

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE BAGAÇO DE MANDIOCA *IN NATURA* E APÓS TRATAMENTO HIDROLÍTICO

PHYSICOCHEMICAL CHARACTERIZATION OF CASSAVA BAGASSE *IN NATURA* AND AFTER HYDROLYTIC TREATMENT

Ariana Crasnhak Jasko¹; Jéssica de Andrade¹; Priscilla Faber de Campos¹ ;
Luciane Padilha¹, Renata Baraldi de Pauli¹; Leda Battestin Quast¹, Egon Schnitzler¹, Ivo Mottin Demiate¹
¹Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG – Ponta Grossa - Brasil

demiate@yahoo.com

Resumo

A mandioca, uma matéria prima cultivada e processada em países tropicais para obtenção de amido, tem grande importância agroindustrial no Brasil. A tecnologia de processamento, entretanto, não se desenvolveu completamente, necessitando de melhorias, pois há geração de resíduos que ainda não se constituem em co-produtos, sendo comumente descartados de forma inadequada. Um exemplo desses resíduos é o farelo, bagaço ou massa de mandioca. Trata-se de um material fibroso e ainda rico em amido que pode ser hidrolisado com a conversão do amido e de parte da celulose em açúcares fermentescíveis para a produção de etanol ou de outros bioprodutos. É o principal resíduo sólido e sai do processo com umidade superior a 80 %, dificultando a logística de transporte e armazenamento, pois além do volume, o material é muito perecível. Não há, atualmente, um processo empregado em grande escala pelas empresas processadoras de amido de mandioca no Brasil que seja aceito como viável do ponto de vista econômico. A secagem, uma das principais limitações para a comercialização e utilização do bagaço, foi abordada neste trabalho, incluindo a obtenção de isotermas de sorção e algumas formas de secagem foram testadas. O bagaço foi caracterizado físico-quimicamente e submetido a hidrólise enzimática com o objetivo de avaliar a potencialidade para que se torne um co-produto do processamento industrial das raízes. Os resultados revelaram elevada concentração de carboidratos (amido) no material e também o comportamento frente a secagem mecânica.

Palavras-chave: mandioca; bagaço; hidrólise; secagem.

1 Introdução

O processamento de mandioca para obtenção de amido é uma importante atividade econômica em diversos países tropicais, com destaque para o Brasil e a Tailândia. No Brasil, a produção de amido de mandioca se concentra nos estados do Paraná e Mato Grosso do Sul, com algumas indústrias também em São Paulo, Santa Catarina, Minas Gerais e Ceará (FELIPE e ALVES, 2005).

De maneira geral, no processamento agroindustrial há geração de resíduos que podem causar impacto ambiental. Devido a isso, as indústrias responsáveis por esses resíduos procuram torná-los subprodutos, muitas vezes chamados de co-produtos (MATSUI, 2002). Segundo Pandey et al., (2000), esses subprodutos quando transformados podem gerar produtos de grande interesse comercial como álcoois, enzimas, ácidos orgânicos, aminoácidos, entre outros. Os autores revisaram o potencial biotecnológico do bagaço de mandioca, um importante resíduo agroindustrial de vários países em desenvolvimento, destacando a origem brasileira da mandioca, da região amazônica, e a grande importância na alimentação humana, figurando como a sexta cultura agrícola mais consumida em todo o mundo. Um dos fatores favoráveis à cultura da mandioca é sua grande adaptação a diferentes condições edafo-climáticas.

Um exemplo de resíduo da obtenção de amido de mandioca é o farelo, também conhecido como bagaço ou massa, que pode ser parcialmente hidrolisado com a conversão do amido e da celulose em açúcares fermentescíveis para a produção de etanol ou de diversos outros bioprodutos. Os processos conhecidos para obtenção desses açúcares incluem o tratamento hidrolítico com ácidos ou com enzimas (FREITAS et al., 2011).

No processamento de mandioca, a tecnologia não se desenvolveu completamente e melhorias são fundamentais, pois há geração de resíduos que ainda não se constituem em subprodutos ou co-produtos, sendo descartados de forma inapropriada – os líquidos são simplesmente enviados ao sistema de tratamento de efluentes e os sólidos, muitas vezes, doados para alimentação animal ou para serem utilizados como fertilizantes a fazendeiros vizinhos às unidades de processamento.

O bagaço quando é apenas descartado, representa um desperdício de matéria prima. Devido à grande capacidade de retenção de água do material fibroso-amiláceo, o processo de secagem e o transporte se tornam caros. Não há atualmente, um processo empregado em grande escala pelas empresas processadoras de amido de mandioca no Brasil que seja amplamente aceito como viável do ponto de vista econômico. O teor de umidade do bagaço que sai do processo é frequentemente superior a 80 % (m/m), dificultando a logística de transporte e armazenamento, pois além do volume, o material é altamente perecível.

Durante o processamento da mandioca, além do amido, obtido em rendimentos que variam de 20 a 30 % (m/m), resta uma importante quantidade de efluente, chamado de manipueira, e o bagaço, que quando seco apresenta teores de amido superiores a 50 % (m/m) e também elevada concentração de fibras. Uma característica que Pandey et al. (2000) destacam como favorável em relação a outros resíduos agroindustriais é o baixo teor de minerais neste resíduo.

Nos últimos anos tem-se estudado a transformação de resíduos agroindustriais em subprodutos. Pandey et al. (2000) usaram o bagaço de mandioca como substrato em processos

microbiológicos e na obtenção de bandejas como suportes biodegradáveis para plantas, reduzindo assim o impacto ambiental dos plásticos comumente utilizados. Para ser possível a utilização de bagaço de mandioca como matéria prima, faz-se necessária sua secagem, porém o método convencional consome muita energia resultando em aumento do custo do produto final.

A otimização da secagem envolve, entre muitos parâmetros, o conhecimento da sua cinética. A cinética de secagem descreve a variação da umidade do material com o tempo. Os modelos que representam as curvas de secagem são propostos baseados nas variáveis que podem interferir no produto seco e requerem o conhecimento de dados da secagem e condições de operação. Para isto as amostras são submetidas a um ambiente com condições controladas de temperatura e umidade relativa até se atingir a umidade de equilíbrio. Define-se umidade de equilíbrio como sendo o teor de umidade de um material higroscópico após ficar exposto a um ambiente com temperatura e umidade relativa controladas, por um determinado período de tempo. Pode-se dizer, ainda, que o material está higroscopicamente em equilíbrio com o ambiente em que se encontra quando a pressão de vapor d'água do material for igual à pressão de vapor d'água do ar ambiente.

Como uma das principais limitações para a comercialização e utilização do bagaço é a secagem, esta operação unitária foi abordada no presente trabalho. Além disso, o bagaço de mandioca foi caracterizado físico-quimicamente e submetido a hidrólise ácida e enzimática, com o objetivo de avaliar a potencialidade para que se torne um co-produto do processamento industrial das raízes.

2 Materiais e Métodos

Obtenção das amostras

Amostras de bagaço de mandioca foram coletadas de duas indústrias processadoras de amido de mandioca, uma delas localizada no município de Nova Esperança, Paraná (amostra 1), e a outra no município de Palmital, São Paulo (amostra 2).

É importante destacar que a amostra 1 foi coletada úmida na indústria, trazida para o laboratório e seca em estufa de circulação e renovação de ar a 50 °C/72 h, enquanto a amostra 2 foi coletada seca na própria indústria, que utiliza filtro-prensa para eliminar o excesso de umidade do material e depois seca em secador industrial sob alta temperatura com vapor indireto. A amostra 1, após a secagem em laboratório, apresentou visualmente coloração mais clara quando comparada à amostra 2, revelando diferenças no procedimento de secagem.

Caracterização das amostras

As amostras 1 e 2 de bagaço *in natura* e após a hidrólise (ácida ou enzimática), foram caracterizadas em relação aos teores de umidade, proteína, lipídios, cinzas e fibra alimentar, utilizando-se a metodologia do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 1985), além da fibra bruta que foi determinada seguindo o método de Weende com modificações, com o auxílio de um digestor de fibras (Marconi, modelo MA-444/CI, Piracicaba SP). O amido foi determinado colorimetricamente utilizando-se o reativo glicose-oxidase (GOD) após tratamento enzimático do bagaço com preparados enzimáticos com alta atividade de alfa-amilase (Termamyl[®], Novozymes) e de amiloglicosidase (AMG[®], Novozymes), como descrito por Demiate et al. (2001); os carboidratos totais foram calculados por diferença. As análises foram realizadas em triplicata.

Secagem das amostras

Para a secagem das amostras de bagaço foram testadas algumas modificações em métodos convencionais. Após re-hidratação das amostras de bagaço com água potável em quantidade e tempo suficientes para recuperação do aspecto inicial de quando sai do processo industrial, a secagem foi feita em estufa de circulação e renovação de ar (Tecnal, modelo TE – 394/2, Piracicaba SP) empregando amostras homogêneas prensadas. Foram realizados testes (pré-tratamentos) para acelerar a retirada de água por intermédio da adição de álcool etílico em diferentes proporções ao bagaço úmido (1 : 1 e 1 : ½), sendo, em seguida, filtrado a vácuo (-490 mmHg) e colocado na estufa, sob temperaturas de 50 e 80 °C. Foram feitos testes variando-se a espessura da camada de material exposto à secagem. Também foram realizados alguns testes preliminares de secagem em estufa com adição de amido de mandioca seco ao bagaço úmido na proporção de 25 e 50 % (m/m) submetendo as amostras à temperatura de 80 °C. A secagem em estufa com circulação e renovação de ar foi feita após prensagem (prensa marca Potente Brasil – mod. 15 ton., São Paulo SP) até 15 kg cm². Durante os ensaios de secagem, as amostras foram pesadas em balança analítica a cada 30 minutos. Todas as metodologias empregadas, além de possibilitarem comparar a eficiência do método de secagem, visaram à determinação do tempo de processo mais adequado, levando em consideração que esta variável está diretamente relacionada com a economia de energia em escala industrial.

A Equação 1 foi utilizada para determinar a umidade em matéria seca (PACHECO et al., 2011):

$$X_s = \frac{m - m_{ss}}{m_{ss}} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde X_s representa a umidade do material (em base seca), m é a massa inicial do material a ser seco (g) e m_{ss} é a massa em cada tempo de secagem (g).

A umidade adimensional (MR) em diferentes condições de secagem foi calculada segundo a Equação 2 (PACHECO et al., 2011):

$$MR = \frac{X_s - X_e}{X_i - X_e} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde X_s é a umidade do material, X_e é a umidade de equilíbrio e X_i é a umidade inicial, todas em base seca.

Hidrólise do bagaço

A hidrólise do bagaço foi efetuada por tratamento com ácido sulfúrico ($d = 1,84 \text{ g mL}^{-1}$) (12 % (m/m) de bagaço e 250 mmol L^{-1} de ácido sulfúrico por 1 h, em autoclave a $121 \text{ }^\circ\text{C}$) e por tratamento enzimático utilizando-se uma alfa-amilase termoestável (Thermamyl[®], Novozymes), uma amiloglucosidase (AMG[®], Novozymes) e um preparado celulolítico (Cellic CTec[®], Novozymes), nas concentrações e condições recomendadas pelo fabricante. A fração solúvel resultante dos tratamentos hidrolíticos foi analisada pelos métodos de Somogyi-Nelson (NELSON, 1944; SOMOGYI, 1945; DEMIATE et al., 2002) e de glucose-oxidase (GOD) (ANALISA, 2011), verificando-se os teores de açúcares redutores e de glucose de cada tratamento, respectivamente.

Isotermas de sorção

Para a construção das isotermas, o bagaço industrial seco (amostra 2) foi pesado (cerca de 2,000 g) em recipientes de papel alumínio e posteriormente armazenado em dessecadores herméticos com umidades relativas distintas, obtidas pelo uso de soluções de ácido sulfúrico (p.a.) em diferentes concentrações (70, 60, 55, 50, 40, 30, 20, 10, 5 e 0 % v/v), e mantidas a temperaturas constantes de 20 e 30 °C em câmara (BOD AL 200 Americal Lab, Charqueada SP Brasil) por cerca de 30 dias (MORAES et al., 2007; PAULI et al., 2011). As amostras foram pesadas diariamente em balança analítica (ADA 210/C – Adam Equipment, Danbury CT EUA) até apresentarem massa constante.

A construção das isotermas de sorção foi realizada com apoio do *software* STATISTICA (Statsoft, Tulsa, EUA) e o ajuste estatístico gerado foi o modelo de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer).

3 Resultados e Discussão

Caracterização das amostras

Na Tabela 1 são mostrados os resultados obtidos para as análises físico-químicas das duas amostras de bagaço.

Tabela 1 - Caracterização físico-química do bagaço de mandioca após a secagem

| Composição | Amostra 1 (%) | Amostra 2 (%) |
|-------------------|----------------------|----------------------|
| Umidade | 11,5 | 4,8 |
| Proteínas | 1,9 | 1,7 |
| Lipídeos | 0,1 | 0,1 |
| Fibra bruta | 18,7 | 19,8 |
| Cinzas | 1,9 | 2,1 |
| Fibra alimentar | 31,6 | 36,6 |
| Amido | 42,0 | 47,0 |
| Carboidratos * | 11,1 | 7,8 |
| pH | 4,0 | 5,4 |

*Carboidratos calculados por diferença, após determinação do teor de amido.

Para fins de comparação dos valores obtidos neste trabalho, são apresentados na Tabela 2 dados de outros estudos de caracterização de bagaço de mandioca obtidos por diversos autores, citados por Pandey et al. (2000).

Tabela 2 - Dados de composição química do bagaço de mandioca obtidos da literatura

| Composição | Socol (1994) | Cereda (1994) | Sterz (1997) | Vandenberghe (1998) |
|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|
| Umidade | 5,02 | 9,52 | 10,70 | 11,20 |
| Proteínas | 1,57 | 0,32 | 1,60 | 1,61 |
| Lipídeos | 1,06 | 0,83 | 0,53 | 0,54 |
| Fibras | 50,55* | 14,88** | 22,20 | 21,10 |
| Cinzas | 1,10 | 0,66 | 1,50 | 1,44 |
| Carboidratos | 40,50 | 63,85 | 63,40 | 63,00 |

* fibra alimentar ** fibra bruta.

FONTE: Pandey et al. (2000).

Os resultados obtidos para as duas amostras deste estudo confirmam elevadas concentrações de amido residual e de fibra, bem como baixos teores dos demais constituintes. Analisando-se os dados de diferentes autores conforme mostrado na Tabela 2, percebe-se que pode haver uma variação na determinação dos componentes presentes no bagaço de mandioca. Essas variações podem estar relacionadas com a origem ou tipo de mandioca utilizada bem como seu processamento industrial.

Secagem

Nas Figuras 1 e 2 são mostradas as umidades adimensionais (MR), da amostra 1, a 50 e a 80 °C, respectivamente.

Figura 1 – Umidade adimensional de bagaço de mandioca a 50°C submetido a diferentes pré-tratamentos

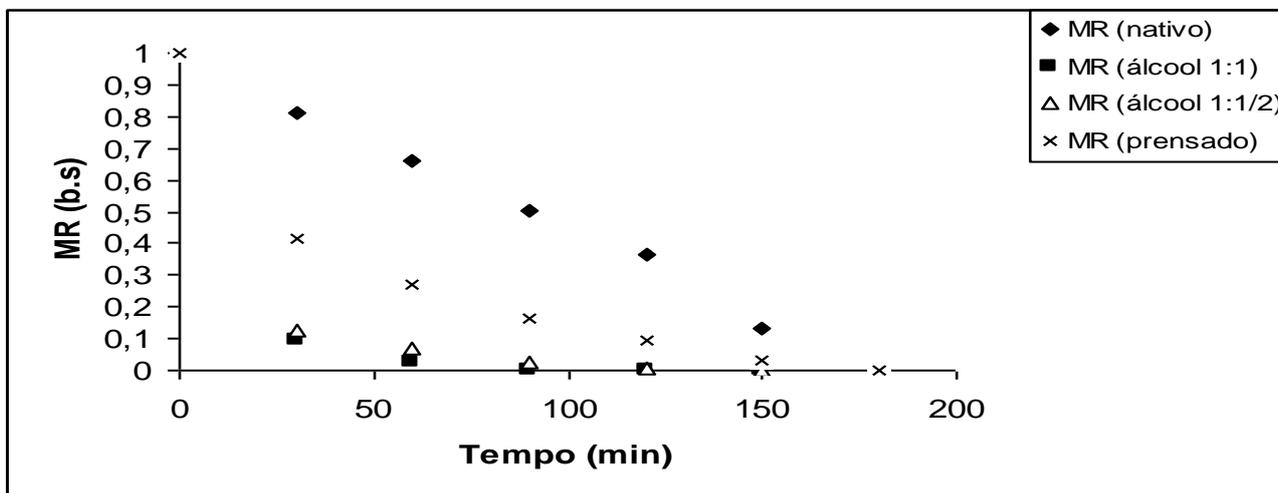
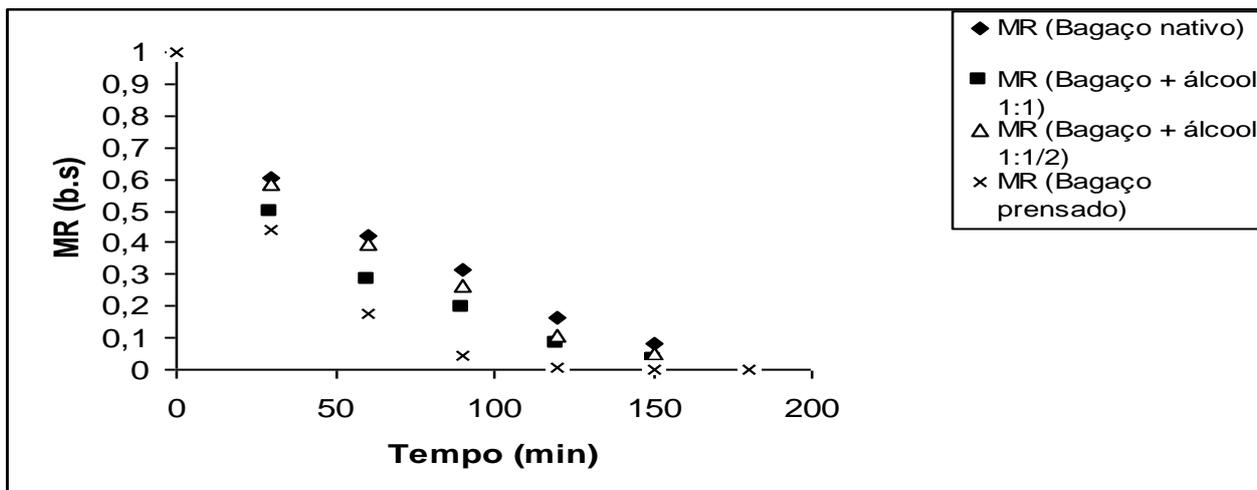


Figura 2 – Umidade adimensional de bagaço de mandioca a 80°C submetidos a diferentes pré-tratamentos

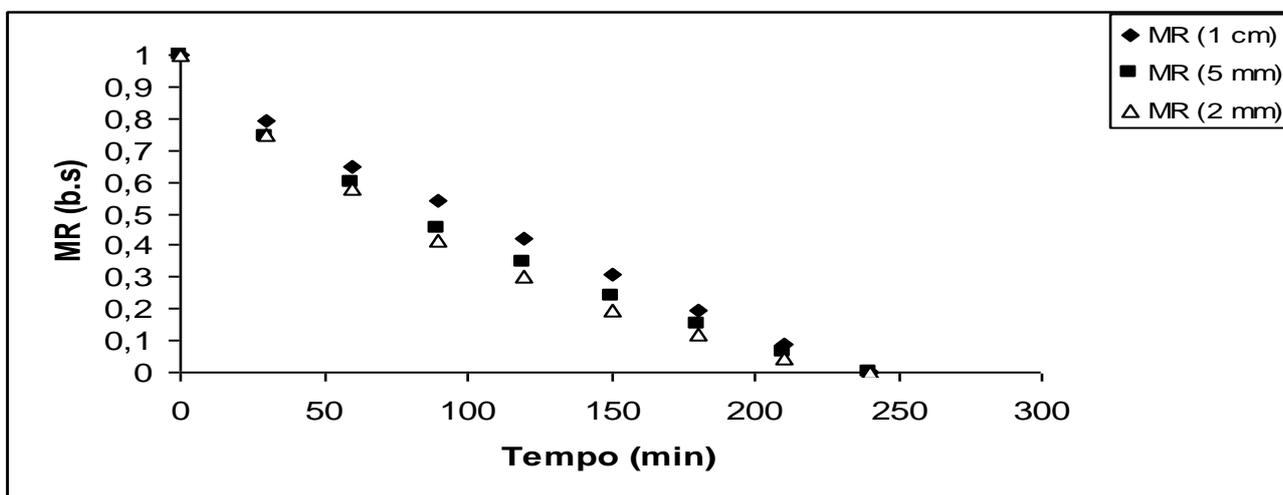


Analisando-se os perfis das cinéticas de secagem apresentados nas Figuras 1 e 2 pode ser observado que o aumento da temperatura, na secagem do bagaço prensado, acelerou a secagem, enquanto no bagaço submetido a outros pré-tratamentos, a secagem mais eficiente foi a 50°C. O bagaço adicionado de álcool secou mais rapidamente quando submetido a secagem a 50°C, o que pode estar relacionado ao fato de que o ponto de ebulição do etanol é de cerca de 78 °C, e quando exposto à temperatura mais alta pode ter evaporado rapidamente sem carregar consigo a umidade presente no bagaço.

Ao se analisar as curvas de secagem percebe-se que a prensagem, seguida de secagem em estufa a altas temperaturas e a secagem em estufa a 50 °C utilizando álcool na proporção 1:1 possibilitou obter um produto final seco e estabilizado, material este, que chega da indústria com 83 % (m/m) de umidade e deve conter menos de 20 % (m/m) quando seco, objetivo que foi alcançado com a secagem realizada em laboratório.

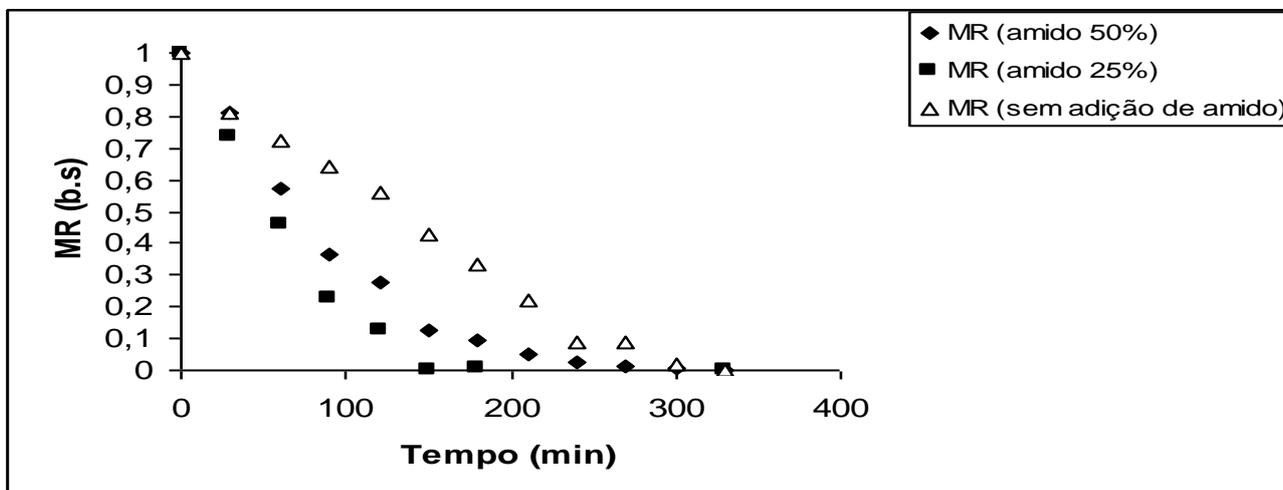
Os testes realizados variando-se a espessura da camada com que o material era exposto à secagem, mostraram que, aparentemente não houve grandes variações no conteúdo de umidade, sendo que próximo de 250 minutos de secagem, todas as amostras apresentaram praticamente o mesmo conteúdo de umidade. Isso pode ser explicado devido ao fato de esse bagaço se apresentar como material bastante poroso, sendo que, provavelmente nesse caso, a convecção mássica é o fator determinante no processo de secagem.

Figura 3 – Umidade adimensional do bagaço de mandioca (amostra 1) em estufa a 80°C em camadas com diferentes espessuras



A Figura 4 mostra a umidade adimensional de secagem para os testes realizados adicionando-se amido de mandioca seco, em diferentes concentrações, ao bagaço úmido.

Figura 4 – Umidade adimensional do bagaço (amostra 1) em estufa a 80 °C com adição de amido de mandioca seco



Com base na Figura 4 observa-se que as análises dos métodos experimentais de secagem com adição de 25 e 50 % (m/m) de amido de mandioca seco demonstrou que a presença do amido pode acelerar a secagem.

O fato de o amido acelerar o processo de secagem está relacionado à facilidade do mesmo em perder umidade quando comparado a fração fibrosa, o que resulta em redução de tempo de secagem e conseqüentemente menor gasto energético. Deve-se considerar também que o amido empregado no estudo já estava seco, com cerca de 14 % de umidade, o que também contribuiu para a aceleração do processo de secagem.

Hidrólise do bagaço

O rendimento dos açúcares redutores solúveis, bem como o teor de glucose presentes no sobrenadante e o resíduo fibroso foram quantificados e os resultados expressos na Tabela 3.

Tabela 3 - Rendimento do Resíduo Fibroso, Açúcar Redutor Solúvel e glucose

| | Resíduo Fibroso (%) | Açúcar Redutor Solúvel (%) | Glucose (%) |
|---|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Hidrólise com alfa amilase e amiloglucosidase | 33,1 | 14,5 ± 0,1 ^b | 3,1 ± 0,1 ^b |
| Hidrólise com alfa amilase, amiloglucosidase e celulase | 25,7 | 7,7 ± 0,3 ^c | 4,1 ± 0,1 ^b |
| Hidrólise com ácido sulfúrico | 30,7 | 52,0 ± 0,3 ^a | 15,8 ± 0,4 ^a |

Na recuperação do bagaço de mandioca após a hidrólise, houve baixo rendimento do resíduo fibroso, uma vez que as hidrólises converteram parte do bagaço em açúcares solúveis. Os três tratamentos apresentaram rendimentos próximos em relação ao resíduo fibroso, porém com diferenças na quantidade de açúcares redutores solúveis. Nas condições testadas, a hidrólise usando alfa-amilase e amiloglucosidase resultou em baixo rendimento de glucose quando comparado com a hidrólise ácida.

Além do teor de açúcares redutores obtidos pela hidrólise com alfa-amilase e amiloglucosidase, houve também o teor obtido pela ação da celulase, no mesmo bagaço já hidrolisado com as amilases, que apresentou 7,7 % de açúcares redutores, resultando em um teor de 22,2 % de açúcares redutores ao final da hidrólise enzimática.

Na Tabela 4 são mostrados os resultados das análises físico-químicas realizadas no bagaço *in natura* e após os tratamentos hidrolíticos.

Tabela 4 - Composição do bagaço de mandioca *in natura* e após os tratamentos hidrolíticos*

| Composição (%) | Bagaço <i>in natura</i> | Hidrólise com alfa amilase e amiloglicosidase | Hidrólise com celulase | Hidrólise com ácido sulfúrico |
|-------------------------|-------------------------|---|------------------------|-------------------------------|
| Umidade | 4,8±0,2 ^b | 6,0±0,3 ^a | 4,3±0,2 ^b | 5,4±0,1 ^a |
| Cinzas | 2,1±0,0 ^d | 5,6±0,2 ^c | 6,2±0,0 ^b | 9,1±0,1 ^a |
| Lipídeos | 0,11±0,0 ^c | 0,88±0,1 ^a | 0,47±0,2 ^b | 0,52±0,1 ^b |
| Proteína | 1,7±0,0 ^a | 2,2±0,3 ^a | 2,8±0,3 ^a | 2,2±0,1 ^a |
| Fibra Bruta | 18,8±0,0 ^d | 37,8±0,2 ^b | 35,7±0,4 ^c | 54,5±0,4 ^a |
| Carboidratos Totais (-) | 72,5 | 47,5 | 50,5 | 28,3 |

*Letras distintas nas linhas indicam diferença significativa ao nível de 5 % de probabilidade pelo teste de Tukey.

(-) calculado por diferença.

As análises para caracterização das amostras foram realizadas em triplicata e os resultados submetidos a análise de variância (ANOVA). As médias para proteína e amido residual, não diferiram significativamente entre si, pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

Após os tratamentos, houve uma mudança significativa nos teores de lipídeos, o que pode sugerir interação dessas moléculas apolares com a fração amilácea ou fibrosa. Entre os tratamentos houve diferença entre as amostras hidrolisadas com as amilases, mas não entre aquelas hidrolisadas com ácido sulfúrico e celulase.

O teor de cinzas difere significativamente entre as quatro amostras analisadas. Houve um aumento após os tratamentos, principalmente depois da hidrólise com ácido sulfúrico, devido a reação do ácido com NaOH 50 % (m/v), utilizado no momento da neutralização, ocorrendo a formação de sais que são expressos no valor de cinzas.

As cinzas, para o caso da hidrólise enzimática, aumentaram devido a adição de cloreto de cálcio e ao teor de minerais nos preparados enzimáticos adicionados.

O teor de fibra bruta para a amostra tratada com a enzima Cellic CTec[®] foi menor se comparada com a que apenas utilizou as amilases, o que pode estar relacionado a degradação da celulose, que compõe o teor de fibras.

Isotermas de sorção

O conhecimento de isotermas de sorção é de grande interesse para a secagem e o armazenamento de produtos agrícolas (Chen, 2002) e por isso elas foram obtidas para o bagaço de mandioca. Foram utilizadas diferentes saturações de atmosfera, como descrito anteriormente, e duas temperaturas (20 e 30 °C), apresentando desta forma uma atividade de água diferente para cada situação, o que está demonstrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Umidade de equilíbrio (Xbs) e atividade de água (Aw) referente a cada concentração de ácido sulfúrico em temperaturas de 20 e 30°C para bagaço de mandioca (amostra 2)

| Solução H ₂ SO ₄ | Aw, 20°C | Xbs, 20°C g H ₂ O g MS ⁻¹ | Aw, 30°C | Xbs 30°C g H ₂ O g MS ⁻¹ |
|--|----------|--|----------|---|
| 0% | 1,0000 | 0,2630 | 1,0000 | 0,2070 |
| 5% | 0,9803 | 0,2509 | 0,9805 | 0,1726 |
| 10% | 0,9550 | 0,1919 | 0,9560 | 0,1850 |
| 20% | 0,8790 | 0,1467 | 0,8810 | 0,0899 |
| 30% | 0,7490 | 0,1262 | 0,7550 | 0,0880 |
| 40% | 0,5620 | 0,1061 | 0,5720 | 0,0538 |
| 50% | 0,3550 | 0,0790 | 0,3550 | 0,0446 |
| 55% | 0,2580 | 0,0642 | 0,2600 | 0,0209 |
| 60% | 0,1670 | 0,0727 | 0,1700 | 0,0511 |
| 70% | 0,0430 | 0,0704 | 0,0145 | 0,0118 |

MS – matéria seca

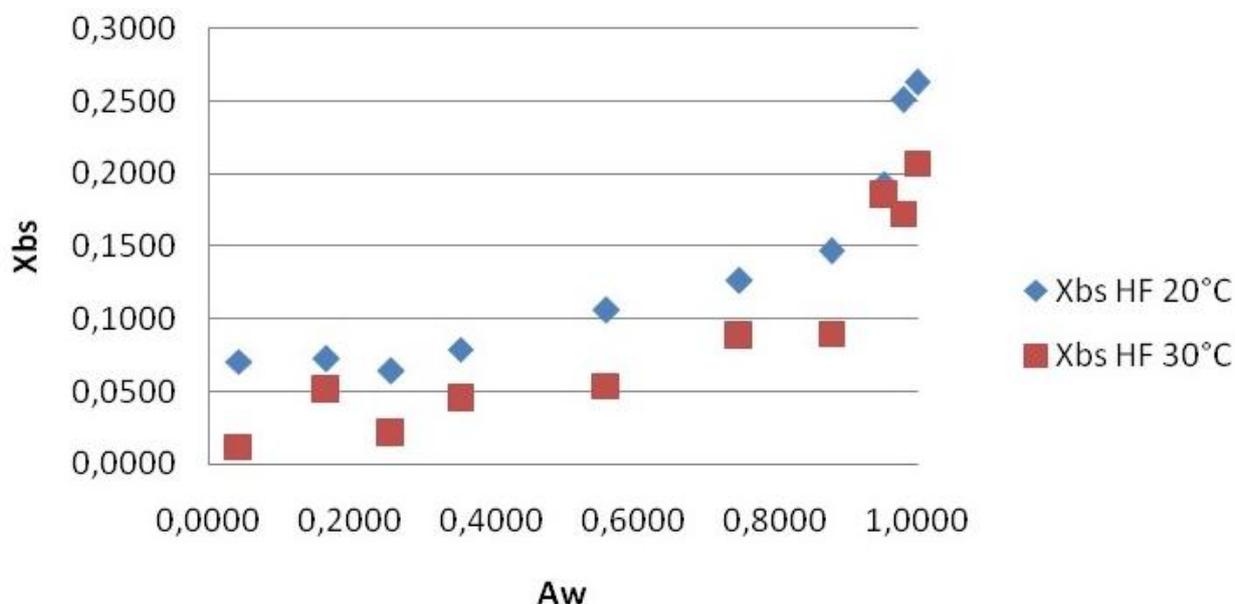
A umidade de equilíbrio ou umidade de monocamada é de interesse, pois indica a quantidade de água que permanece fortemente ligada na superfície da amostra sendo considerado o valor ótimo que assegura a estabilidade do produto, minimizando as reações de deterioração (BENEDETTI-DAMY et al., 2010).

As isotermas de sorção são empregadas para o conhecimento do comportamento das amostras, para este caso, o bagaço de mandioca, em condições de temperatura e umidade relativa constantes e estabelecidas, muito utilizadas, portanto, para definir a melhor metodologia de secagem a ser empregada.

Na Figura 5 demonstra-se o comportamento do bagaço (amostra 2) nas temperaturas de 20 e 30 °C, em diferentes condições de umidade relativa.

$$Xbs = \frac{\text{água restante}}{\text{matéria seca}} \text{ g (água) g (MS)}^{-1} \text{ (Eq. 3)}$$

Figura 5 – Isotermas de sorção de bagaço de mandioca (amostra 2) a 20 e 30°C



Observa-se que com o aumento da atividade de água, há maior quantidade de água disponível na atmosfera, e, desta forma, ocorre maior adsorção de água pela amostra. Assim, a atividade de água presente no meio é diretamente proporcional a umidade de equilíbrio em base seca (Equação 3).

O modelo de GAB (Equação 3) foi o mais adequado para o ajuste dos dados das isotermas de sorção. Este modelo possui apenas três parâmetros e é adequado também pela sua abrangente gama de atividade de água que engloba a faixa de 0,09 a 0,91 (VAN DER BERG e BRUIN, 1981). Os parâmetros da equação de GAB, k , C e X , são apresentados na Tabela 6, sendo alterados com a mudança da temperatura. O valor de X decresce com o aumento da temperatura indicando a higroscopicidade da amostra, caracterizando redução da capacidade de absorção de água, o que pode gerar em modificações físicas e químicas pela temperatura (McMINN e MAGEE 1999). A equação de GAB é apresentada pela Equação 4.

$$X_{eq} = \frac{k.C.X.Aw}{(1-k.Aw).(1-k.Aw+C.k.Aw)} \quad (\text{Eq. 4})$$

Tabela 6 – Valores das constantes de GAB (k , C e X) para a amostra 2 nas duas temperaturas

| Temperatura °C | R ² | C | k | X |
|----------------|----------------|----------|--------|--------|
| 20 | 0,9779 | 35981,57 | 0,7902 | 0,0527 |
| 30 | 0,9761 | 94,6244 | 0,8666 | 0,0276 |

O parâmetro C diminui e o k aumenta com o aumento da temperatura (VÁZQUEZ et al., 2001), sendo que esse mesmo comportamento foi observado nos dados experimentais.

As Figuras 7 e 8 demonstram a co-relação entre atividade de água (A_w) e umidade de equilíbrio em base seca (X_{bs}) com o ajuste de GAB, evidenciando que os valores de umidade de equilíbrio obtidos para a amostra a 20 °C foram superiores, ou seja, a esta temperatura a amostra adsorveu mais água. A umidade de equilíbrio decresce com o aumento de temperatura em uma condição de umidade relativa constante (MOREIRA et al., 2010). Este comportamento pode ser atribuído ao estado de agitação das moléculas, já que com aumento de temperatura aumenta a agitação das moléculas o que gera aumento da distância e diminuição da força atrativa entre as mesmas. Isto resulta em menor grau de sorção, ou seja, menor higroscopicidade, em uma dada umidade relativa com o aumento da temperatura (JAMALI et al., 2006). Esta característica destaca a potencialidade da utilização deste bagaço em produtos com capacidade absorvente.

Pode-se observar que o ajuste de GAB foi adequado para as duas temperaturas utilizadas, visto que o coeficiente de regressão para as duas curvas foi muito semelhante.

Figura 7 – Isoterma de sorção com ajuste da GAB da amostra de bagaço de mandioca (amostra 2) a 20°C

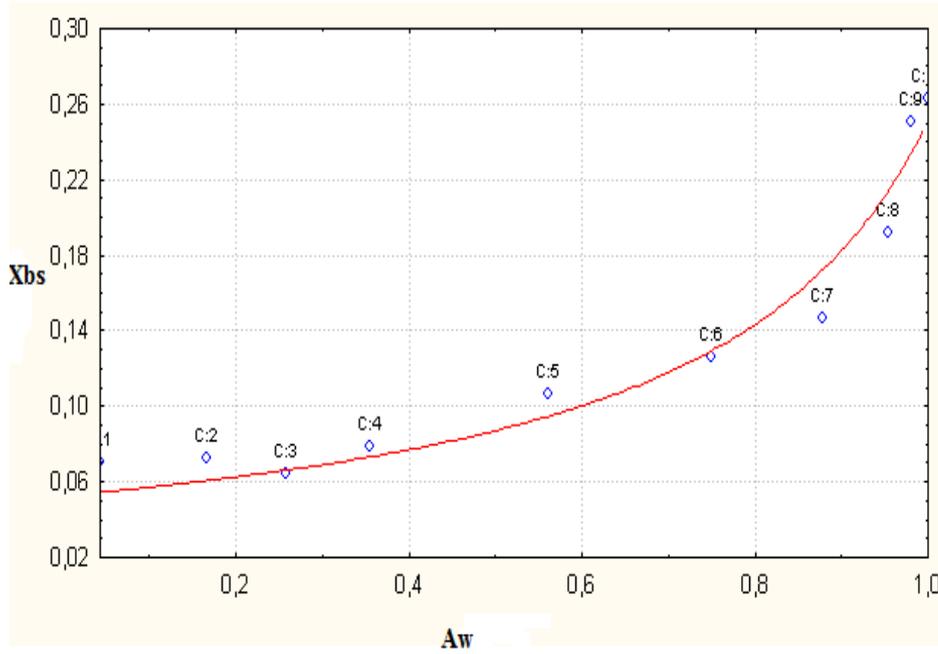
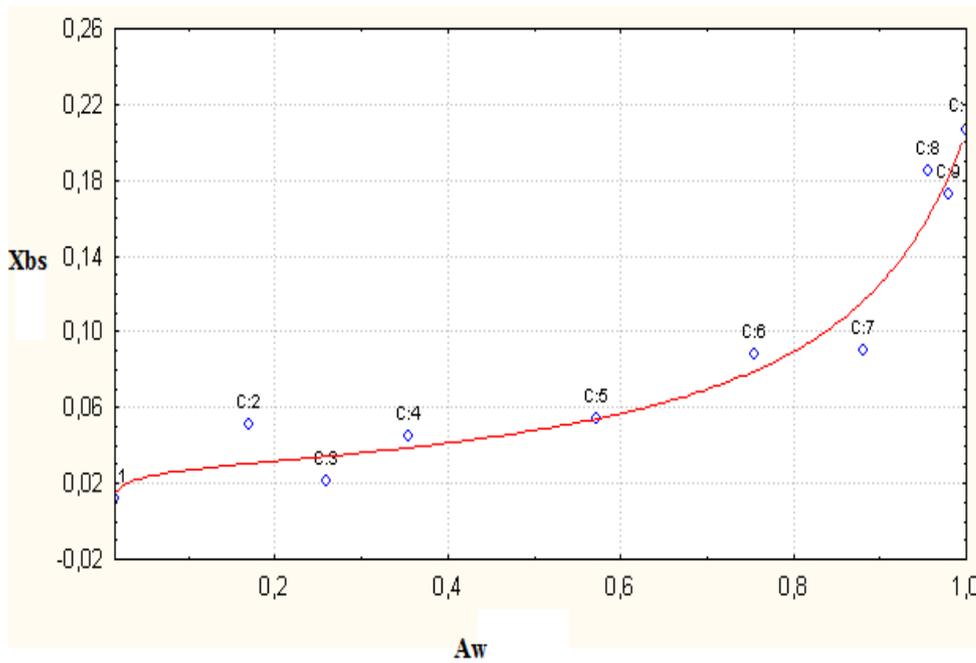


Figura 8 – Isoterma de sorção com ajuste da GAB da amostra de bagaço de mandioca (amostra 2) a 30°C



4 Conclusão

Os teores de umidade após a hidrólise com amilases e com ácido sulfúrico foram maiores que para o bagaço *in natura*. Para a hidrólise com celulase, o teor de umidade foi menor, mas isso pode estar associado à intensidade de secagem das amostras.

O teor de cinzas após a hidrólise ácida aumentou consideravelmente devido à formação de sais. Após o tratamento hidrolítico, o teor de fibra bruta aumentou devido à degradação pela qual os componentes das amostras foram submetidos, expondo as fibras à detecção pelo método analítico adotado. Os dados experimentais revelaram que a hidrólise ácida apresentou os maiores teores para açúcar redutor e total, além de vantagens em relação ao tratamento enzimático quanto ao tempo de reação.

Após a realização dos ensaios de secagem, verificou-se, em caráter preliminar, que o bagaço de mandioca pode ser seco, sendo disposto em finas camadas num período entre uma e três horas dependendo do pré-tratamento ao qual é submetido e da temperatura em que é realizada a secagem.

A obtenção das isotermas de sorção permitiu revelar o comportamento do bagaço de mandioca em condições de diferentes umidades relativas do ar e em duas temperaturas, o que tem grande interesse para a secagem e armazenamento desse material.

Abstract

Cassava is a tropical raw material and its starch production is an important economical activity in Brazil, even though the technology is not completely developed and there is waste generation that should be minimized converting them to byproducts. Cassava bagasse is one example, being rich in starch that could be hydrolyzed together with part of the cellulose to be converted in ethanol or other bio-products. Cassava bagasse is the main solid waste and retains lots of moisture, reaching 80 % or more at the end of the cassava starch production. This high moisture makes drying an expensive step that would be essential to warrant viable storage and transportation. At the moment there is not a large scale drying process of bagasse in the cassava starch processing industry. In the present paper drying the cassava bagasse was an objective, including construction of the sorption isotherms. Cassava bagasse was characterized in relation to selected physicochemical properties and also hydrolyzed with enzymes to evaluate its potential as a source of sugars and then becoming a byproduct. The results showed the high carbohydrate (starch) content of the cassava bagasse and also its behavior during drying.

Keywords: Manihot esculenta; bagasse; hydrolysis; drying.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Universidade Estadual de Ponta Grossa pela infra-estrutura de pesquisa disponibilizada, ao CNPq e à Fundação Araucária pela concessão de bolsas de iniciação científica de produtividade em pesquisa.

Referências

ANALISA. **Glicose-PP**. Disponível em: <http://www.goldanalisa.com.br/produtos/GLICOSE_PP.pdf>. Acesso em: 12 Jul. 2011.

- BENEDETTI, P.C.; PEDRO, M.A.M.; TELIS-ROMERO, J.; TELIS, V.R.N. Effect of frying method on the sorption and isosteric heat of persimmon pulp powder. **Journal Food Science**, v.22, n.4, 2010.
- CHEN, C. Sorption isotherms of sweet potato slices. **Biosystems Engineering**, v. 83, n. 1, p. 85-95, 2002.
- DEMIATE, I.M.; KONKEL, F.E.; PEDROSO, R.A. Enzymatic determination of starch in doce de leite using dialysis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, n.3, p.339-342, 2001.
- DEMIATE, I.M.; WOSIACKI, G. CZELUSNIAK, C.; NOGUEIRA, A. Determinação de açúcares redutores e totais em alimentos. Comparação entre método colorimétrico e titulométrico. **Publicatio UEPG, Ciências Exatas e da Terra, C. Agrárias e Engenharias**, 8 (1): 65 – 78, 2002.
- FELIPE, F.I.; ALVES, L.R.A. Amido de mandioca movimentou R\$ 573,3 milhões em 2004. **Revista da ABAM**, ANO II - Nº9 - Janeiro - Março/2005 Available from: <http://www.abam.com.br/revista/revista9/amidomovimentou.php> Access on 04 Aug. 2009.
- FREITAS, A. C.; OLIVEIRA, F.; NETO, P. O. **Hidrólise do farelo de mandioca por tratamento ácido termopressurizado**. Disponível em: <http://prope.unesp.br/xxi_cic/27_33419342861.pdf>. Acesso em mai. 2011.
- IAL, **Normas analíticas Instituto Adolfo Lutz**, 3ª edição, v. 1, Instituto Adolfo Lutz, São Paulo 1985, p 533.
- JAMALI, A.; KOUHILA, M.; MOHAMED, L.A.; IDLIMAM, A.; LAMHARRAR, A. Moisture adsorption-desorption isotherm os *Citrus reticulata* leaves at three temperatures. **Journal of Food Engineering**, v. 77, p. 71-78, 2006.
- MATSUI, K. N. **Desenvolvimento de materiais de biodegradáveis a partir do bagaço de mandioca**. Florianópolis, dez. 2002. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos - Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina.
- McMINN, W.A.M.; MAGEE, T.R.A. Studies on the effect of temperature on moisture sorption characteristics of potatoes. **Journal of Food Process Engineering**, v. 22, p.113–128, 1999.
- MORAES, M. A.; ROSA, G. S.; PINTO, L. A. A. Equilibrium isotherms of chitin: Heat of desorption determination. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.10, 212–219, 2007.
- MOREIRA, R.; CHENLO, F.; TORRES, M.D; PRIETO, D.M. Water adsorption and desorption isotherms of chestnut and wheat flours. **Industrial Crops and Products**, v.32, n.3, p.252-257, 2010.
- NELSON, N. A photometric adaptation of Somogyi method for the determination of glucose. **Journal of Biological Chemistry**, v. 153, p. 375-80, 1944.
- PACHECO, A. C. W.; LUZ, G.R.; POLON, P.E.; JORGE, L.M.M.; PARAÍSO, P.R. Modeling of drying and adsorption isotherms of the fish feed. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 54, n. 3, p. 577-588, 2011.
- PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V. T.; VANDENBERGHE, L. P. S.; MOHAN, R. Biotechnological potential of agro-industrial residues. II: cassava bagasse. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 74, p. 81-87, 2000.
- PAULI, R.B.; QUAST, L.B.; DEMIATE, I.M.; SAKANAKA, L.S. Production and characterization of oxidized cassava starch (*Manihot esculenta* Crantz) biodegradable films. **Starch – Stärke**, s.v., p.1-9, 2011.
- SOMOGYI, M. A New Reagent for Determination of Sugars. A new Sugar Reagent, **J.Biol.Chem.**, v. 160, p. 61-68, 1945.
- VÁZQUEZ, G., CHENLO, F., MOREIRA, R. Modelling of desorption isotherms of chestnut: influence of temperature and evaluation of isosteric heats. **Drying Technol.**, v.19, p.1189–1199, 2001.