 mmCa, respectivamente. Quando se aplica um vácuo mais pronunciado, mantendo-se a vazão e a temperatura do ar constantes assim como os outros parâmetros médios, a umidade das gotas é eliminada mais rapidamente e as partículas contraem mais e, portanto, apresentam menor porosidade quando contidas em recipientes. Apesar da tendência à maior porosidade interna, o que facilita a reidratação em termos de instantaneidade, a contração volumétrica (encolhimento) provavelmente foi dominante.

Aplicando-se a Equação (3) e utilizando-se o valor de dextrose-equivalente, determina-se a temperatura de transição vítrea no sistema, para cada um dos lotes produzidos (Tabela 3). O valor da temperatura de transição vítrea,  $T_g$ , está entre 150,0 a 151,8°C e a temperatura de saída da maltodextrina na câmara do secador, entre 106,12 a 107,05 °C e a temperatura de entrada do ar no secador entre 192,08 a 196,43°C. De forma que a temperatura de operação interna do secador está abaixo da temperatura de transição vítrea do produto. Isso possibilita classificar o produto como vítreo.

**Tabela 3** - Dados de dextrose-equivalente (DE) e a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) para os lotes de maltodextrina.

Lote <sub>mtx</sub>	DE (%)	$T_g$ (°C)
1	17,86	151,4
2	18,56	150,4
3	18,84	150,0
4	17,72	151,6
5	17,58	151,8
6	17,86	151,4

Fonte: Ikeda (2021).

A Figura 5 consiste em uma imagem da embalagem de uma forma de comercialização de maltodextrina, parâmetros como a densidade aparente são relevantes para manter a uniformidade do produto na comercialização, tanto na forma da embalagem como internamente ao ser manuseado.

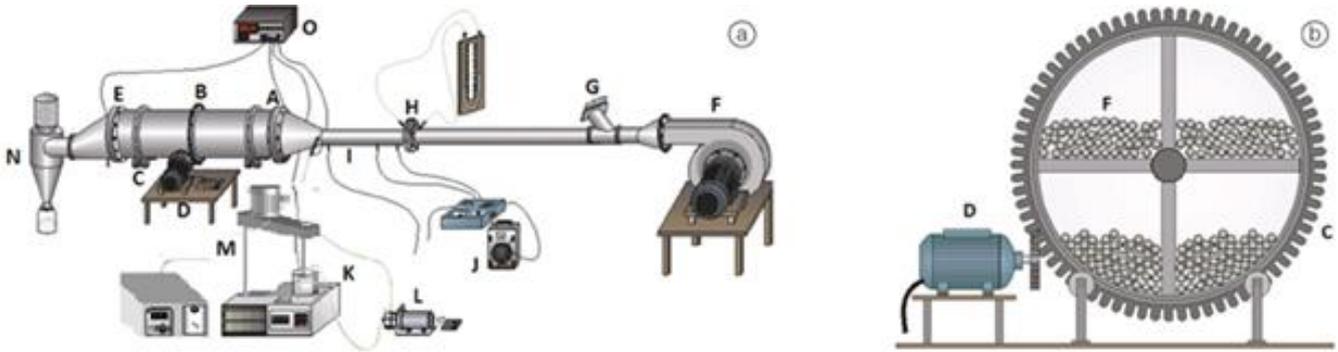
**Figura 5** - Aspecto da maltodextrina comercializada em embalagens de 25 kg.



Fonte: Autores.

A maltodextrina pode ser seca em secadores rotativos com recheio de inertes, Figura 6 (Collares, 2001); Burjaili, (1996), contudo os secadores por atomização são a opção comercial.

**Figura 6** - Desenho esquemático da unidade experimental de secagem de pastas. Secador rotatório com recheio de inertes; Sistema de separação e coleta de pó; (F) Soprador centrífugo; Tubo de cimento amianto contendo resistências elétricas; Manômetro diferencial em U; Bomba peristáltica; Banho-maria; Variadores de voltagem; Aquecedor de ar com resistências elétricas; Indicador de temperatura (Limaverde Júnior et al., 2000)



Fonte: Limaverde Júnior et al. (2000).

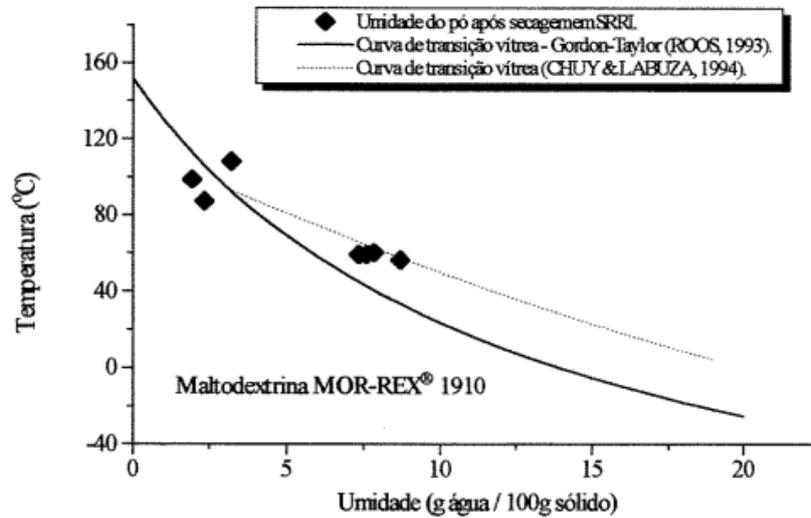
O SRRI (Figura 6) mostra um túnel de secagem cilíndrico, em aço inoxidável, com 25 cm de diâmetro e 60 cm de comprimento, dividido em quatro câmaras longitudinais. A alimentação do material pastoso é feita na primeira metade do túnel de secagem, por um cilindro oco (diâmetro de 1,3 cm) disposto axialmente no centro dele, o qual possui 30 perfurações (diâmetro de 2,0 mm) em cada câmara, distribuídas uniformemente ao longo da seção de alimentação, por onde é admitida a pasta. Para evitar que os sólidos inertes escapem das câmaras de secagem, placas perfuradas foram colocadas nas extremidades do túnel (Limaverde Júnior et al., 1998).

Maltodextrina MOR-RE:x® 1910 (produtos hidrolisado de amido de milho da Corn Products Brasil), com dextrose-equivalente médio (DE) segundo o fabricante igual a 10, foi processado no SRRI.

Foram realizados dois ensaios de secagem de maltodextrina MOR-RE:x® 1910, no SRRI, em temperaturas de admissão do ar de 60 °C e 120 °C. A produção do pó seco de maltodextrina ocorre na região da transformação do material do estado "gomoso" para o estado vítreo (Ruan et al., 1999). Pode-se notar pela Figura 7 que os pontos estão situados abaixo da temperatura de transição vítrea, onde o material se encontra no estado vítreo.

O tempo total de processamento foi bem superior para o ensaio de secagem à operando na temperatura de 60°C (Ensaio S2). A secagem de maltodextrina à temperatura de 100 °C foi aproximadamente 57 % mais rápida do que o ensaio a temperatura de 60°C. O valor de umidade média do pó obtido foi de  $2,52 \pm 0,60\%$  para o ensaio à temperatura de 100 °C e  $7,88 \pm 0,55\%$  para o ensaio a 60 °C.

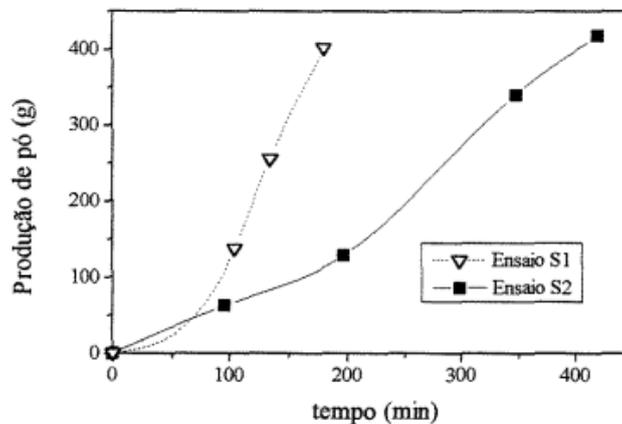
**Figura 7** - Correlação entre a umidade final do pó de maltodextrina obtido pela secagem a 60 °C e 100 °C no SRRI e a curva de transição vítrea obtida pela equação de Gordon-Taylor (Roos, 1993) dados de Chuy e Labuza (1994).



Fonte: Chuy e Labuza (1994).

A Figura 8 mostra a quantidade produzida de pó nos dois ensaios, verifica-se que se situou em cerca de 400 g.

**Figura 8** - Produção de pó de maltodextrina MOR-RE:x® 1910 nos Ensaios S1(100oC) e S2 (60°C) no SRR.



Fonte: Collares (2021).

#### 4. Conclusão

O estudo mostrou que entre os parâmetros quantificados, o vácuo aplicado no secador por atomização (spray dryer) influenciou na densidade aparente da maltodextrina, cujo valor padrão é de  $470 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Portanto, na operação do secador deve-se operar com um vácuo médio de 44 mmCa, o que possibilitou a obtenção do produto na densidade especificada. Valores de densidade aparente de  $433 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  mostraram-se abaixo do valor de especificação. Os outros parâmetros apresentaram valores similares e, portanto, sem influência na densidade aparente.

A porosidade média da malto dextrina foi de  $0,7018 \pm 0,017$  comparada com o padrão desejado para o produto, conclui-se, então, que a porosidade pode ser utilizada como um parâmetro adicional para a avaliação da qualidade, considerando-se a estocagem do produto.

O valor da temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ), calculada para este sistema de secagem, está entre  $150,0^\circ\text{C}$  a  $151,8^\circ\text{C}$ , a temperatura de saída da câmara do secador entre  $106,12^\circ\text{C}$  a  $107^\circ\text{C}$  e a temperatura de entrada do ar no secador entre

192,08°C a 196,43°C. Como conclusão, o produto obtido encontra-se em temperatura abaixo da transição vítrea e, portanto, no estado vítreo, não se aderindo por esta condição fenomenologicamente nas superfícies internas do secador. Essa condição também se aplica à operação do secador rotativo.

Estudos Futuros usando instalação industrial: Processamento enzimático e de Evaporação do Caldo de maltodextrina obtido por processamento enzimático, verificar influências na qualidade do produto seco.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG e à UNIUBE pelo suporte dado ao desenvolvimento desta pesquisa.

## Referências

- Bucek, E. U., Finzer, J. R. D. & Cavallaro, R. J. (2020). Mathematical Model for Determining the Coffee Leaf Area. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 71, 11-19.
- Burjaili, M. M. (1996). Desenvolvimento de um Secador Rotatório com Recheios de Inertes. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, .218 p. Tese (Doutorado).
- Burjaili, M. M., Limaverde, J. R., & Finzer, J. R. D. (1988). Secador rotatório com recheio de inertes. Carta Patente. Nº PI8804812.
- Busin, L., Buisson, P., & Bimbenet, J. J. (1996). Notion de transition vitreuse appliquée au sechage par pulvérisation de solutions glucidiques. *Sciences des Aliments*. 16, 443-459.
- Cavallaro, R. J., Bucek, E., & Finzer, J. R. D. (2020). Enzymatic Inactivation of Coffee Leaves for Use in Beverage (in portuguese). *Research, Society and Development*, 9, 1-17, <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4598>.
- Chuy, L.E., & Labuza, T.P. (1994). Caking and stickiness of dairy-based food powders as related to glass transition. *J. Food Sei.*, 59 (1), 43-46.
- Collares, F. P. (2001). Despendimento de filmes de pastas alimentícias durante a secagem sobre superfícies de sólidos e sua relação com a relação com a transição vítrea. Tese de Doutorado. UNICAMP – FEA. 205 p.
- Fogler, H. S. (1992). Elements of Chemical Reaction Engineering. Prentice Hall International Series. (2a ed.).
- Ikeda, S. K. Estudo das variáveis de secagem na produção de maltodextrina e os impactos no desempenho do secador e no produto. (2021). Universidade de Uberaba - PPGEQ. 77 p. Dissertação de Mestrado.
- Ikeda, S. K., Finzer, J. R. D., & Teixeira, E. P. (2022). Industrial Maltodextrin Production and Impacts on Dryer and Product Performance. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)*. 85 (1), 23-40.
- Jouppila, K., & Roos, Y. H. (1994). Glass transitions and crystallization in milk powders. *J. Dairy Sei.*, 77 (10), 2907-2915.
- Kachan, G. C. (1988). Contribuição da desidratação da pasta de tomate em secador de leite de jorro. EPUSP, 209 p. Tese (Livre Docência).
- Limaverde Júnior, J. R., Collares, F. P., Limaverde, J. R., & Finzer, J. R. D. (2000). Secagem de melaço e maltodextrina em secador rotatório com recheio de inertes. In Congresso Brasileiro De Engenharia Química, XIII, Anais, Águas de São Pedro- SP, CD.
- Lourenço, G. A., & Finzer, J. R. D. (2013). Partial Drying of Cherry Tomatoes in Vibrating Tray Dryer with Recycle (in portuguese). *Brazilian Journal of Food Technology (Online)*, 16, 334-345.
- Moretto, E., Fett, R., Gonzaga, L. V., & Kuskoski, E. M. " Introduction to Food Science (in portuguese). *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS)* (2022) 85 (1),23-40.
- Ramos, F.M, Ubbrink, J, Silveira, V, & Prata, A.S. (2019). Drying of maltodextrin solution in a vacuum spray dryer. *Chemical Engineering Research and Design*, 2019. 78-86.
- Roos, Y. (1993). Melting and transitions of low molecular weight carbohydrates. *Carbohydr. Res.*, 238, 39-48.
- Ruan, R., Long, Z., Chen, P., Huang, V., Almaer, S. & Taub, I. (1999). Pulse NMR study of glass transition in maltodextrin. *J. of Food Science*, 64 (1), 6-9.
- Silva, D. J. (1995). Production of Low Glucose Maltodextrin (in Portuguese). Dissertation, Universidade Estadual de Maringá. Brazil.
- Schenz, T.W. (1995). Glass transitions and product stability- an overview. *Food Hydrocolloids*, 9 (4), 307-315.
- Sfredo, M. A., Finzer, J. R. D., & Limaverde, J. R. (2005.). Heat and mass transfer in coffee fruits drying. *Journal of Food Engineering*, 70, 15-25.
- Strumillo, C., Markowski, A., & Kaminski, W. (1983). Modern developments in drying of pastelike materials. In: Mujumdar A S. *Advances in Drying*. Montreal: McGraw-Hill., 2, 193-232.