

AVALIAÇÃO DA SECAGEM OSMO-CONVECTIVA DE FATIAS DE MANDIOCA (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ.)

EVALUATION OF OSMO-CONVECTIVE DRYING OF CASSAVA SLICES (MANIHOT ESCULENTA CRANTZ.)

Pierre Corrêa Martins¹

Joselma Araújo de Amorim²

Gabriel Alexandre Clemente do Amaral³

Thayze Rodrigues Bezerra Pessoa⁴

Resumo – A farinha de mandioca é amplamente consumida no continente americano e tradicionalmente produzida através de secagem convectiva. O objetivo deste trabalho foi avaliar a secagem osmo-convectiva de fatias de mandioca, comparando-a com a técnica convencional convectiva, através de atributos de qualidade da farinha seca obtida. Inicialmente se realizou o estudo da melhor condição operacional de desidratação osmótica das fatias através de um delineamento estatístico experimental fatorial (DCCR) para as variáveis concentração de soluto, temperatura e tempo de imersão. Posteriormente, foram realizados ensaios de secagem convectiva das fatias de mandioca desidratadas osmoticamente na condição otimizada e in natura a 60°C, as quais foram trituradas, obtendo-se a farinha seca. Os resultados do DCCR da desidratação osmótica apresentaram uma condição ótima operacional de 63% em peso de solutos, 60 °C e 175 min. O material in natura seco apresentou menor teor de umidade e de atividade de água. A farinha do material desidratado osmoticamente e seco apresentou maior concentração de sacarose e sódio, ofertando assim, um produto diferenciado com maior conteúdo energético em relação a farinha obtida com a mandioca in natura seca.

Palavras-chave: Redução de umidade. Novos produtos. Métodos híbridos.

Abstract - Cassava flour is widely consumed on the American continent and traditionally produced through convective drying. The objective of this work was to evaluate the osmo-convective drying of cassava slices, comparing it with the conventional convective technique, through quality attributes of the dry flour obtained. Initially, the best operational condition for osmotic dehydration of the slices was studied using a factorial experimental statistical design (DCCR) for the variables solute concentration, temperature and immersion time. Subsequently, convective drying tests were carried out on osmotically dehydrated cassava slices in the optimized and fresh condition at 60°C, which were crushed, obtaining dry flour. The DCCR results for osmotic dehydration showed an optimal operating condition of 63% by weight of solutes, 60 °C and 175 min. The dry fresh material had lower moisture content and

¹ Professor Dr. do Departamento de Engenharia de Alimentos- DEA/CT/UFPB; pierre@ct.ufpb.br

² Professora Dr.^a do Departamento de Engenharia de Alimentos- DEA/UFPB; joselmaaraujo@yahoo.com

³ Engenheiro de Alimentos, consultor e pesquisador; gabrielx@globo.com

⁴ Técnica Dr.^a do Laboratório de Engenharia de Alimentos -LEA/UFPB; thayzepessoa1@yahoo.com.br

water activity. The flour from the osmotically dehydrated and dried material presented a higher concentration of sucrose and sodium, thus offering a differentiated product with a higher energy content in relation to the flour obtained from dry cassava in natura.

Keywords: Humidity reduction. New products. Hybrid methods.

I. INTRODUÇÃO

A farinha de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é um dos principais produtos desse tubérculo, cujo uso é muito difundido no Brasil, fazendo parte da refeição diária da maioria de sua população, especialmente das regiões Norte e Nordeste (Raul, 2019). Caracteriza-se como um alimento de alto valor energético, rico em amido, contendo fibras e minerais, tais como, potássio, cálcio, fósforo, sódio e ferro (Oliveira *et al.*, 2021). A farinha é um produto obtido da moagem da parte comestível de vegetais, podendo sofrer processos tecnológicos adequados, conforme as informações da RDC nº 263 da ANVISA (BRASIL, 2005). No caso da farinha de mandioca, essa é obtida pela ligeira torração da raladura das suas raízes previamente descascadas, lavadas e isentas de cianeto (Barros Júnior; Souza; Araújo, 2016).

Entre os processos de conservação, a desidratação osmótica é um pré-tratamento interessante para a secagem convectiva, por minimizar alterações físicas e químicas do material, produzindo um produto com teor de umidade intermediário e com boa aceitabilidade qualitativa. A melhoria da qualidade dos produtos desidratados osmoticamente está relacionada à impregnação de solutos, na qual a correta escolha de solutos e de uma relação equilibrada e controlada, entre a remoção de água e a impregnação do soluto desidratante, proporciona uma maior estabilidade e qualidade dos seus atributos sensoriais (Torregiani; Bertolo, 2001).

Avalia-se neste estudo a combinação da desidratação osmótica e secagem convectiva, método híbrido denominado de secagem osmo-convectiva, para a obtenção de uma farinha de mandioca com maior conteúdo de sólidos solúveis, principalmente mais rica nutricionalmente, e com similar estabilidade e vida de prateleira do produto produzido apenas com a secagem convectiva do tubérculo *in natura*. O objetivo deste trabalho foi avaliar a secagem osmo-convectiva de fatias de mandioca comparando resultados de parâmetros operacionais e de atributos de qualidade do seu produto em relação ao obtido somente com secagem convectiva do material *in natura*.

II. METODOLOGIA

A matéria-prima utilizada para a produção de farinha foi a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.), cultivar mansa, escolhendo-se raízes inteiras de mesmas proporções, com cascas sadias, isentas de irregularidades. Os agentes desidratantes utilizados foram soluções aquosas contendo diferentes concentrações de solutos preparadas com açúcar cristal sem enxofre (marca comercial Alegre) e Cloreto de sódio iodado (marca comercial Marlin), adquiridos no mercado varejista de João Pessoa/PB.

Os ensaios de desidratação osmótica foram realizados em incubadora refrigerada de piso tipo *shaker* de bancada digital, (modelo SL4900-TZH, marca Solab, Brasil) contendo potes cilíndricos de vidro de 250 ml com tampa, contendo tela de aço galvanizado que dividiam o seu volume interno ao meio. Os tubérculos foram descascados e recortados a espessura e área constante de 3,0 mm e 4,0 x 5,0 cm², com uso de fatiador e forma modeladora retangular, facas de aço inoxidável e paquímetro.

Os ensaios de secagem foram desenvolvidos em um secador convectivo, dotado de um sistema de aquecimento elétrico de ar, com circulação forçada e escoamento de ar perpendicular ao leito de sólidos. As condições do ar de secagem foram monitoradas

por termohigrômetros digitais (modelo digital *Hygro-Thermometer*, France) e anemômetro de fio quente (modelo *velocicheck*, marca *TSI Incorporated*, EUA).

As fatias de mandioca *in natura* e processadas foram caracterizadas através de determinações de: sólidos solúveis, utilizando-se refratômetro de bancada (modelo Nova WYA-2S, marca Nova *Instruments*, Brasil); atividade de água, através de um analisador eletrônico de atividade de água LabMaster (modelo *LabMaster-aw*, marca Novasina, *Switzerland*); umidade e sólidos totais, segundo método gravimétrico em estufa à vácuo (modelo MA 030/12, marca Marconi, Brasil) a 70 °C (AOAC, 2023).

A fragmentação do material seco e a produção da farinha de mandioca foi realizada em um moinho de bolas (modelo LSMSG-102, marca ALPAX, Brasil) e a análise granulométrica em um jogo de peneiras vibratórias (marca Produtest, Brasil; peneiras Bertel, Brasil) com aberturas de malha de 5,6 a 0,106 mm. O diâmetro médio das partículas das farinhas produzidas foi determinado pelo diâmetro de Sauter.

As determinações das concentrações de sacarose e de cloretos de sódio, utilizando-se a solução de Fehling e o método de Mohr (Instituto Adolfo Lutz, 2005).

2.1 – Ensaios experimentais de desidratação osmótica

Foi utilizado um delineamento fatorial estatístico do tipo 2^3 com composto central e rotacional (DCCR) para as variáveis concentração mássica de soluto, tempo e temperatura de operação para a determinação da melhor condição operacional cujos níveis de variação em valores codificados e absolutos são: ($-\alpha = -1,73$) 19 °C, 25% p/p e 132 min; (-1) 30 °C, 35% p/p e 150 min; (0) 45 °C, 49% p/p e 175 min; (+1) 60 °C, 63% p/p e 200 min; ($+\alpha = +1,73$) 71 °C, 73% p/p e 218 min. A concentração de soluto se refere a uma mistura binária de sacarose e cloreto de sódio, com proporções fixas de composição desses componentes de 85% de sacarose e 15% de cloreto de sódio para cada teor de soluto, tal como, o ensaio a 25% soluto apresenta 21,2% sacarose e 3,8% cloreto de sódio.

A avaliação do DCCR foi realizada por uma Relação de desempenho operacional percentual expressa pela razão entre as percentagens de perda de umidade e incorporações de solutos. Os resultados experimentais do DCCR foram seguindo metodologia de Barros Neto, Scarminio e Bruns. (2010), realizada ao nível de significância de 5% ($p\text{-valor} = 0,05$).

2.2 – Ensaios experimentais de secagem convectiva

Foram realizados ensaios de secagem a 60°C com as fatias de mandioca *in natura* e desidratadas osmoticamente na condição operacional otimizada. A velocidade e a umidade absoluta do ar foram de 1,5 m/s e 0,03 $\text{g}_{\text{água}}/\text{g}_{\text{ar seco}}$. A caracterização da secagem foi obtida através dos dados pontuais da massa das amostras em relação ao tempo operacional com as fatias na forma de lâminas, dispostas individualmente lado a lado sobre uma bandeja de tela perfurada, sem sobreposição, formando um leito de sólidos com uma área de 160 cm^2 , secando o material até massa constante.

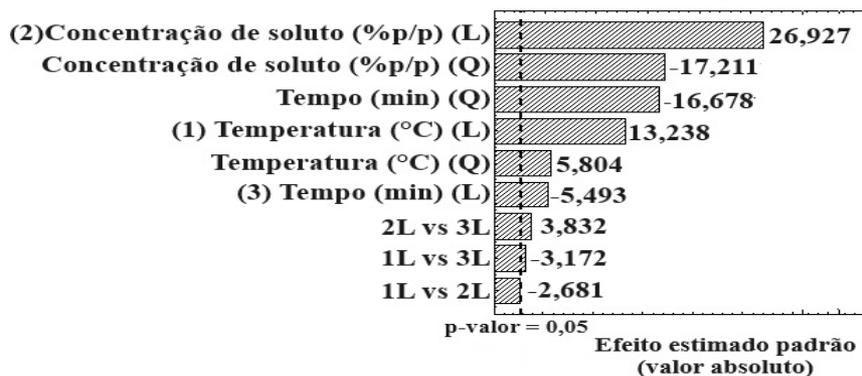
A cinética de secagem foi realizada através das curvas de secagem do conteúdo de umidade e da taxa de secagem. A difusividade efetiva média de umidade foi calculada com o uso das curvas experimentais do adimensional de água livre em relação ao tempo, utilizando-se uma correlação empírica análoga a lei de resfriamento de Newton e a resolução simplificada da equação analítica da lei de Fick para a difusão de água líquida, citadas por Freire (2018), considerando o material como lâmina infinita, secagem por ambos os lados, condição de equilíbrio desprezando a resistência na superfície do material ($v_{\text{ar}} > 1,0$ m/s) e tempos longos de secagem.

III. RESULTADOS

3.1 – Resultados da melhor condição operacional de desidratação osmótica

Os resultados de significância das variáveis de estudo e suas interações para a Relação de desempenho operacional foram avaliados através do diagrama de Pareto, apresentado na Figura 1, que ilustra a análise de ANOVA do tratamento estatístico.

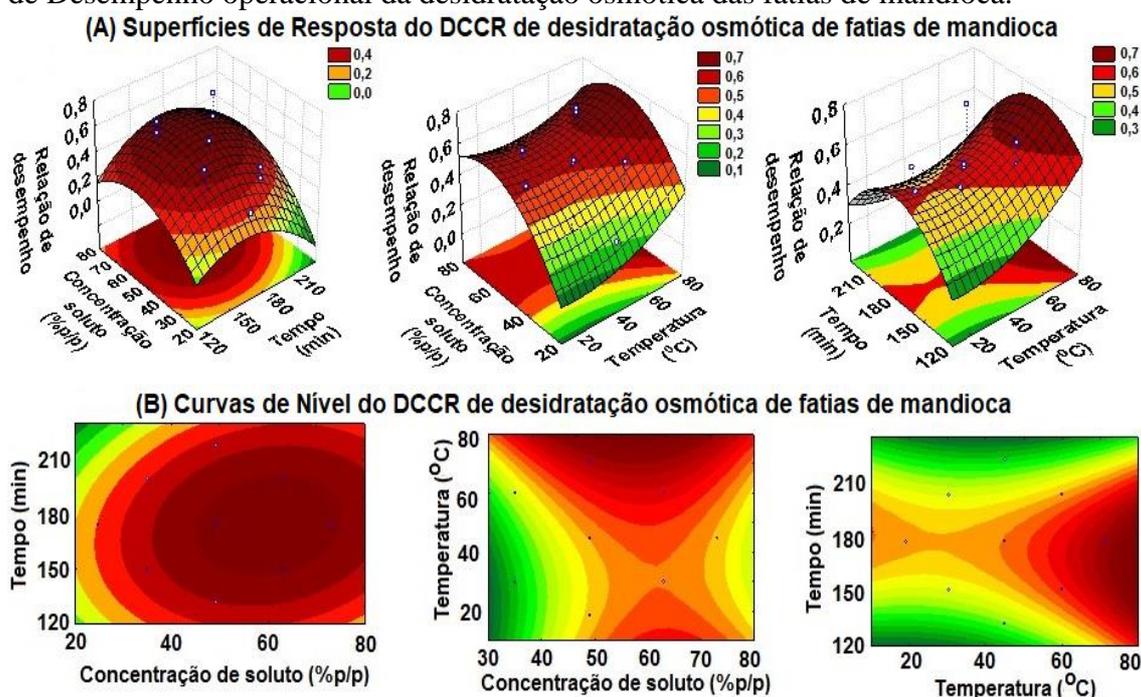
Figura 1 - Diagrama de Pareto para a Relação de Desempenho operacional de desidratação osmótica de fatias de mandioca segundo o DCCR experimental aplicado.



Fonte: Autores (2024).

O diagrama de Pareto da Figura 1 demonstra que todas as variáveis e suas interações foram significativas para a Relação de desempenho operacional da desidratação osmótica das fatias de mandioca. A concentração de solutos apresentou maior influência nesse parâmetro, seguida do tempo e da temperatura de operação. O modelo estatístico quadrático obteve resultados próximos ao linear, indicando a formação de regiões circulares para as curvas de níveis e as superfícies de respostas expressarem a faixa operacional otimizada para a Relação de desempenho da operação, apresentadas na Figuras 2.

Figura 2 - Superfícies de resposta (A) e Curvas de níveis (B) dos resultados da Relação de Desempenho operacional da desidratação osmótica das fatias de mandioca.



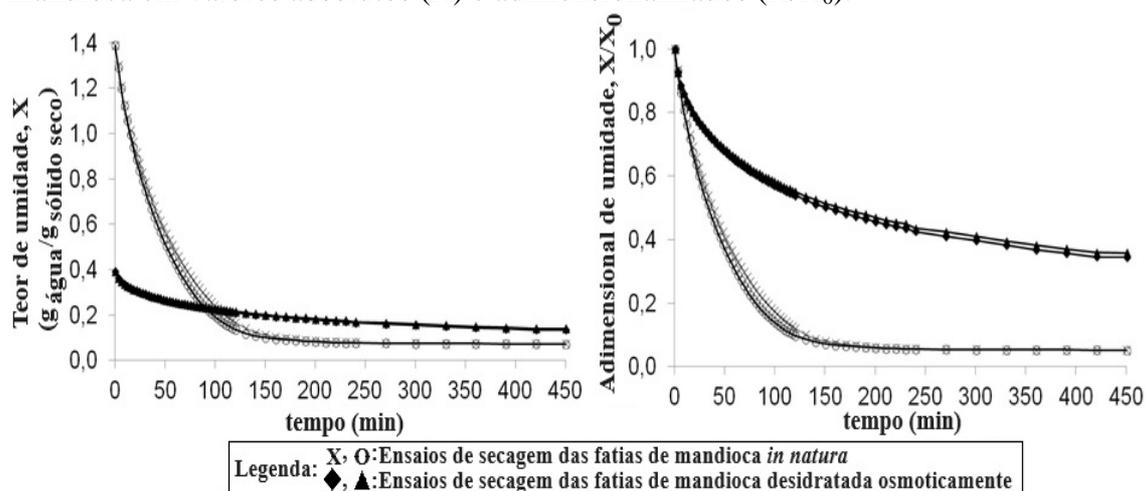
Fonte: Autores (2024).

Pode-se observar na Figura 2 que os maiores valores de Relação de Desempenho operacional estão em uma faixa de temperatura superior a 60°C, em concentrações de soluto entre 55 e 75% em peso de soluto e em tempos de operação na faixa de 150 a 190 min. Para complementar essa avaliação também foram utilizadas as curvas de nível de Redução da atividade de água e de Perda de massa. Assim, os melhores resultados desses parâmetros para as variáveis de estudo são encontrados em concentrações superiores a 60% em peso de solutos, temperaturas inferiores a 40 °C e tempo entre 120 e 180 min. Reunindo tais informações, pode-se definir a melhor condição operacional de desidratação osmótica de fatias de mandioca a 60 °C, 63% em peso de solutos e 175 min.

3.2 – Resultados dos ensaios de secagem convectiva

Os resultados iniciais da secagem convectiva a 60 °C das fatias de mandioca desidratadas osmoticamente e *in natura* estão demonstradas na Figura 3 através das curvas de umidade do material ao longo do tempo de secagem, na qual pode se verificar a diferença no comportamento na migração de umidade da mandioca *in natura* e da desidratada osmoticamente para a corrente de ar quente através dos valores a absolutos e adimensionalizados de umidade em relação ao tempo

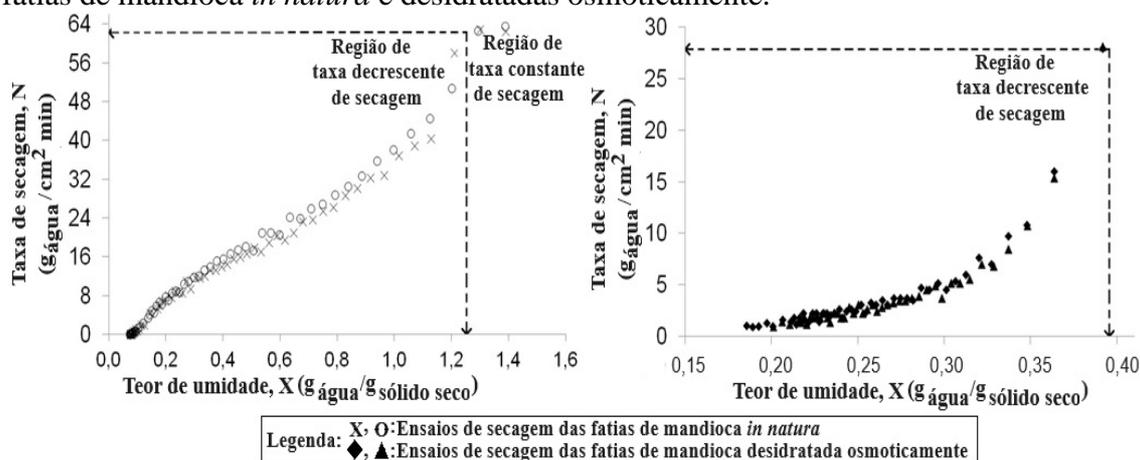
Figura 3 - Curvas do teor de umidade em relação ao tempo de secagem das fatias de mandioca em valores absolutos (X) e adimensionalizados (X/X_0).



Fonte: Autor (2024).

Pode-se perceber na Figura 3 do adimensional de umidade que a curva do material *in natura* apresenta inicialmente uma acentuada declividade linear decrescente, representada pela taxa constante de secagem, seguido de um comportamento exponencial acentuado até cerca de 180 minutos. O traçado da curva do material desidratado osmoticamente é exponencial desde o início da operação, indicando apenas a etapa decrescente de migração de umidade do material até o seu conteúdo de umidade de equilíbrio. Essa diferença de comportamento é evidenciada nas curvas da taxa de secagem em relação ao conteúdo de umidade das fatias apresentadas na Figura 4, cujo delineamento tracejado representa o ponto crítico de mudança de comportamento de migração de umidade e a transição das taxas constante e decrescente de secagem. Observa-se na Figura 4 que o material *in natura* apresenta as duas etapas de secagem, constante e decrescente, características desse tipo de tubérculo, segundo Freire (2018). Tal fato não ocorre com material desidratado osmoticamente, devido a parcial remoção do seu conteúdo de água inicial, o qual apresenta apenas a etapa de taxa decrescente de migração de umidade

Figura 4: Curvas da taxa de secagem (N) em relação ao conteúdo de umidade (X) das fatias de mandioca *in natura* e desidratadas osmoticamente.



Fonte: Autores (2024).

A inexistência da taxa constante de secagem da mandioca desidratada osmoticamente já era esperada, pois suas fatias não apresentavam mais água livre superficial para retirada na etapa inicial da secagem convectiva.

Os valores dos conteúdos de umidade e atividade de água dos materiais submetidos a secagem, apresentados na Tabela 1, demonstram que os resultados de redução de umidade das fatias *in natura* foram, no mínimo, duas (02) vezes maiores em relação aos obtidos pela mandioca desidratada osmoticamente. Ressaltando-se ainda, que esse material apresenta uma umidade inicial bastante inferior (48,9% menor) ao *in natura*.

Tabela 1 - Conteúdo de umidade e atividade de água das fatias de mandioca *in natura* e desidratada osmoticamente submetidas a secagem convectiva.

Material	Umidade inicial ⁱ (%, b.u.)	Umidade final ⁱ (%, b.u.)	Atividade de água inicial ⁱ	Atividade de água final ⁱ	Redução da atividade de água ⁱ (%)
<i>in natura</i>	58,2 ± 0,1	6,7 ± 0,1	0,96 ± 0,01	0,15 ± 0,01	89,5 ± 0,5
desidratada osmoticamente	28,2 ± 10	12,3 ± 0,1	0,75 ± 0,01	0,43 ± 0,01	40,0 ± 0,6

ⁱMédia de dois ensaios de secagem.

Fonte: Autores (2024).

Esse comportamento de maior umidade final das fatias desidratadas osmoticamente em relação ao material *in natura* foi descrito por Pessoa *et al.* (2021) e deve-se a formação de um filme delgado impermeável na superfície das fatias do material impregnado com sacarose, devido a degradação desse açúcar na etapa final de secagem, impossibilitando a migração de umidade do seu interior para a corrente de ar. No entanto, os dois produtos secos, mandiocas *in natura* e desidratadas osmoticamente, apresentam atividade água inferior a 0,6, limite crítico de inibição do crescimento de todos os microorganismos, conforme Zhengyong, Sousa-Gallagher e Oliveira (2008).

Os coeficientes de ajuste estatístico (R^2) da correlação empírica de secagem para ajuste dos resultados das curvas experimentais do adimensional de água livre e os valores da difusividade efetiva média de umidade das fatias de mandioca *in natura* e desidratada osmoticamente foram, respectivamente, de $99,92 \pm 0,01\%$ e $3,75 \times 10^{-10} \pm 2,44 \times 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$ e de $98,85 \pm 0,07\%$ e $1,25 \times 10^{-10} \pm 4,65 \times 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$. Esses dados estão de acordo com os resultados de Bezerra Pessoa *et al.* (2021) quanto ao efeito restritivo dos açúcares para a retirada de umidade dos alimentos através da secagem

convectiva. A difusividade efetiva média de umidade das fatias de mandioca desidratada osmoticamente secas é quatro (04) vezes menor do valor obtido pelo material *in natura*.

3.3 – Características das farinhas de mandioca produzidas

Os parâmetros adotados para caracterizar a qualidade da farinha e comparar as técnicas de secagem estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Tamanho de partícula, atividade de água, conteúdos de umidade, sacarose e cloreto de sódio das farinhas de mandioca obtidas.

Determinações	Farinha de fatias de mandioca produzida por secagem:	
	Convectiva	osmo-convectiva
Diâmetro médio de partícula, $D_{p_{Sauter}}$ (mm)	0,255 ± 0,005	1,248 ± 0,041
Atividade de água	0,151 ± 0,010	0,420 ± 0,007
Teor de umidade x, b.u (%)	6,22 ± 0,05	12,04 ± 0,04
Teor de sacarose - açúcares não redutores (%)	5,625 ± 0,45	16,905 ± 0,522
Teor de cloreto de sódio (%)	0,335 ± 0,05	5,864 ± 0,016

Fonte: Autores (2024).

Verifica-se na Tabela 2 que a farinha produzida pelo secagem osmo-convectiva apresenta sólidos particulados maiores e com maiores conteúdos de água, sacarose e cloreto de sódio. O conteúdo de umidade das farinhas produzidas apresenta valores similares ao seu material de origem, cujo limite máximo permitido pela RDC nº 263 (BRASIL, 2005) é de 15% de umidade em base úmida. O conteúdo de sódio da farinha de mandioca desidratada osmoticamente e seca é de 2.307 mg (massa de sódio corresponde a 40% da massa de 1 g de cloreto de sódio) e está abaixo dos valores diários de referência de nutrientes estabelecidos pela Resolução RDC nº 360 (BRASIL, 2003) que informa o valor de 2.400 mg de sódio. No entanto, esse conteúdo de sódio é elevado para o consumo alimentar, pois a Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda o limite máximo de 2.000 mg de sódio por dia (SARNO *et al.*, 2013). Assim, deve-se utilizar esse produto em misturas com as demais farinhas de matérias-primas vegetais para diminuir seu teor de sódio a valores inferiores a 500 mg por 1 grama de farináceo.

IV. CONCLUSÃO

A condição operacional otimizada para a desidratação osmótica de fatias de mandioca foi de 60 °C, 63% em peso de soluto e 175 min, a velocidade de agitação de 120 rpm. A secagem convectiva em camada delgada a 60 °C das fatias de mandioca demonstrou que o conteúdo de sacarose incorporado na matriz sólida das desidratadas osmoticamente dificulta sua migração de água, aumentando o conteúdo de umidade e atividade de água de sua farinha e diminuindo a sua difusividade efetiva média de umidade.

A farinha das fatias de mandioca produzidas pela secagem osmo-convectiva apresentou maior teor de sacarose e cloreto de sódio em relação ao material tradicional obtido com a secagem convectiva. Esse novo produto apresenta diferentes atributos sensoriais que podem contribuir para aumentar o seu consumo (farinha adocicada), assim como, possui maior conteúdo energético para suprir a dieta alimentar diária dos seus consumidores.

V. REFERÊNCIAS

AOAC. Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis of AOAC**, Moisture content in plants, 22nd Edition, 3 – volume set, Oxford University Press, 2023. 3750 p.

BARROS JÚNIOR, A. P.; SOUZA, W. M.; ARAÚJO, M. S. B. Produção de farinha da mandioca no agreste pernambucano. **Revista Equador** (UFPI), Vol. 5, Nº 5, p. 216 – 238, 2016.

BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. E.; BRUNS, R. E. **Como Fazer Experimentos**. 4a Ed. São Paulo: Cia. Editora Bookman, 2010. 414 p.

BEZERRA PESSOA, T. R.; LIMA, A. G. B.; MARTINS, P. C.; PEREIRA, V. C.; ALVES, T. C. O.; SILVA, E. S.; LIMA, E. S. Osmo-convective Dehydration of Fresh Foods: Theory and Applications to Cassava Cubes. *In*: DELGADO, J. M. P. Q.; LIMA, A. G. B. **Advanced Structured Materials**. 133ed. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, v. 133, 2021. p. 151-183.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005**. Dispões sobre regulamento técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Diário Oficial da União, DF, 23 Set 2005, Seção 1, Nº 184, 2005. p. 368-369.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Resolução RDC nº 360, de 23 de dezembro de 2003**. Aprova Regulamento Técnico sobre Rotulagem Nutricional de Alimentos Embalados, tornando obrigatória a rotulagem nutricional. Diário Oficial da República do Brasil, Brasília, 26 dez., 2003. 10 p.

FREIRE, T. **Tópicos em secagem de produtos naturais**, São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2018. 287 p.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4. ed. Brasília: Ministério da Saúde, Agência Nacional de Vigilância Sanitária, 2005. (Série A-Normas e Manuais Técnicos). 1.000 p.

OLIVEIRA, L. A. DE; SOUZA, J. M. L. DE; MATOS, M. F. R. DE; ÁLVARES, V. S. **Farinha de mandioca: alimento fonte de fibras e amido resistente**. Documentos 245, Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2021. 23 p.

PESSOA, T. R. B.; MARTINS, P. C.; MIRANDA, V. A. M.; DINIZ, J. F. B.; CAVALCANTE, D. C. M.; OLIVEIRA, V. A. B.; OLIVEIRA, I. R.; LIMA, A. G. B. On the Study of Osmotic Dehydration and Convective Drying of Cassava Cubes. **Defect and Diffusion forum**, v. 407, p. 87-95, 2021.

RAUL, L. **Farinha de mandioca: o sabor brasileiro e as receitas da Bahia**. Editora Senac São Paulo, 2019. 176 p.

SARNO, F.; CLARO, R. M.; LEVY, R. B.; BANDONI, D. H.; MONTEIRO, C. A. Estimativa de consumo de sódio pela população brasileira 2008-2009, **Revista de Saúde Pública**, v. 47, n. 3, p. 571-578, 2013.

TORREGGIANI, D.; BERTOLO, G. Osmotic pré-treatments in Fruit Processing: chemical, physical and structural effects. *Journal Food Process Engineering*, v. 49, p. 247-253, 2001.

ZHENGYONG, Y.; SOUSA-GALLAGHER, M. J.; OLIVEIRA, F. A. R. Sorption isotherms and moisture sorption hysteresis of intermediate moisture content banana. *Journal of Food Engineering*, v. 86, n. 3, p. 342 – 348, 2008.

VII. COPYRIGHT

Direitos autorais: Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do artigo.