

BALANÇOS DE MASSA DO ETANOL, ÁGUA, CO₂ E EFLUENTES NO PROCESSAMENTO INDUSTRIAL DA MANDIOCA PARA PRODUÇÃO DE ETANOL

Diones Assis Salla¹; Cláudio Cabello²

¹Aluno do curso de Pós-graduação em Agronomia - Energia na Agricultura - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp) Faculdade de Ciências Agrônomicas. E-mail: diones.salla@gmail.com;

²Professor, Pesquisador e Diretor do Centro de Raízes e Amidos Tropicais CERAT/UNESP, Caixa Postal 237, 18610-307 Botucatu, SP, dircerat@fca.unesp.br.

PALAVRAS CHAVE: bioenergias, fermentação, liquefação, processamento, resíduos sacarificação

INTRODUÇÃO

A produção de etanol por fermentação de substratos amiláceos vem sendo objeto de intensas pesquisas que buscam aperfeiçoar a conversão destes materiais de um modo mais rápido e a menores custos. Atualmente, o país já possui uma matriz energética com significativa participação de energias renováveis, tendo acumulado importante experiência na produção de álcool como combustível. A ampliação da participação da biomassa, a partir do desenvolvimento de fontes amiláceas, especialmente da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), poderá promover uma reperspectivação dos complexos agroindustriais em direção aos pequenos empreendimentos, ampliando as políticas de cunhos social, ambiental e econômico nas comunidades agrícolas e de base familiar.

Além de uma nova iniciativa, será também um modo de produzir álcool com menor teor de impurezas, podendo destinar-se à indústria farmacêutica e de bebidas, promovendo o aumento de novos investimentos, empregos, renda e desenvolvimento tecnológico, além de poder atender parte da crescente demanda mundial por combustíveis de reduzido impacto ambiental.

A determinação dos balanços de massa da água utilizada na diluição do substrato, do CO₂ liberado à atmosfera na fermentação e dos efluentes gerados durante o processamento industrial das raízes de mandioca, visando a produção do etanol, amplia a visibilidade dos potenciais produtivos da cultura e dá suporte científico à produção de energia em bases mais sustentáveis.

MATERIAL E MÉTODOS

A polpa de raízes de mandioca utilizada nos ensaios constituía-se de 38% de massa seca, 33% de amido e 2% de açúcares fermentescíveis. Desse modo, em 1000 kg de mandioca foram considerados disponíveis 330 kg de amido e 20 kg de açúcares que foram dissolvidos em água em diferentes ensaios. Para realização da hidrólise de 330 kg de amido

usou-se 686,4 ml da enzima α -amilase (TERMAMYL – 120 KNU ml⁻¹). A primeira etapa da hidrólise foi realizada durante um período de 2h, em temperatura de 90°C. A polpa apresentou um pH 6,0 e não foram feitos ajustes.

Na segunda etapa da hidrólise, efetivação da sacarificação, utilizou-se 206,25 ml da enzima Amiloglucosidase (AMG – 400 KNU ml⁻¹). Dois procedimentos básicos foram adotados para realização da segunda parte do processo: temperatura do hidrolisado à 60°C, durante 5 h; ajustes do pH entre 4,5 e 4,8, usando ácido sulfúrico.

Visando uma melhor multiplicação das leveduras foi adicionada ao mosto uma complementação de nutrientes, nas seguintes proporções: 349,3 ml de uréia (200mg ml⁻¹), 349,3 ml de superfosfato (200mg ml⁻¹), 349,3 ml de magnésio (20mg ml⁻¹) e 349,3 ml de adubo foliar (5mg ml⁻¹) todos diluídos em 2600 litros da solução de açúcares resultantes do processo de sacarificação.

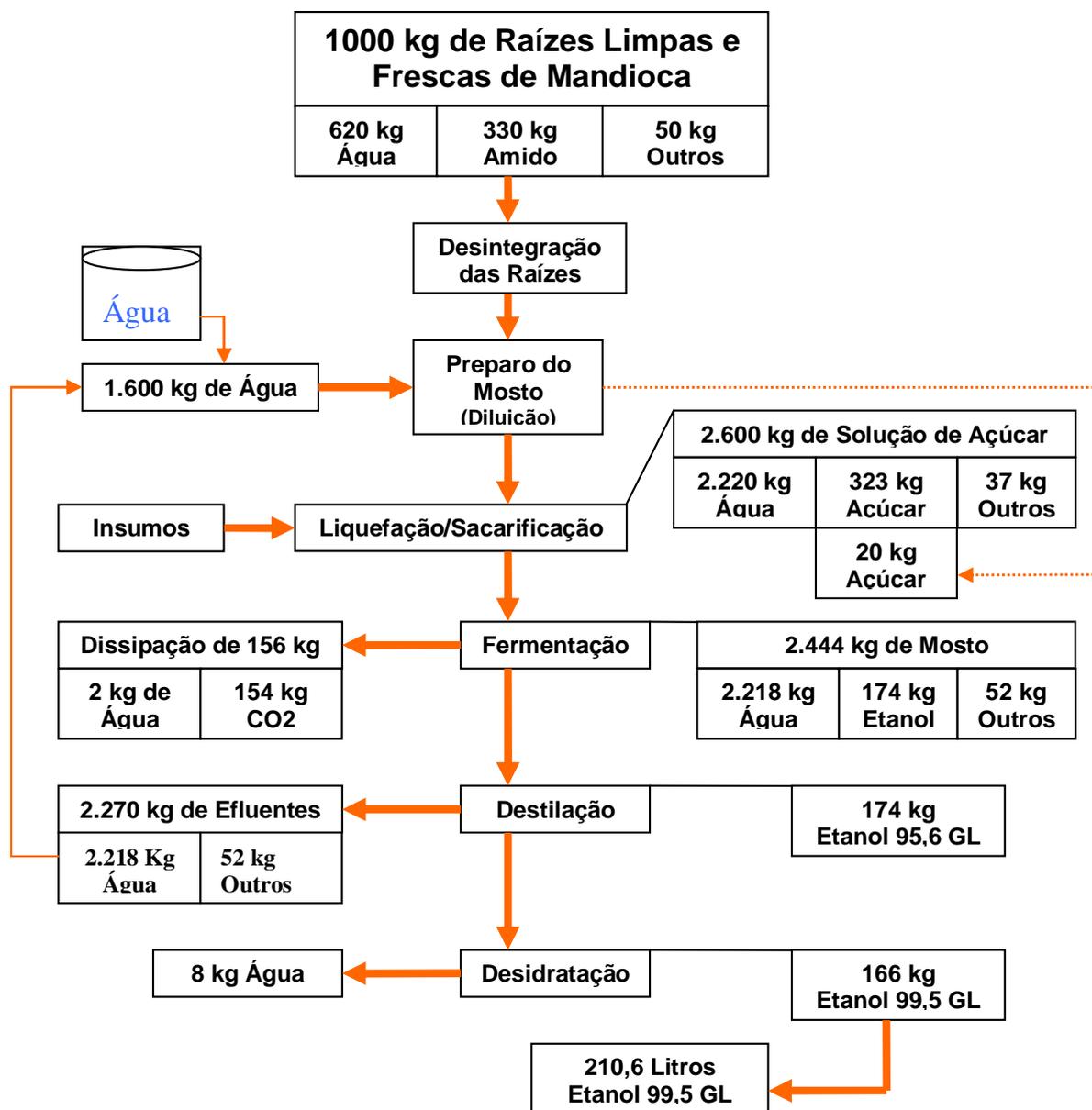
Utilizou-se como inóculo inicial a Levedura Y905 na proporção de 25 g para cada litro de mosto, com 13,2 % de glicose. Os tratamentos posteriores foram conduzidos a partir do pé de cuba formado. Para monitorar as concentrações das leveduras foram feitas verificações periódicas em câmara Neubauer, utilizando-se o sistema para análise de imagens com campos de luz polarizada, camara de vídeo, software tratamento, microscópio binocular e demais acessórios.

Os experimentos fermentativos foram conduzidos em planta piloto desenvolvida pelo Centro de Raízes e Amidos Tropicais – CERAT/Unesp, que é composta de dois (2) reatores, fixados em uma bancada, com capacidade individual de 4,5 litros, dos quais 0,35 litros podem ser mantidos como pé de cuba na parte inferior. Os reatores são dotados de um sistema de aquecimento e/ou arrefecimento do tipo encamisado, sem agitação e sem contato com o mosto, sendo alimentados por um conjunto de condutores (mangueiras), através dos quais circula água em temperatura controlada.

A determinação da quantidade de água necessária à diluição da massa, originada pela desintegração das raízes de mandioca, foi realizada por tentativas e ajustes, de modo a produzir um substrato de diluição mínima, a permitir um bom cozimento ou hidrólise do amido e máxima, a não comprometer os custos energéticos necessários para realizar a sacarificação. O balanço de massa do CO₂ liberado durante o processo de fermentação foi determinado pela diferença entre um mol da massa atômica do amido e um mol da massa atômica do etanol produzido, descontados de uma estimativa de carbono provavelmente imobilizado durante a multiplicação das leveduras. O balanço de massa dos efluentes gerados foi determinado por coleta e medida direta dos resíduos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Balanços de massa do Etanol, Água, CO₂ e Efluentes no processamento industrial da mandioca para produção de etanol



Através dos diferentes experimentos realizados, determinou-se que a quantidade mínima de água necessária para bom funcionamento dos processos de sacarificação, agitação sem esforço dos reatores e facilitação da circulação do vinho pelo interior da coluna de destilação é de 1,6 litros de água para cada quilograma de massa gerada pela desintegração das raízes ($1,6 \text{ kg H}_2\text{O} \times \text{kg de massa}^{-1}$). A água adicionada para fazer a diluição da massa ralada, somada àquela contida naturalmente nos tecidos das raízes de mandioca (62%) produziu efluentes na ordem de 2,27 kg para cada quilograma de raízes

desintegradas (2,27 kg efluentes x kg de massa⁻¹). Para cada quilograma de massa produzida pela desintegração das raízes de mandioca foram obtidas 166 gramas de etanol, 99,5 GL (166g etanol x kg de massa⁻¹). Durante o processo de fermentação de um quilograma de raízes desintegradas de mandioca foram gerados 154 gramas de CO₂ (154g CO₂ x kg de massa⁻¹). Houve também uma perda de H₂O por dissipação que é provocada pelo borbulhamento do CO₂ durante o processo de fermentação. Essas perdas foram na ordem de 0,002% (2 L de H₂O x 1000 kg de massa⁻¹).

CONCLUSÕES

Os balanços de massa de H₂O, de CO₂, de efluentes e de etanol determinados durante o processamento industrial de 1000 kg de raízes limpas e frescas de mandioca, conforme fluxograma apresentado, informam a quantidade e o modo pelo qual os recursos naturais são consumidos durante o processo de obtenção do etanol, bem como o volume de resíduos gerados. A obtenção desses novos parâmetros ajuda a dimensionar os ajustes a serem feitos para melhorar o aproveitamento da água e para outros destinos que podem ser dados aos efluentes gerados, reduzindo cada vez mais os impactos sobre os recursos naturais e o meio ambiente.

De modo geral, os resultados apresentados sinalizam que a mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) deixou de ser um recurso amiláceo promissor na produção de etanol e tornou-se uma realidade incontestável na produção de energia limpa ou de reduzido impacto ambiental. Diante de novos parâmetros gerados pela ciência, somados à inserção étnico-social dessa matéria-prima amilácea no território brasileiro, estarão sendo dadas as premissas iniciais de suporte e de credenciamento científico ao desenvolvimento de destilarias que venham atender as demandas energéticas nas diferentes regiões do país.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LIMA, U. de A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W.; SCHMIDELL, W. (Coord). **Biotecnologia Industrial – Processos fermentativos e enzimáticos**. Sao Paulo: EDGARD BLUCHER LTDA, 2001, 593p.

MOURA, R. A. Técnicas de Laboratório. São Paulo: ATHENEU LTDA, 1982, 822p.