



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO
Programa de Pós-Graduação em Agroenergia**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, POTENCIAL DE USO E ASPECTOS
POLUENTES DE TRÊS CULTIVARES DE BATATA-DOCE ANTES E APÓS A
FERMENTAÇÃO ETÍLICA**

WALLACE ANISZEWSKI TÁVORA E SILVA

**Palmas – TO
2015**

Wallace Aniszewski Távora e Silva

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, POTENCIAL DE USO E ASPECTOS
POLUENTES DE TRÊS CULTIVARES DE BATATA-DOCE ANTES E APÓS A
FERMENTAÇÃO ETÍLICA**

Orientadora:

Prof^ª. Dra. Flavia Lucila Tonani

**Dissertação apresentada para obtenção do
título de Mestre em Agroenergia**

**Palmas – TO
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- S586c Silva, Wallace Aniszewski Távora e .
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, POTENCIAL DE USO E ASPECTOS
POLUENTES DE TRÊS CULTIVARES DE BATATA-DOCE ANTES E APOS
A FERMENTAÇÃO ETILICA. / Wallace Aniszewski Távora e Silva. –
Palmas, TO, 2015.
56 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em
Agroenergia, 2015.
Orientadora : Flavia Lucila Tonani

1. Reaproveitamento, . 2. Cadeia produtiva, . 3. Biocombustíveis. . 4.
Agroenergia. I. Título

CDD 333.7

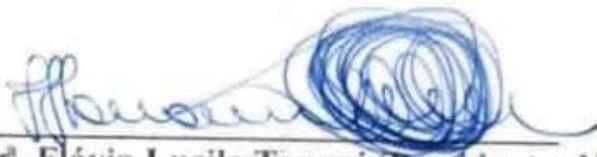
TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

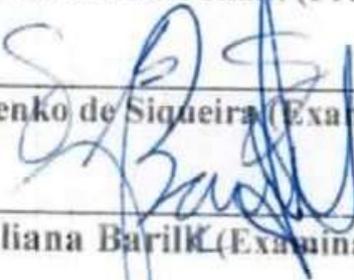
Wallace Aniszewski Távora e Silva

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, POTENCIAL DE USO E ASPECTOS
POLUENTES DE TRÊS CULTIVARES DE BATATA-DOCE ANTES E APÓS A
FERMENTAÇÃO ETÍLICA**

APROVADA EM 05/10/2015



Prof.^ª. Dr.^ª. Flávia Lucila Tonani (Presidente- UFT)



Prof. Dr. Guilherme Benko de Siqueira (Examinador Interno - UFT)

Prof.^ª. Dr.^ª. Juliana Barilk (Examinador Externo)

Dedico

Aos meus amados pais Marcus e
Stela e pais de coração Uziel e
Ludimila; aos meus queridos irmãos
Yuri, Hailla, Yago, Kaio e Pietro e;
à minha amada mulher Rayane.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus antes de tudo.

À Universidade Federal do Tocantins pela oportunidade de estudo.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de estudos durante o curso.

À minha orientadora Professora dra. Flávia Lucila Tonani, pela paciência, ensinamentos e compreensão. Obrigado professora.

Ao meu amigo Domingos que colaborou de maneira ímpar para as coletas de dados deste trabalho.

À todos professores e colaboradores do Programa de Mestrado em Agroenergia da UFT, que contribuíram com suas experiências para esse trabalho.

Aos meus grandes amigos que me apoiaram e compartilharam momentos bons e ruins durante o mestrado, o Eng^o Murilo Marcolini e Eng^o Hider Cordeiro.

Aos amigos de luta Valtercris Rodrigues, Izabella Downar, Daphynni Carolinne, Ygor Freitas, Lázaro Cruz, César Filho, Caio, Iagos, Renê Araújo e meu grande amigo Robeylton Ichii.

À toda minha família que sempre me incentivou nos estudos, em especial a meus avós paternos e maternos, minhas tias Vera Lúcia e Kátia, meus tios Aloísio e Cláudio, aos meus pais Marcus Vinícius e Stela Regina por possibilitarem fazer com que eu chegasse até aqui.

Aos meus pais, que nunca deixaram que eu desistisse de meus sonhos.

Aos meus irmãos, Yuri, Hailla, Yago, Kaio e Pietro; e minha cunhada Dayse.

A minha amada mulher Rayane Alves Aniszewski, futura Advogada, pelo apoio e estímulo gerado para execução desse trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram no desenvolvimento deste trabalho que foi tão difícil e que me trouxe amadurecimento profissional e pessoal.

O temor do Senhor é o princípio da sabedoria; Todos os que cumprem os seus preceitos revelam bom senso. Ele será louvado para sempre! Salmo 111:10

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| LISTA DE FIGURAS | ix |
| LISTA DE TABELAS | x |
| CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA..... | 1 |
| RESUMO | 1 |
| ABSTRACT | 1 |
| 1. INTRODUÇÃO GERAL..... | 2 |
| 2. REFERENCIAL TEÓRICO | 4 |
| 2.1. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS..... | 4 |
| 2.2. A PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA-DOCE..... | 5 |
| 2.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BATATA-DOCE..... | 7 |
| 2.3.1. A cultura da batata-doce | 7 |
| 2.3.2. Composição química da batata-doce | 10 |
| 2.3.3. A batata-doce como fonte de biomassa para a produção de etanol | 12 |
| 2.3.4. Processo enzimático utilizado na produção de etanol | 15 |
| 2.4. RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE ETANOL DA BATATA-DOCE | 18 |
| 2.4.1. Características químicas do resíduo | 18 |
| 2.4.2. Possibilidades para a utilização do Resíduo da Fermentação Etílica da Batata-Doce | 19 |
| 2.4.3. Potencial poluidor do resíduo da fermentação etílica da batata-doce | 21 |
| 3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 22 |
| CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, POTENCIAL DE USO E ASPECTOS POLUENTES DE TRÊS CULTIVARES DE BATATA-DOCE ANTES E APÓS A FERMENTAÇÃO ETÍLICA | 30 |
| RESUMO | 30 |
| ABSTRACT | 30 |
| 1. INTRODUÇÃO | 31 |
| 2. MATERIAL E MÉTODO | 33 |
| 2.1. Local | 33 |
| 2.2. Abordagem metodológica | 33 |
| 2.3. Material avaliado | 33 |
| 2.4. Processo enzimático de obtenção do etanol | 34 |
| 2.5. Rendimento e composição química do RBD | 35 |
| 2.6. Classificação Química e Bromatológica do Resíduo da fermentação etílica da Batata-Doce... 35 | |
| 2.7. Identificação do Potencial poluidor do Resíduo da Fermentação Etílica da Batata-Doce | 36 |
| 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO | 36 |
| 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 43 |
| 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 44 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Passos para determinação analítica dos nutrientes em laboratório. | 10 |
| Figura 2 - Esquema do processo de produção de etanol utilizando raízes de batata-doce como matéria prima. | 16 |
| Figura 3 – Fluxograma do processo de obtenção do etanol a partir da batata-doce..... | 17 |
| Figura 4 – Classificação dos alimentos | 35 |
| Figura 5 - Concentração média de PB, FB, ENN e MM (%MS) da batata-doce e dos resíduos gerados após a fermentação etílica..... | 40 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Percentual de resíduos gerados por culturas agrícolas permanentes e temporárias. | 5 |
| Tabela 2: Composição química e bromatológica de batata-doce crua. | 11 |
| Tabela 3 - Cultivares de batata-doce selecionados e avaliados para produção de etanol nas condições do Estado do Tocantins - Universidade Federal do Tocantins – UFT (1997-2007). | 13 |
| Tabela 4 – Composição centesimal dos resíduos bromatológicos da batata-doce | 18 |
| Tabela 5 – Composição química do RBD após fermentação etílica | 19 |
| Tabela 6 - Composição bromatológica de diferentes cultivares de batata-doce utilizados na obtenção de etanol | 36 |
| Tabela 7 - Rendimento (t/t) e teor de matéria seca (%) do resíduo produzido de três cultivares de batata-doce após fermentação etílica..... | 37 |
| Tabela 8 - Composição bromatológica de resíduos gerado da fermentação etílica de diferentes cultivares para a obtenção de etanol | 38 |
| Tabela 9 - Composição química do resíduo de cultivares de batata-doce gerados após a fermentação etílica para a obtenção de etanol | 42 |

CAPÍTULO I – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

RESUMO

A possibilidade de se utilizar os resíduos agroindustriais para fins que agreguem valor a sua cadeia produtiva pode ser um fator determinante para a viabilidade econômica e industrial da atividade. Portanto, neste trabalho foi avaliado a composição química do resíduo da Batata doce (RDB) antes e após a fermentação visando identificar suas potencialidades de uso e os aspectos poluentes. Com base na composição química do RBD conclui-se que trata-se de um resíduo sólido que não pode ser lançado diretamente em corpos hídricos mas que possui potencialidades para fertirrigação com o uso *in natura* e pode ser classificado como fonte de alimento concentrado proteico rico macro e micro minerais, havendo, no entanto, a necessidade de secagem para que este seja utilizado na alimentação animal.

Palavras chave: reaproveitamento, cadeia produtiva, biocombustíveis.

ABSTRACT

The possibility of using agro-industrial waste for purposes that add value to your supply chain can be a determining factor in the economic and industrial viability of the activity. Therefore, this study evaluated the chemical composition before and after fermentation of sweet potato residue (SPR) to identify their potential use and polluting potential. Based on the chemical composition of the SPR, we conclude that it is a solid residue which can not be released directly into water bodies but has the potential to fertigation when used fresh (*in natura*) and can be consider as a source of protein and macro and micro minerals, having, however, to be drying before utilization on animal feed plans.

Keywords: reuse, productive chain, biofuels.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), uma planta amplamente utilizada na alimentação humana e de animais domésticos vem proporcionando grandes perspectivas para a área agroenergética, principalmente porque esta planta sintetiza grandes quantidades de amido passíveis de serem convertidos em etanol. Seu fácil cultivo e baixas exigências de fertilidade do solo se configuram atualmente, como forma de inclusão do agricultor familiar na produção de biocombustíveis (SILVEIRA et al., 2008; PAVLAK et al., 2011; SOUZA, 2000).

O cultivo da batata-doce é uma prática que ocorre há mais de dez mil anos. Este vegetal tem como seu provável centro de origem a América do Sul ou América Central, estendendo-se desde a Península de Yucatam, no México, até a Colômbia (NELSON & ELEVITCH, 2011).

Com a crescente busca por alternativas alimentares e fontes renováveis de energia, o cultivo da batata-doce tem crescido de forma significativa, ganhando grande destaque nas últimas décadas (ISLAM, 2006), principalmente por apresentar alto valor nutritivo, sendo boa fonte de carboidratos, vitaminas, cálcio, ferro, e outros minerais (LERNER, 2001).

Apesar de sua importância, são poucos os trabalhos de pesquisas visando selecionar e recomendar cultivares de batata-doce para diferentes regiões do país. Sabe-se que tanto a introdução quanto a obtenção de cultivares, de qualquer espécie cultivada, constitui um trabalho contínuo e dinâmico, pois as novas cultivares selecionadas permanecem em uso durante alguns anos, para serem substituídas por outras superiores (SILVA & LOPES, 1995).

A preferência de consumo de *I. batatas* concentra-se nas raízes, a parte aérea, é na maioria das vezes, descartada ou fornecida como alimento para animais. Entretanto, em algumas partes do mundo há populações que utilizam suas folhas da mesma forma que se consome outras hortaliças (WOOLFE, 1992; SONG et al., 2011), fato que tem motivado a investigação dos constituintes químicos da referida parte vegetativa (MIYAZAKI et al., 2005; ISLAM, 2009).

Entre os processos agroindústrias que mais geram resíduos, destaca-se a produção de etanol, devido ao grande volume de vinhaça gerado com alta carga poluidora, podendo causar sérios problemas ambientais caso não sejam adotadas

medidas adequadas para o seu aproveitamento, tratamento ou destino final (MENEZES, 1980).

Silveira et al. (2008) demonstraram a potencialidade da batata-doce na produção de etanol, em condições experimentais obtiveram rendimento médio de etanol de 199 litros ha⁻¹. Também relataram que a produção de resíduo obtido correspondeu entre 20-25% do material original, sendo proveniente da fermentação dos carboidratos pelas leveduras e apresentou elevado teor de proteína bruta.

Devido o Resíduo da Batata-doce (RBD) ser predominantemente composto de água há importantes limitações para destinações e aplicações pós-processamento, o baixo teor de matéria seca pode inviabilizar processos industriais que dela façam uso, além de possuir elevado custo de armazenamento e transporte. Devido a isso, a destinação dada a esse resíduo é muitas vezes para atividades coparticipadas da indústria que a produz ou para atividades agrossilvipastoris localizadas no entorno da indústria. Além disso, após o processamento industrial com o passar do tempo o resíduo vai sendo alterado em suas propriedades bromatológicas e também sofre decomposição pela ação de microorganismos. Com isso não se pode garantir a qualidade do material para determinando fim e conseqüentemente há um aumento no risco de malefícios que sua destinação após estocagem prolongada poderá causar.

O conhecimento das quantidades geradas e as principais características físicas e químicas dos resíduos agroindustriais é fundamental para a concepção e o dimensionamento dos sistemas de tratamento ou reuso.

O aproveitamento de resíduos agroindustriais advindo do processamento de matérias primas de maior valor agregado tornou-se um gargalo em cadeias pouco produtivas ou que apresentem pouca informação em algumas de suas etapas, pois a utilização incorreta desses resíduos representa perda de nutrientes, aumento do potencial poluidor, que se associado à disposição inadequada, causam poluição do solo, corpos hídricos e lixiviação de compostos (ROSA et al., 2011).

A possibilidade de uso dos resíduos agroenergéticos e a agregação de valor as suas respectivas cadeias produtivas, pode ser um fator determinante para a viabilidade econômica da atividade. Portanto, aspectos como quantidade de resíduo gerado, composição químico-bromatológica, técnicas de armazenamento, transporte e estabilidade durante o armazenamento devem ser estudadas para orientar a aplicabilidade e desenvolvimento de processos tecnológicos para a destinação adequada do mesmo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS

A agroindústria tem se expandido cada vez mais para atender a crescente demanda populacional por alimentos. O Brasil, que economicamente é fortemente alicerçado no agronegócio, contribui para a geração de grande volume de resíduos agroindustriais que em muitas situações, representam um grave problema ambiental, pois aparentemente sem aplicação viável, são descartados diretamente no meio ambiente (QUEIROZ, 2009).

Segundo Demajorovic (1995) resíduos sólidos diferenciam-se do termo lixo porque, enquanto este último não possui nenhum tipo de valor, já que é aquilo que deve apenas ser descartado, os primeiros possuem valor econômico agregado, por possibilitarem reaproveitamento no próprio processo produtivo.

De acordo com Timofiecsyk e Pawlowsky (2000), o termo resíduo é utilizado em sentido amplo, englobando não somente sólidos como também os efluentes líquidos e os materiais presentes nas emissões atmosféricas.

O desenvolvimento e implementação de processos sustentáveis, capazes de converter biomassa em vários produtos com alto valor agregado, é uma necessidade absoluta para o aproveitamento dos resíduos agroindustriais brasileiros e redução do impacto ambiental associado ao descarte inadequado dos mesmos (SÁ; CAMMAROTA; FERREIRA-LEITÃO, 2014).

Em um mundo globalizado, onde parte significativa da população encontra sérias dificuldades diariamente para conseguir alimento, é inconcebível que uma atividade agroindustrial continue desperdiçando resíduos que potencialmente poderiam ser reutilizados para outros fins (MORETTI; MACHADO, 2006).

Bertoncini (2014) comenta que a pesquisa tem proporcionado avanços no uso de resíduos agroindustriais, porém, é emergente, contudo, que haja maior entrosamento entre o setor de pesquisa, órgãos ambientais e os setores produtivos, pois produzir bens e alimentos é necessário, contudo, produzir de forma sustentável deve ser a meta de toda a sociedade.

Assim como aconteceu na indústria, o desenvolvimento do agronegócio e a transformação dos alimentos levaram a geração de muitos resíduos, sendo que estes são

um dos principais problemas ambientais, não só no Brasil, mas no mundo (GIORDANO, 2000).

Segundo levantamento do IPEA (2012) com base em dados do IBGE (2010), foram feitas estimativas da quantidade dos resíduos da agroindústria brasileira produzidos por cada cultura agrícola e que foram estimados em termos percentuais considerando os estados mais atuantes na produção da referente cultura. Os resultados obtidos por este estudo foram sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Percentual de resíduos gerados por culturas agrícolas permanentes e temporárias.

| Cultura | Resíduos (%) |
|-----------------------------|---------------------|
| Culturas temporárias | |
| Soja | 73 |
| Milho | 58 |
| Cana-de-açúcar | 30 |
| Feijão | 31,30 |
| Arroz | 20 |
| Trigo | 60 |
| Culturas permanentes | |
| Café | 50 |
| Cacau | 38 |
| Banana | 50 |
| Laranja | 50 |
| Côco-da-baía | 60 |
| Uva | 40 |

Fonte: Adaptado de IPEA (2012)

Ao mesmo tempo que aumenta a produção de resíduos agroindustriais o cenário mundial força alterações na matriz energética de forma que as fontes de origens fósseis possam ser substituídas por fontes energéticas renováveis e menos poluentes. Neste contexto, os resíduos da agroindústria e os próprios produtos agrícolas representam grandes potenciais e podem trazer grandes contribuições para diversificação da matriz energética.

2.2. A PRODUÇÃO DE ETANOL DE BATATA-DOCE

A produção de etanol de batata-doce já é uma realidade em alguns estados do Brasil e de acordo com estudos realizados por Gonçalves Neto et al. (2011),

demonstram que genótipos selecionados considerados aptos para a finalidade de produção de etanol, apresentam potencial competitivo em comparação a cana-de-açúcar atingindo 7.078,40 L.ha⁻¹ a 15.484,00 L.ha⁻¹ corresponde a uma produtividade de raízes de 44,8 t.ha⁻¹ e 98,0 t.ha⁻¹ de produtividade de raízes, respectivamente. Silveira (2008) obteve resultados com base na produção de 170 L.t⁻¹ de raízes e possibilidade de obtenção de produtividade de raízes na ordem de 40 t.ha⁻¹ a 60 t.ha⁻¹.

Desde os anos 70 muitos pesquisadores já buscavam desenvolver combustível a partir da batata-doce. Os pioneiros brasileiros nessa iniciativa foram Araújo et al. (1978) que obtiveram uma produtividade de 158 L.t⁻¹ de raízes, porém, na época, a baixa produtividade era fator limitante. Atualmente, o rendimento médio de etanol para a cana-de-açúcar é de 7.500 L.ha⁻¹ (NOVA CANA, 2015) e a perspectiva é que se chegue a 13.000 L.ha⁻¹ com hidrólise do bagaço e palha da cana-de-açúcar (UNICA, 2008).

Além da alta produtividade, a batata-doce permite dois cortes anuais, é adaptada a condições adversas e ao contrário da cana de açúcar adapta-se bem tanto em grandes extensões produtivas quanto para a escala da agricultura familiar, sendo podendo representar uma oportunidade socioeconômica importante para as novas regiões de fronteira agrícola onde a participação da agricultora familiar é bastante expressiva. Outra aspecto a se considerar esta relacionado a possibilidade de produzir etanol de batata doce na entressafra da cana-de-açúcar.

A produção em maior escala já está sendo adotada nos estados do Tocantins, Mato Grosso e Paraná. No estado do Tocantins, recentemente foi instalada uma usina para produção de álcool de batata-doce com capacidade para produzir 3.000 l de etanol por dia, mas este não será o único produto, além do etanol, vão ser produzidas a glucose, álcool em gel e com o resíduo da fermentação etílica da batata-doce poderá se tornar uma fonte alternativa de nutrientes para animais. Contudo, é um programa que também pode produzir açúcar, farinha, amido, CO₂ e gás metano.

A produção de etanol em Mato Grosso poderá aumentar em quase 60%, com a obtenção de cerca de 510 mil litros, considerando apenas uma safra de batata-doce por ano. A estimativa é que em dois anos o Estado tenha condições de produzir em torno de 30 mil hectares de batata-doce (SILVA, 2013).

Os combustíveis provenientes da biomassa como o biodiesel e o álcool etílico constituem o foco das alternativas energéticas sustentáveis na atualidade (TÁVORA, 2010). A grande vantagem na utilização de produtos derivados da biomassa para fins energéticos é que essa matéria prima apresenta baixo valor agregado e é abundante na

natureza (BEVILAQUA, 2010), questão essa que poderá ser fortalecida cada vez mais com o desenvolvimento científico e tecnológico na investigação e aplicação dos seus diversos produtos agregados (KAMM ET al, 2006).

A batata-doce apresenta uma produção de biomassa elevada, isso associado à rusticidade da cultura, seu plantio é adequado como alternativa agrícola para a cultura familiar. Resultados preliminares têm demonstrado que um hectare de raiz de batata-doce rende de 30 a 40 toneladas de biomassa, enquanto uma tonelada de cana-de-açúcar gera em torno de 80 litros de álcool, a mesma quantidade de batata-doce pode gerar mais de 130 litros do combustível (SILVEIRA et al, 2008; CASTRO & EMYGDIO, 2009).

2.3. CARACTERÍSTICAS GERAIS DA BATATA-DOCE

2.3.1. A cultura da batata-doce

Dentre as biomassas com potencial para produção de biocombustível no Brasil temos a batata-doce uma angiosperma dicotiledônea, pertencente à família Convolvulaceae e da ordem das Salanales (WOOLFE, 1992; HAND & COCKERHAM, 1921; HUAMAM, 1992), que é uma grande família vegetal, abrangendo cerca de 55 gêneros e mais de 1900 espécies encontradas em regiões tropicais e subtropicais do planeta (JUDD et al., 1999). Em relação as plantas do gênero *Ipomoea* L., que conta com cerca de 600 espécies, são as mais representativas (SIMÃO-BIANCHINI, 1998).

A espécie *I. batatas* é composta por vegetais perenes com morfologias diversificadas. A parte aérea da planta é formada por um caule herbáceo rastejante prostrado do tipo estolho, com nós e entrenós bem definidos, que pode se dispor na horizontal rente ao solo, ou na vertical com crescimento ereto e semi-ereto, apresentando hastes longas em algumas variedades, ou ramos pouco desenvolvidos em outras. Das regiões nodais do caule partem ramos foliares, sustentadas por um pecíolo pubescente com 5 a 30 centímetros de comprimento (NELSON; ELEVITCH, 1992).

Ainda segundo Nelson e Elevitch (1992), estes ramos foliares podem apresentar coloração que varia de verde a roxo e formato que pode variar de arredondado, reniforme, cordado, triangular, hastado, lobado a secto. Na planta adulta, alguns ramos podem ainda conter flores de colorações lilás ou arroxeadas presas através de um longo pedúnculo. Tais flores são hermafroditas, mas de fecundação cruzada, devido à sua

autoincompatibilidade, que por meio de polinizadores produz pequenos frutos secos deiscentes, com poucas sementes, mesmo em boas condições ambientais.

Nas regiões dos ramos de *I. batatas* que entram em contato com o solo, desenvolvem-se subterraneamente estruturas radiculares com diferentes formatos e cor, que pode variar de acordo com a cultivar, ou em decorrência das condições de solo. Com base no papel que desenvolvem na planta, as raízes de *I. batatas* podem ser classificadas em dois tipos fundamentais, raízes de absorção e raízes de reserva. As raízes de absorção são as responsáveis pela nutrição e suporte da planta, enquanto que as raízes de reserva representam a parte de maior interesse na agricultura, por apresentar grande capacidade no armazenamento de substâncias nutritivas, principalmente carboidratos, destacando-se mais o amido (HUAMAM, 1992).

As raízes de reserva de *I. batatas* pode adquirir diversas variações morfológicas, desde o formato até a coloração da película externa e polpa. Seu formato pode ser redondo, oblongo, fusiforme ou alongado e ainda podem apresentar veias, dobras e possuir pele lisa ou rugosa. Estas se dispõem na planta de forma dispersa ou formando agrupamentos abertos (HUAMAM, 1992). A película externa pode ser branca rosada ou avermelhada e a polpa geralmente é de cor branca, amarela ou creme (SILVEIRA et. al., 2008), ainda segundo Huamam (1992) é dotada de um látex proveniente da medula central do parênquima, que pode variar em concentração dependendo do desenvolvimento da planta e das condições ambientais.

Ainda segundo Huaman (1992), a classificação sistemática da batata-doce se resume em:

Família: Convolvulaceae

Tribo: Ipomoeae

Gênero: Ipomoea

Sub-gênero: Quamoclit

Secção: Batatas

Espécie: *Ipomoea batatas* (L.) Lam

O cultivo da batata-doce é uma prática que ocorre há séculos. Este vegetal tem como seu provável centro de origem a América do Sul ou América Central, estendendo-se desde a Península de Yucatam, no México, até a Colômbia (NELSON; ELEVITCH, 2011).

Tradicionalmente seu cultivo é realizado em conjunto com diversas outras culturas e é exercido de forma empírica por famílias rurais, visando a alimentação

humana e de animais domésticos (SILVA et al., 2006). Apresenta boa produtividade em regiões com 750 a 1000 mm anuais de chuva, com cerca de 500 a 600 mm bem distribuídos durante os cinco meses de ciclo da cultura (MIRANDA et al., 1987). O potencial de produção da batata-doce é enorme. Vários autores relatam diferentes produtividades para a cultura, geralmente variando entre 10 e 30 t ha⁻¹ (MIRANDA et al., 1987; CAMARGO, 1962). A batata-doce é cultivada em todas as regiões do Brasil.

O Brasil é o 18º maior produtor mundial de batata-doce, com uma produção anual em 2013 de 505.350 t, obtida em uma área plantada de 39.393 ha (FAO, 2012; IBGE, 2013). Embora o Nordeste apresente a maior área plantada, com 40,2% seu rendimento médio de 9,43 t.ha⁻¹ é baixo quando comparado com o da região Sul, com uma produtividade média de 14,35 t.ha⁻¹, que representa 44,98% da produção nacional, obtida em uma área plantada de 15.835 ha. Já as regiões Sudeste, Centro-Oeste e Norte, apresentam, respectivamente, rendimentos médios por área do país, com 17,39 t.ha⁻¹, 31,53 t.ha⁻¹ e 12,46 t.ha⁻¹ de acordo com dados do IBGE (2013).

Apesar de ser uma planta perene a *I. batatas* é muito cultivada como cultura anual, por meio de propagação vegetativa com raízes ou estacas (HUAMAM, 1992). Entre os fatores que influenciam no desenvolvimento das plantas de *I. batatas* estão as condições do solo como fertilidade, textura e condições de drenagem. Tal fator é observado por diversos autores, para citar alguns temos Rós; Filho e Barbosa (2014), Silveira et al. (2014), Silva; Lopes e Magalhães (2004) e Malavolta (1987).

Em contrapartida Hand e Cockerham (1921) relatam que a baixa fertilidade do solo às vezes pode ser compensada por uma boa textura do mesmo podendo, em solos bem drenados, apresentar excelente desenvolvimento, mesmo em solos pobres. Já a importância do potássio para culturas amiláceas, segundo Malavolta (2006), está no fato que este composto está envolvido na síntese de proteínas e sua deficiência provoca aumento do teor de carboidratos solúveis e decréscimo no conteúdo de amido e acúmulo de nitrogênio solúvel.

A utilização do nitrogênio merece atenção especial, pois seu excesso causa crescimento desordenado da parte aérea, em detrimento da formação de raízes tuberosas (Chaves; Pereira, 1995). Portanto, o ideal é acompanhar o crescimento da cultura e aplicar o nitrogênio na época certa e em quantidade adequada (Silva et al., 2006).

Outro fator a ser considerado na cultura da *I. batatas* é a questão do fotoperíodo, pois segundo Nelson e Elevitch (2011), o comprimento de dia curto estimula desenvolvimento de raiz, enquanto que comprimento de dia longo estimula

desenvolvimento de broto. Consequentemente, durante o período de cultivo em que a temperatura do ar é mais alta e o comprimento de dias mais longos, a colheita pode ser realizada com 4 a 5 meses após o plantio. Em locais mais frescos ou em estações de comprimento de dia mais curto, as plantas só estarão prontas a partir de 5 a 6 meses de plantio. No entanto, a influência das condições de solo e clima sobre *I. batatas* podem também variar de uma cultivar para outra.

2.3.2. Composição química da batata-doce

A análise química dos tecidos vegetais, refere-se às operações efetuadas no laboratório e compreende a destruição da matéria orgânica e quantificação dos elementos químicos que a compõem. A Figura 1 resume os passos que a amostra percorre no laboratório para essas determinações analíticas. A descrição detalhada das metodologias utilizadas na análise química não é objetivo desse trabalho e podem ser encontradas em diversas literaturas, citando-se algumas (MALAVOLTA et al, 1997; SILVA, 1999; BATAGLIA et al, 1983).

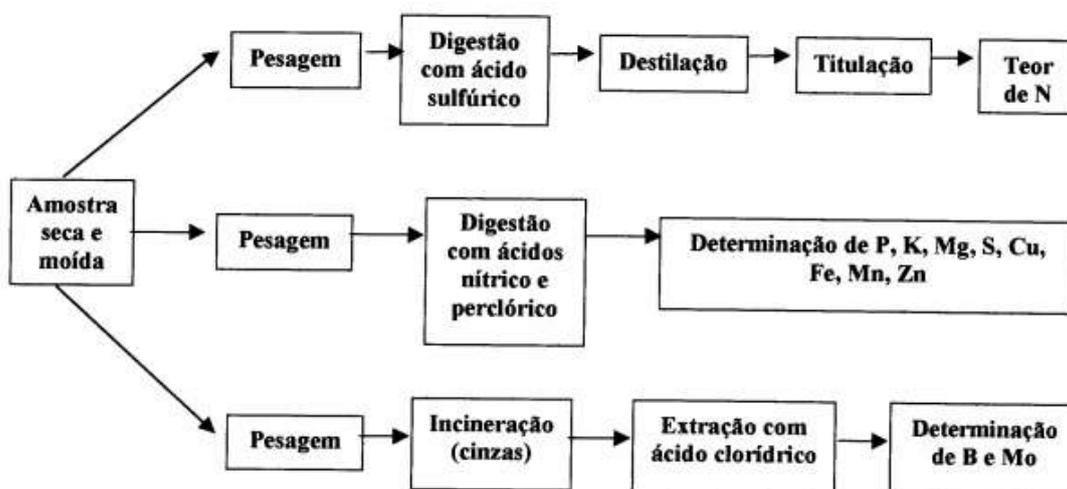


Figura 1 – Passos para determinação analítica dos nutrientes em laboratório. Fonte: Faquin (2002).

Destaca-se que a pesagem das sub-amostras recomendadas na metodologia para as análises químicas, deve ser precedida de uma nova secagem e homogeneização cuidadosa da amostra. Isso se justifica para que toda a umidade eventualmente adquirida pela amostra durante o armazenamento seja suprimida e, também, para uniformização

das partículas finas e grossas, principalmente quando as plantas possuem materiais fibrosos e não fibrosos (FAQUIN, 2002).

As determinações dos teores de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra bruta (FB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), pH, podem ser realizadas de acordo com os métodos descritos pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC) e pelo Instituto Adolfo Lutz (AOAC, 1995; IAL, 2005).

O teor de matéria seca é determinado com a determinação da primeira matéria seca (65° C por 48h) e posterior secagem a 105° C por 4 horas, conforme Silva e Queiroz (2002). A concentração de proteína bruta pode ser determinada pela quantificação de nitrogênio total da amostra, utilizando-se o destilador Kjeldhal de acordo com o método do Instituto Adolfo Lutz, sendo que o teor de nitrogênio é convertido em teor de proteína multiplicando-se o valor encontrado pelo fator 6,25 (AOAC, 1995; IAL, 2005).

Com base na Tabela 2 pode ser observado uma comparação de composições químicas e bromatológicas de diferentes pesquisadores que mostram que a batata-doce não é apenas rica em carboidratos, apresentando também proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerais como cálcio, fósforo e potássio, apresentando-se como uma matéria-prima rica em nutrientes, contudo possui uma grande quantidade de água.

Tabela 2: Composição química e bromatológica de batata-doce crua.

| Composição | Batata-doce <i>Ipomoea batatas</i> (EPM, 2014) | Batata-doce amarela (Luengo et. al, 2011) | Batata-doce <i>Ipomoea batatas</i> (Bradbury, 1998 apud Cortez, 2010) |
|---|---|--|--|
| Umidade (%) | 77,28 | 72,84 | 71,10 |
| Matéria seca (g) | - | 234,20 | - |
| Calorias (kcal) | 86 | 125,5 | 104,61 |
| Fibras digeríveis (%) | 3 | 1,10 | 1,64 |
| Proteína (%) | 1,57 | - | 1,43 |
| Amido (%) | 12,65 | - | 20,1 |
| Açúcar (%) | 4,18 | - | 2,38 |
| Minerais (mg 100 g⁻¹) | | | |
| Potássio | 337 | 204 | 260 |
| Sódio | 55 | 36,60* | 52 |
| Fósforo | 47 | - | 51 |
| Enxofre | - | - | 13 |
| Magnésio | 25 | 10 | 26 |
| Zinco | 0,30 | 0,28 | 0,59 |
| Manganês | 0,26 | - | 0,11 |
| Cobre | - | 0,17 | 0,17 |

| Cálcio | 30 | 43 | 29 |
|---|------|------|------|
| Ferro | 0,61 | 2,40 | 0,49 |
| Boro | - | - | 0,10 |
| Vitaminas ($\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$) | | | |
| Vitamina A – Ácido retinóico | 709 | 300 | 11 |
| Vitamina B1 - Tiamina | 78 | 110 | 86 |
| Vitamina B2 - Riboflavina | 61 | 40 | 31 |
| Vitamina C - Ácido ascórbico | 2400 | 31 | 24 |
| Vitamina B3 – Ácido nicotínico | - | 0,80 | 0,60 |

Fonte: Adaptado de EPM (2014); Luengo et. al, 2011 e Bradbury (1998) apud Cortez et al, (2010). * Teor para batata-doce roxa.

Segundo Miranda et al., (1989), os brotos de batata-doce, são usados em alguns países para a alimentação humana. O seu conteúdo de vitamina A e vitamina C, por 100g, alcançam respectivamente 5.580 UI e 41 mg nos últimos 15 cm das ramas (com as folhas). O seu teor proteico é mais alto que o das raízes, chegando a 2,7% com base no material contendo 86,1% de umidade.

2.3.3. A batata-doce como fonte de biomassa para a produção de etanol

Com a crescente busca por alternativas alimentares e fontes renováveis de energia, o cultivo da batata-doce tem crescido de forma significativa, ganhando grande destaque nas últimas décadas (ISLAM, 2006), isto tem sido fortalecido cada vez mais com crescentes descobertas a respeito de seu potencial nutricional e benefícios para a saúde humana (ISLAM, 2009).

Biomassa é constituída principalmente pela matéria orgânica embora apresente uma fração mineral em sua composição. São principalmente os resíduos de plantas. No campo da energia, o termo biomassa é usado para descrever todas as formas de plantas e derivados que podem ser convertidos em energia utilizável como, madeira, resíduos urbanos e florestais, grãos, talos, óleos vegetais e lodo de tratamento biológico de efluentes. A energia extraída da biomassa é também conhecida como "energia verde" ou "bioenergia" (BOA NOVA, 1985).

A batata-doce vem sendo uma importante fonte de biomassa para produção de etanol com cultivares geneticamente selecionados, apontada como uma das melhores fontes de obtenção de etanol e está associada a um baixo custo de produção (MAGALHÃES, 2007; MOMENTÉ et al, 2004) o que beneficia tanto pequenos produtores quanto grandes latifundiários.

O Brasil apresenta características adequadas à produção de biomassa para fins energéticos, devido sua base econômica ser voltada para a atividade agrícola, além de se destacar mundialmente como precursor desta tecnologia. Segundo Leal et al. (2010) apud Cortez et al. (2010), apesar do seu potencial como matéria-prima alternativa para a produção de energia, existem poucos trabalhos de pesquisa com a cultura da batata-doce, uma vez que a maioria dos programas de melhoramento e seleção de genótipos visa, geralmente, características de aceitação comercial como aspecto visual e estético. Contudo, é importante que seja fortalecido o conceito de cultura alternativa para produção de etanol, tendo assim os melhoramentos e as seleções de clones de batata-doce voltados na obtenção de genótipos de alta produtividade de raízes e com alto teor de amido e não apenas voltado para obter melhores aspectos visuais.

O trabalho realizado por Silveira et al. (2008) na Universidade Federal do Tocantins – UFT teve com objetivo produzir variedades de batata-doce para produção de etanol através de técnicas de melhoramento genético com cultivares já naturais e utilizados no estado do Tocantins, onde conseguiram obter variedades de batata-doce com excelente produção de amido e adaptação ao solo e clima da região, mas que apresentaram diferentes tempos de maturidades entre as mesmas, como mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Cultivares de batata-doce selecionados e avaliados para produção de etanol nas condições do Estado do Tocantins - Universidade Federal do Tocantins – UFT (1997-2007).

| Cultivares | Amido % | Etanol L/t | Etanol L/ha | Ciclo/mês | Casca | Polpa |
|------------|---------|------------|-------------|-----------|--------|--------|
| Duda | 24,4 | 161,04 | 10467,00 | 6 – 7 | Roxa | Branca |
| Amanda* | 21,4 | 141,24 | 6595,00 | 4 – 5 | Branca | Creme |
| Ana Clara | 23,4 | 154,44 | 7057,90 | 6 | Rosada | Creme |
| Beatriz* | 26,2 | 172,92 | 7435,56 | 6 | Branca | Creme |
| Julia | 24,6 | 162,36 | 6585,32 | 4 – 5 | Branca | Branca |
| Bárbara* | 23,2 | 153,12 | 5772,62 | 6 – 7 | Roxa | Creme |
| Izabela | 18,8 | 124,08 | 4615,77 | 4 – 5 | Branca | Creme |
| Marcela | 22,2 | 146,52 | 5391,93 | 6 | Rosada | Creme |
| Lívia | 25,1 | 165,66 | 6030,02 | 6 | Rosada | Creme |
| Carolina | 30,2 | 199,32 | 6412,12 | 6 – 7 | Roxa | Branca |

Fonte: Silveira et al., 2008

* As três cultivares exploradas neste estudo.

Ainda segundo Silveira (2008), os cultivares que se destacaram foram a Duda (65,5 t.ha⁻¹ de raízes, 40,4% de matéria seca e 24,4% de amido), Beatriz (43 t.ha⁻¹ de

raízes, 33,2% de matéria seca e 26,2% de amido), Ana Clara (45,7 t.ha⁻¹ de raízes 35,4% de matéria seca e 23,4% de amido), Amanda (46,7 t.ha⁻¹ de raízes, 32,4% de matéria seca e 21,4% de amido) e Julia (40,6 t.ha⁻¹ de raízes, 37,4% de matéria seca e 24,6% de amido).

Segundo Fabri (2009), como a batata-doce pode ter fins múltiplos, torna-se necessário desenvolver e selecionar cultivares específicos para cada finalidade, e incorporando nestas as principais características agrícolas desejáveis.

Dentre os cultivares obtidos por Silveira et al. (2008), pode-se destacar os seguintes cultivares:

AMANDA é uma cultivar com película externa branca e polpa creme. Apresenta polpa com baixo teor de fibras e moderada resistência aos insetos de solo. O formato das raízes é alongado, oval, redonda, desuniforme. Por ser uma cultivar apropriada para indústria, apresenta raízes graúdas, com pesos superiores a 500g. É uma cultivar de ciclo precoce, muito produtiva, podendo ser colhida a partir dos 120 dias até os 150 dias. A produtividade média obtida, no Tocantins, em ciclo de 5 meses foi de 46,7 t.ha⁻¹, com 32,35% MS. Os rendimentos obtidos com esta cultivar são de 141,24 L.t⁻¹ de etanol de raiz, o que pode conferir uma produtividade de 6.595 L.ha⁻¹ de etanol.

BÁRBARA é uma cultivar de película externa roxa, polpa creme, com formato variável, que pode ser alongado, com aspecto fusiforme e redonda. A colheita deverá ocorrer 180 dias após o plantio, portanto é uma cultivar de ciclo tardio. Apresenta moderada resistência aos insetos de solo. A produtividade verificada durante os cinco anos de ensaios, foi de 37,70 t.ha⁻¹, com 33,23% MS o que lhe confere uma produção de 153,12 L.t⁻¹ de etanol de raiz e 5.772,62 L.ha⁻¹ de etanol.

BEATRIZ é uma cultivar de película externa branca e de polpa creme. O formato das raízes é alongado, fusiforme e redondo. É uma cultivar de ciclo médio, devendo ser colhida até 180 dias. As produtividades obtidas nos últimos cinco anos foram de 43,00 t.ha⁻¹, com 33,24% MS. Os rendimentos para produtividade do cultivar foi 172,92 L.t⁻¹ de etanol de raiz, o que significa uma produção de 7.435,56 L.ha⁻¹ de etanol.

Pavlak et al. (2011) encontrou valores de produtividade entre 17.354 a 20.007 L.ha⁻¹ de etanol de batata-doce, enquanto Masiero (2012) demonstrou que a batata-doce possui um potencial para produção de etanol de 162 L.t⁻¹, comparando, inclusive, com a produtividade da cana que possui 97 l.t⁻¹ e da mandioca 194 L.t⁻¹. Além disso, o autor demonstrou que o custo de produção por litro de etanol da batata-doce é inferior ao da

cana e da mandioca. Contudo, no processamento essas duas matérias-primas apresentaram custos 40% superiores às outras matérias-primas devido a etapa de hidrólise do amido. Finalmente, no custo da produção agrícola a diferença é significativa em relação as outras fontes de biomassa.

2.3.4. Processo enzimático utilizado na produção de etanol

Na hidrólise por via enzimática é necessário a associação de dois tipos de enzimas específicas (CEREDA, 2005): a alfa-amilase, que diminui a viscosidade, e a glucoamilase, que transforma o amido liquefeito em açúcares de menor peso molecular (glicose). Para que a atuação enzimática seja mais eficiente, é realizado previamente o cozimento das raízes, para a gelatinização do amido, facilitando a ação das enzimas. A produção de etanol a partir da batata-doce, como fonte amilácea, com hidrólise do amido por via enzimática, segue uma linha industrial semelhante à fabricação de álcool de cereais.

O amido é um carboidrato formado por um polímero de glicoses com ligação tipo alfa-1,4 e alfa-1,6 e por isso pode ser transformado em suas unidades básicas de glicose, a qual poderá ser submetida a ação dos *Sacharomyces* (fermento alcóolico), produzindo o álcool etílico (MACEDO, 1993).

O amido é um polímero complexo, composto principalmente de amilose (polímero linear) e amilopectina (polímero ramificado). O polímero linear é fácil de ser rompido, mas a estrutura altamente ramificada da amilopectina é mais difícil de ser hidrolisada (CEREDA, 2005). Os amidos podem ser convertidos em açúcares (glucose) por via química (ácidos, calor e pressão) ou por via enzimática (MACEDO, 1993). O processo ácido é o mais simples, sendo uma das vantagens deste processo o pequeno tempo de sacarificação. Mas como desvantagem, têm-se os problemas de corrosão dos equipamentos, a necessidade de correção da acidez da solução açucarada após a hidrólise, a destruição de alguns açúcares e a produção de açúcares não fermentescíveis. Dessa forma, o processo mais recomendado é o enzimático (MACEDO, 1993; SILVEIRA et al, 2014).

O esquema da Figura 2 e o fluxograma da Figura 3 ilustram como é o processo enzimático para obtenção do etanol por meio da batata-doce na mini-usina localizada no CTAA - Centro Tecnológico Agroindustrial e Ambiental da UFT.

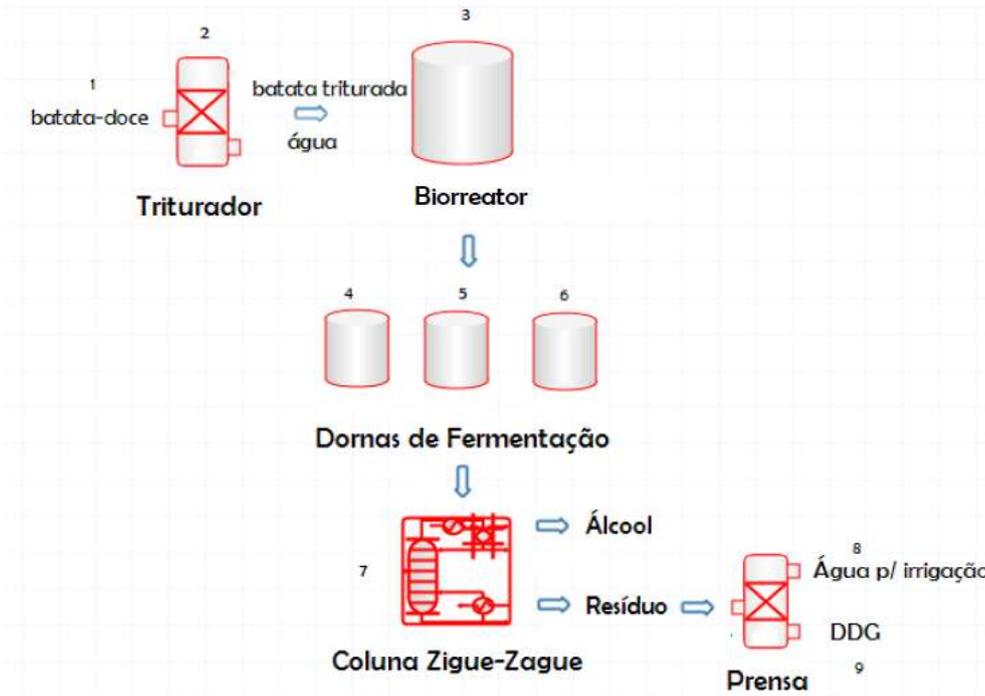


Figura 2 - Esquema do processo de produção de etanol utilizando raízes de batata-doce como matéria prima. Fonte: Silveira et al. (2014).

Segundo Silveira et al. (2014), a produção de etanol a partir da batata-doce, com hidrólise do amido por via enzimática, obedece às seguintes etapas:

1. As raízes são lavadas para remover as impurezas advindas do campo;
2. Depois de lavadas, as raízes são processadas em triturador para formar uma massa ralada (>0,5 mm);
3. A massa ralada de batata-doce obtida é despejada no Biorreator e adiciona-se água na proporção massa ralada/água 1:1, sob agitação. Quando a temperatura do meio atingir 60°C é adicionado a enzima liquidificante (alfa-amilase). Em seguida, o meio é aquecido gradualmente até 90°C e esta temperatura é mantida por 1:30 h;
- 4, 5 e 6. O meio hidrolisado é resfriado e o pH ajustado para a faixa de 3,5 a 5,5. A sacarificação é realizada adicionando enzima (glucoamilase), quando o meio atingir 60°C. O meio hidrolisado deverá ser resfriado (30°C). Nesta fase o °Brix é quantificado, e adicionado água, caso esteja acima de 13° Brix. Finalizado esta diluição, o fermento de panificação (*Saccharomyces cerevisiae*) é inoculado numa concentração de 10 g/L de meio hidrolisado (Processo de Sacarificação e Fermentação Simultâneas, SSF). Nesta concentração de inóculo, o tempo de fermentação tende a durar 24h;

7. Finalizados estes processos, o álcool é separado da água através da destilação;
8. A água residual será destinada para irrigar a plantação;
9. O co-produto (DDGS – “*Dried Distiller’s Grains with Solubles*”) é separado através de prensa e destinado para formulação de ração.



Figura 3 – Fluxograma do processo de obtenção do etanol a partir da batata-doce.

A função biológica das enzimas adicionadas no processo supracitado é muito importante, segundo Macedo (1993), a enzima alfa-amilase liquefaz o amido, iniciando o processo de hidrólise e a amiloglucosidade sacarifica o amido e as dextrinas, convertendo-os em glucose para que as leveduras convertam o açúcar em etanol.

Diversos fatores, físicos (temperatura, pressão osmótica), químicos (pH, oxigenação, nutrientes minerais e orgânicos, inibidores) e microbiológicos (espécie, linhagem e concentração da levedura, contaminação bacteriana), afetam o rendimento da fermentação, a eficiência da conversão de açúcar em etanol e conseqüentemente a composição do resíduo final. Geralmente as quedas na eficiência fermentativa decorrem de uma alteração estequiométrica do processo, levando à maior formação de produtos secundários (especialmente glicerol e ácidos orgânicos) e biomassa (LIMA et al. 2001).

2.4. RESÍDUOS DA PRODUÇÃO DE ETANOL DA BATATA-DOCE

Os resíduos gerados da obtenção de etanol da batata doce são basicamente resíduos da cultura (parte aérea) e a vinhaça, semelhante aquela obtida com o processamento da cana de açúcar. O volume de resíduo aquoso gerado na produção de etanol a partir de batata-doce é de 6,4 litros para cada litro de etanol produzido, ou seja, a razão de produção é da ordem de 1:6,4 e o teor de sólidos no resíduo é de 4-6% (WU, 1988). Sonogo et al. (2012) aponta rendimentos maiores, cuja a proporção é de 7-16 litros para cada litro de etanol.

Como a produção média de etanol de batata-doce é de 130 l.t⁻¹ (SILVEIRA et al, 2008) e que no ano de 2013 foram produzidas no Brasil cerca de 505.350t de batata-doce em uma área plantada total de quase 40 mil hectares (IBGE, 2013) estima-se que se toda essa produção e área fosse reservada apenas para a produção de etanol obteria-se um volume de mais de 65 milhões de litros de etanol como também mais de 420 milhões de litros de resíduo.

2.4.1. Características químicas do resíduo

Conforme comentou Coelho (2014), para definição da melhor estratégia de destinação dos resíduos é fundamental que se conheça a caracterização física e química dos resíduos agroindustriais. Na maioria das vezes estas informações não estão disponíveis ou são escassas e não permitem que seja explorado todo o potencial de utilização destes rejeitos. A composição bromatológica do resíduo da batata-doce após produção de etanol pode ser observada na Tabela 4 conforme os resultados encontrados pelos pesquisadores Coelho (2014), Rodrigues e Rodrigues (2010), Parente (2010), Santos (2009) e Silveira et al., (2008) com base em matéria seca ou natural.

Tabela 4 – Composição centesimal dos resíduos bromatológicos da batata-doce

| Parâmetros | Coelho (2014) ¹ | Rodrigues & Rodrigues (2010) ¹ | Parente (2010) ² | Santos (2009) ¹ | Silveira et al. (2008) ¹ | Silveira et al. (2008) ² |
|------------|----------------------------|---|-----------------------------|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| pH | 6,65 | 3,24 | ND | ND | ND | ND |
| MS | 3,69 | 4,02 | 92,75 | ND | ND | ND |
| PB | 33,80 | 17,66 | 24,64 | 12,04 | 14,52 | 6,11 |
| EE | 7,10 | 1,73 | 5,25 | 1,15 | 2,92 | 0,97 |
| FB | 9,50 | ND | 9,34 | ND | 39,04 | 7,00 |
| MM | 11,10 | 6,76 | 8,41 | 9,01 | ND | ND |

| | | | | | | |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| FDN | 32,50 | 36,85 | 47,41 | 29,97 | ND | ND |
| FDA | 17,60 | 19,39 | ND | 17,09 | ND | ND |
| ENN | 38,50 | 37 | ND | ND | 38,60 | 22,45 |

¹ teores em % de matéria seca. ² teores em % de matéria natural. ND = não determinado.

Os parâmetros químicos do resíduo de batata-doce foram avaliados por Coelho (2014) e são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição química do RBD após fermentação etílica

| Parâmetros | Teor |
|-------------------|-------------|
| Cálcio (g/kg) | 7,0 |
| Fósforo (g/kg) | 6,0 |
| Nitrogênio (g/kg) | 540 |
| Potássio (mg/kg) | 176 |
| Magnésio (g/kg) | 2,0 |
| Enxofre (g/kg) | 5,0 |
| Sódio (mg/kg) | 21,0 |
| Flúor (mg/kg) | 30,0 |
| Cobre (mg/kg) | 35,0 |
| Ferro (mg/kg) | 2850,0 |
| Manganês (mg/kg) | 430,0 |
| Zinco (mg/kg) | 1100,0 |
| Cobalto (mg/kg) | 3,0 |

Fonte: Coelho (2014)

2.4.2. Possibilidades para a utilização do Resíduo da Fermentação Etílica da Batata-Doce

A partir da composição bromatológica do resíduo da fermentação etílica da Batata-Doce (RBD) estes podem ser classificados em concentrados volumosos (caso o material seja seco, pois o teor de água é muito elevado *in natura*) que englobam todos os alimentos de baixo teor energético, principalmente em virtude de seu alto teor em fibra e em “água” (fenos e palhadas); volumosos secos são basicamente os fenos e palhadas e os volumosos úmidos ou aquosos agrupa as forragens verdes (pastos e capineiras) e as silagens. Já os alimentos concentrados são aqueles que contém um teor de FDN < 25% na MS e podendo serem ricos em energia e proteínas; são considerados concentrados energéticos os alimentos que possuem menos de 18% de fibra bruta e menos de 20% de proteína bruta na matéria seca; os concentrados proteicos são os

alimentos que possuem menos de 18% de fibra e mais de 20% de proteína bruta na matéria seca (ANDRIGUETO et al., 1982).

Silveira et al. (2008) sugeriu que a destinação dos resíduos oriundos da batata-doce pós-processada em usinas de etanol seria viável para alimentação animal. Seu uso, contudo, deve ser como complemento alimentar e deve ter características químicas e bromatológicas satisfatórias para esse fim. Os resultados que obtiveram com o estudo do resíduo na base seca foram os teores de matéria seca de 88%, proteína bruta de 14,52% e extrato etéreo de 2,92%.

Parente (2010) apresentou resultados superiores aos informados por Silveira et al. (2008). Os teores obtidos de matéria seca foram de 92,75%, proteína bruta de 24,64% e extrato etéreo de 5,25%. Segundo o autor estes resultados podem ser justificados devido fatores como solo, clima e variabilidade genética dos alimentos (PARENTE, 2010).

Contudo, após intensos experimentos, Siqueira et al. (2015) afirmam que o resíduo obtido da produção de etanol pela fermentação da batata-doce, após armazenamento, não apresenta composição constante e apresenta alto teor de umidade, o que dificulta seu emprego na alimentação animal. Porém, seu uso pode ser empregado para fertirrigação com ressalvas para o controle dos níveis de nitrogênio e potássio.

Vários estudos sobre a disposição da vinhaça no solo vêm sendo conduzidos, enfocando-se os efeitos no pH do solo, propriedades físico-químicas e seus efeitos na cultura da cana-de-açúcar mas poucos avaliaram o real potencial poluidor da vinhaça sobre o solo e lençol freático (LYRA et al., 2003) já que, em virtude dos elevados níveis de matéria orgânica e nutrientes, principalmente potássio, quase todas as destilarias brasileiras têm adotado sua utilização na fertirrigação de plantações de cana-de-açúcar (CUNHA et al., 1981).

Em estudos conduzidos por Marson et al. (2012) e Hackenhaar et al. (2012) constaram respostas significativas com a utilização de resíduo da produção de etanol de batata-doce, como adubação orgânica consorciada à adubação química em pastagem de *Brachiaria brizantha* cv Marandu e da CONVERT HD 364 cultivadas em solos de cerrado do Estado do Tocantins. Uma vez que a combinação destas duas fontes de minerais promoveu um ganho na produtividade quando levado em consideração o número de perfilhos, altura de plantas, peso de matéria seca e taxa de crescimento dessas gramíneas.

Em função do elevado teor de matéria orgânica e mineral presente na vinhaça ela tem sido usada como alternativa parcial para substituição da adubação mineral em lavouras, principalmente de cana-de-açúcar (CRISPIM, 2000; LEONEL et al., 1999).

Os processos biotecnológicos são outra opção de destinação e vêm sendo amplamente difundidos em vários segmentos industriais. A utilização de resíduos agroindustriais pode servir como matéria-prima para estes processos biotecnológicos. Isto porque a maioria dos materiais de origem orgânica, como subprodutos da agroindústria de baixo valor comercial, porém elevado teor de carboidratos, podem servir de substrato para processos fermentativos (MEINHARDT et al., 2005). Além disso, a biotransformação gera resíduos e produtos biodegradáveis. As transformações microbianas têm o direcionamento do sistema de reação para a obtenção de um produto definido. A aplicação de resíduos agroindustriais em bioprocessos disponibiliza substratos alternativos e ajuda a resolver problemas relacionados a disposição inadequada de resíduos sólidos (MARÓSTICA JR; PASTORE, 2005).

Vários pesquisadores encontraram soluções para o reaproveitamento de alguns resíduos agroindustriais, dentre eles Lana et al. (2001), para resíduos de cenoura, Silveira et al. (2008) e Rodrigues & Rodrigues (2012), para resíduos de batata-doce, sugeriram a utilização dos resíduos estudados para alimentação animal ou como adubo orgânico, outros como Dalsenter (2000) e Santana (2012) propuseram a utilização como meio de cultivo em processos fermentativos para produção da enzima amiloglucosidade, utilizando os fungos *Aspergillus spp* e *Rhizopus sp*.

2.4.3. Potencial poluidor do resíduo da fermentação etílica da batata-doce

A vinhaça é caracterizada como uma fonte potencialmente poluente, contudo de alto valor fertilizante. Seu poder poluente ultrapassa o do esgoto doméstico cerca de cem vezes em decorrência da sua riqueza em matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), além de elevada temperatura na saída dos destiladores; é considerada altamente nociva à fauna, flora, microfauna e microflora das águas doces, além de afugentar a fauna marinha que vem às costas brasileiras para procriação (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Além da poluição dos solos e água, advinda da lixiviação dos resíduos, a inutilização desses, pode representar perda de biomassa e de nutriente e também elevar

os valores dos produtos finais, uma vez que o tratamento, transporte e a disposição final dos resíduos influencia diretamente o custo do processo (ROSA et al., 2011).

O RBD, assim como a vinhaça mencionada anteriormente, também pode ser caracterizado como tendo um alto poder poluente (cem vezes a do esgoto doméstico), decorrendo de sua alta riqueza de material orgânico e por possuir componentes como: nitrogênio, fósforo e potássio (ABREU JR et al, 2005). Segundo conclusões de Coelho (2014), este resíduo possui alto teor de sólidos suspensos, um potencial poluente muito elevado e um baixo teor de oxigênio dissolvido que não é suficiente para neutralizar o grande teor de matéria orgânica, não devendo assim ser descartado em corpos hídricos sem que haja prévio tratamento.

De acordo com Ferreira-Leitão et al. (2010), o aproveitamento de resíduos agroindustriais e florestais destaca-se na produção de combustíveis renováveis, produtos químicos e de energia, uma vez que sua disponibilidade acaba por solucionar o problema do acúmulo de resíduos e evita a contaminação do solo, das águas superficiais e subterrâneas que segundo Bertoncini (2014) são provocados pelo excesso de nutrientes e alta carga orgânica presente nesses resíduos.

A batata-doce apresenta um grande potencial de uso para o setor energético e toda sua cadeia de produção gera insumos que podem ser aproveitados para diversificados fins, podendo agregar valor aos seus produtos derivados e diminuir custos de produção.

3. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JÚNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. **Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes:** propriedades químicas do solo e produção vegetal. Tópicos Especiais em Ciência do Solo, Viçosa, v.4, p.391-470, 2005.

ANDRIGUETTO, J. (vários autores). **Nutrição animal.** São Paulo: Nobel, 1982. v.1, 395p.

AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists.** 16 ed. Arlington, 1995.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P.; GALLO, J. R. **Métodos de análise química de plantas.** Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim técnico, 78).

BERTONCINI, E. I. **Tratamento, uso e impacto de resíduos urbanos e agroindustriais na agricultura**. Pesquisa & Tecnologia, vol. 11, n. 1, Jan-Jun 2014, APTA Regional. São Paulo, p. 1 - 6, 30 abr. 2014.

BEVILAQUA, D. B. **Produção ácido levulínico, por meio de hidrólise ácida da casca de arroz**. 2010. 87 p. “Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), 2010.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. ed. 2, 305 p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357/2005**. “Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes e dá outras providências”. Brasília: CONAMA, 2005.

BRASIL. **Lei nº 6.938/1981**. “Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências”. Brasília. 2005.

BRAGA, B., HESPANHOL, I., CONEJO, J. G. L., BARROS, M. T. L., SPENCER, M., PORTO, M., NUCCI, N., JULIANO, N., EIGER, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005. ed. 2, 305 p.

BOA NOVA, A. C. **Energia e as Classes Sociais no Brasil**. São Paulo: Loyola. 1985.

CAMACHO, I. A. O. **Caracterização dos resíduos do processamento de Mandioca para produção de bio-etanol e sua utilização na alimentação de aves**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.

CAMARGO, A. P.; FREIRE, E. S. **Adubação da batata-doce em São Paulo - Parte IV – Experiências comparando formas de N, P e K**. *Bragantia*, Campinas, v. 21, n. 49. p. 849-855, outubro de 1962.

CASTRO, L. A. S. de.; EMYGDIO, B. M. **Batata-doce para produção de biocombustível**. Portal do agronegócio. EMBRAPA Clima temperado, Pelotas, RS. 2009. p. 2.

CEREDA, M. P. **Hidrólise enzimática de amido de mandioca para elaboração de álcool**. 2005. Disponível em: <<http://www.abam.com.br/revista/revista13/ceteagro.php>>. Acesso em: 12 jul 2015.

CHAVES, L.H.G.; PEREIRA, H.H.G. **Nutrição e adubação de tubérculos**. Campinas: Fundação Cargill, 1995. 97p.

COELHO, C. B. **Caracterização química e bromatológica do resíduo da batata-doce [*ipomoea batatas* (Lam)] proveniente da fermentação etílica para produção de etanol**. Monografia (Engenharia Ambiental), UFT: Palmas, 2014.

CORTEZ, L. A. B. (vários autores). Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Blucher, 2010, 954 p.

CRISPIM, J. C. **Manual da produção de aguardente de qualidade**. Guaíba, Agropecuária. 2000, 336p.

DALSENTER, F. D. H. **Contribuição do estudo de aplicação da proposta Zeri para um resíduo agroindustrial utilizando processo biotecnológico**. Dissertação (Mestrado) Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, SC, 2000.

DEMAJORIVIC, J. **Da política tradicional de tratamento do lixo à política de gestão de resíduos sólidos: as novas prioridades**. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v.35, n.3, p 88-93, 1995.

EPM. Escola Paulista de Medicina. **Tabela de Composição Química dos Alimentos: Batata doce, crua**. Unifesp: São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://www.dis.epm.br/servicos/nutri/public/Alimento>>. Acesso em: 5 set 2015.

FABRI, E. G. **Diversidade genética entre acessos de batata-doce (*Ipomea batatas* L.Lam.) avaliada através de marcadores microssatélites e descritores morfoagronômicos**. Tese (doutorado) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2009, 172 p.

FAQUIN, V. **Diagnose do estado nutricional das plantas**. Lavras: UFLA/FAEPE, 2002. 77p.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. **FAOSTAT, estadísticas de producción de alimentos**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/567/DesktopDefault.aspx?PageID=567#ancor>>. Acesso em: 15 jun 2015.

FERREIRA-LEITAO, V. (vários autores). **Biomass Residues in Brazil: availability and potential uses**. Waste Biomass Valor, v. 1, p. 65-76, 2010.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p.

GIORDANO, S.R. Gestão ambiental no sistema agroindustrial. In: ZYLBERSZTAJN, D.; NEVES, M.F. (Orgs.). **Economia e gestão de negócios agroalimentares: indústria de alimentos, indústria de insumos, produção agropecuária, distribuição**. São Paulo: Pioneira, 2000. p.255-281.

GONÇALVES NETO AC; MALUF WR; GOMES LAA; GONÇALVES RJS; SILVA VF; LASMAR A. 2011. **Aptidões de genótipos de batata-doce para consumo humano, produção de etanol e alimentação animal**. Pesquisa Agropecuária Brasileira 46: 1513-1520.

HACKENHAAR, C.; SIQUEIRA, F. T.; SIQUEIRA, G. B.; HACKENHAAR, N. M.; SANTOS, W. F.; PELUZIO, J. M. **Resíduo do biocombustível de Batata-doce (*ipomoea batatas* (Lam.)) como fonte de adubo orgânico na formação de pastagem.** Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2012.

HAND, T. E.; COCKERHAM, K. L. **The Sweet Potato: A Handbook for the Practical Grower.** THE MACMILLAN COMPANY. New York, 1921.

HUAMAM, Z. **Systematic botany na morphology of the sweetpotato plant.** Technical Informatin bulletin 25. Lima: International Potato Center, 1992.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. **Produção agrícola municipal: culturas temporárias e permanentes - PAM.** Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2013_v40_br.pdf>. Acesso em: 01 de jun 2015.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas: métodos físico-químicos para análise de alimentos.** 4. ed. Brasília, DF, 2005. 1017p.

ISLAM, S. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) Leaf: Its potential effect on human health and nutrition. **Journal of Food Science.** Vol. 4: p. 2–27, 2006.

JUDD, W.S., CAMPBELL, C.S., KELLOG, E.A. & STEVENS, P.F. **Plant Systematics: A phylogenetic approach.** Sunderland, Sinauer Associates, 462p. 1999.

KAMM, B.; GRUBER, PR; KAMM, M. **Biorefineries – Industrial Processes and Products.** Wiley-VCH, Weinheim, 2006.

LANA, M. M. VIEIRA, J. V. SILVA, J. B. C. LIMA, D. B. **Cenourite e catelinho: mini cenouras brasileiras.** Horticultura Brasileira, v. 19, n. 3, p. 376-379, 2001.

LEAL, M. R. L. V. et al. Outras matérias-primas para a produção de etanol. *In:* CORTEZ, Luís Augusto Barbosa (Org.). **Bioetanol de Cana-de-Açúcar: P&D para produtividade e Sustentabilidade.** São Paulo: Blucher, v. 01, p. 519-539, 2010.

LEONEL, M.; CEREDA, M. P.; ROAU, X. **Aproveitamento do resíduo da produção de etanol a partir de farelo de mandioca, como fonte fibras dietéticas.** Ciência e tecnologia de alimentos, v. 19, n. 2, p. 241-245, mai. 1999.

LIMA, U. A. de; BASSO, L. C.; AMORIM, H. V. de. **Produção de etanol. Biotecnologia Industrial: Processos Fermentativos e Enzimáticos (vol.3).** São Paulo, SP: Editora Edgard Blucher, 2001. p. 1-43.

LUENGO, R. de F. A.; PARMAGNANI, R. M.; PARENTE, M. R.; LIMA, M. F. B. F. **Tabela de composição nutricional de hortaliças.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 2011.

LYRA, M. R. C. C.; ROLIM, M. M.; SILVA, J. A. A. **Topossequência de solos fertirrigados com vinhaça: contribuição para a qualidade das águas do lençol**

freático. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.7, n.3, p.525-532, 2003.

MACEDO, L. C. H de. **Álcool etílico: da cachaça ao cereal.** São Paulo: Ícone, 1993. 157 p.

MAGALHÃES, K. A. B. **Análise da sustentabilidade da cadeia produtiva de etanol de batata doce no município de Palmas-TO.** 2007. Dissertação (Mestrado em Ciência do Meio Ambiente) – Universidade Federal do Tocantins. Palmas, TO.

MALAVOLTA, E. **Manual de adubação e calagem das principais culturas.** São Paulo: Agronômica Ceres, 1987, 496 p.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2. ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MARÓSTICA JR, M. R. PASTORE, G. M. **Biotransformação de resíduos agroindustriais em compostos funcionais e de aroma.** In: Simpósio Nacional de Bioprocessos, 15, Recife, PB, 2005.

MARSON, A. C.; SILQUEIRA, F. T.; SIQUEIRA, G. B. **Utilização do resíduo da Batata-doce (*ipomoea batatas* (lam.)) comofonte de adubação orgânica em *brachiaria brizantha* cv marandú.** Dissertação (Mestrado em Agroenergia) Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2012.

MASIERO, S. S. **Microusinas de etanol de batata-doce: viabilidade técnica e econômica.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). UFRS: Porto Alegre, 2012. 141 p.

MEINHARDT, S. MEDEIROS, F. BURKERT, C. A. V. KALIL, S. J. **Purificação de amiloglicosidase em sistema aquoso bifásico.** In: Simpósio Nacional de Bioprocessos, 15, Recife, PE, 2005.

MENEZES, T. J. B. **Etanol o combustível do Brasil.** São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1980. 229 p.

MIRANDA, J.E.C. de; FRANCA, F.H.; CARRIJO, O.A.; SOUZA, A.F.; AGUILAR, J.A.E. **Cultivo de batata-doce (*Ipomea batatas* (L.) Lam).** Brasília, DF, EMBRAPA-CNPH, 1987. p. 7. (EMBRAPA-CNPH. Instruções Técnicas, 7).

MIRANDA, J. E. C.; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, A. O. **Batata-doce (*Ipomoea batatas* (Lam.)).** 2. ed. Brasília, DF: EMBRAPA/CNPH, 1989. 19 p.

MOMENTÉ, V. V. (vários autores). **Desenvolvimento de cultivares de batata-doce no estado do Tocantins, visando a produção de álcool, como fonte alternativa de energia para as condições tropicais.** 2004. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 22, n. 2, p. 340-342.

MORETTI, C. M.; MACHADO, C. M. M. Aproveitamento de resíduos sólidos do processamento mínimo de frutas e hortaliças. 4, 2006, São Pedro. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE PROCESSAMENTO MÍNIMO DE FRUTAS E HORTALIÇAS.

Palestras, Resumos, Fluxogramas e Oficinas... Piracicaba: USP/ESALQ, 2006. p. 25-32.

NELSON, S.C., ELEVITCH C.R. Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Sweetpotato (*Ipomoea batatas*). In: **ELEVITCH, C.R. (ed.). Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR)**. Holualoa, Hawaii, 2011. Disponível em: <<http://agroforestry.net/scps>>. Acesso em: 19 jul 2015.

NOVA CANA. **Processos de fabricação do etanol**. Disponível em: <<http://www.novacana.com/etanol/fabricacao/>>. Acesso em: 15 ago 2015.

PAVLAK, M. C. M.; ABREU-LIMA, T. L.; CARREIRO, S. C.; PAULILLO, S. C. L. Estudo da fermentação do hidrolisado de batata-doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae*. **Quím. Nova [online]**. 2011, vol.34, n.1, p. 82-86.

PARENTE, P. P. **Características nutricionais e utilização do resíduo de batata-doce em dietas de frangos de crescimento lento**. Dissertação (Mestre e Ciência Animal Tropical), Universidade Federal do Tocantins. UFT: Araguaína, TO, 2010. 58 p.

QUEIROZ, L. **Aproveitamento de resíduos reduz perdas da agroindústria**. 2009. Disponível em: <<http://www.usp.br/agen/?p=971>> Acesso em: 18 jul 2015.

SILVA, J. B. C; LOPES, C. A.; MAGALHÃES, J. S. Cultura da batata doce. In: **Embrapa Hortaliças: sistema de produção**. Embrapa, 2006.

RODRIGUES, L. G. S. M., RODRIGUES, F. M. **Composição química-bromatológica do resíduo debiocombustível de batata-doce (*Ipomoea batatas* (Lam))**. Enciclopédia Biosfera, v. 8, n. 14. Goiânia, 2012.

ROSA, M. F. (vários autores). **Valorização de resíduos da agroindústria**. In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – SIGERA, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: Embrapa, 2011.

SÁ, L. R. V. de; CAMMAROTA, M. C.; FEIRREIRA-LEITÃO, V. S. **Produção de hidrogênio via fermentação anaeróbia – aspectos gerais e possibilidade de utilização de resíduos agroindustriais brasileiros**. Quim. Nova, Vol. 37, No. 5, 857-867, 2014.

SANTANA, R. S. M. **Produção de enzimas amilolíticas através da fermentação em estado sólido**. Itapetinga-BA: UESB, 2012. 73p. (Dissertação - Mestrado em Engenharia de Alimentos – Ciência dos Alimentos).

SILVA, J. B. C.; LOPES, C.A.; MAGALHÃES, J.S. **Cultura da batata-doce**. Sistemas de Produção, 6. EMBRAPA HORTALIÇAS. Versão eletrônica. Dez. 2004.

SILVA, A. **Batata-doce poderá ser opção para produção de etanol**. 2013. Disponível em: <<http://g1.globo.com/mato-grosso/noticia/2012/02/batata-doce-podera-ser-opcao-para-producao-de-etanol-diz-pesquisador.html>>. Acesso em: 11 set 2015.

SILVA, F. C. (org.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: EMBRAPA, 1999. 370p.

SILVEIRA, M. A.; DIAS, L. E. D.; ALVIM, T. C.; TAVARES, I. B.; SANTANA, W. R.; SOUZA, R. S. **A Cultura da Batata-doce como Fonte de Matéria Prima para Etanol**. Boletim técnico. LASPER – UFT. Palmas, 2008, 64 p.

SILVEIRA, M. A.; SOUZA, F. R.; ALVIM, T. C.; DIAS, L. E. D.; SANTANA, W. R.; VITAL, M. de K. G. S.; GOUVÊA, G. R. dos S. R.; COSTA, D. M. da. **A Cultura da batata-doce como fonte de matéria prima para produção de etanol**. Boletim técnico. LASPER – UFT. Palmas, 2014, 48 p.

SILVEIRA, M.A. **Álcool Combustível - Série Indústria em Perspectiva. Batata-doce: Uma Nova Alternativa para a Produção de Etanol**. v. 1. p. 109-122. Brasília 2008.

SILVEIRA, C. R. **O resíduo da produção de etanol de batata-doce (RBD) como fonte de adubação potássica orgânica**. 2014. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação de Eng. Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2014.

SIMÃO-BIANCHINI, R. ***Ipomoea L. (Convolvulaceae) no Sudeste do Brasil***. Tese de Doutorado, São Paulo, Universidade de São Paulo. 476p. 1998.

SONEGO, S. J. L. **Efeitos da Aplicação do Resíduo da Produção de Etanol de Batata Sobre Diferentes Culturas**. Santa Maria 2012, 69 p. Dissertação (Mestrado / Engenharia de Processos), Universidade Federal de (UFSM, RS).

SIQUEIRA, F. L. T. SIQUEIRA, G. B. BANDEIRA, C. RODRIGUES, W. B. NEIVA, I. **Identificação do potencial de uso e características poluentes do resíduo da produção de bioetanol de batata doce**. In: IV Simpósio Internacional de Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, Rio de Janeiro, 2015.

SOUZA, A.B. **Avaliação de cultivares de batata-doce quanto atributos agrônômicos desejáveis**. Ciência Agrotécnica. Lavras, v.24, n.4, p.841-845, 2000.

TÁVORA, F.L. **Deve o Brasil persistir no fomento aos biocombustíveis mesmo com a descoberta da volumosa reserva de petróleo do Pré-sal?** Publicado em 21/02/2011. Disponível em: <<http://www.brasil-economia-governo.org.br/2011/02/21/deve-o-brasil-persistir-no-fomento-aos-biocombustiveis/>>. Acesso em: 10 jul 2015.

TIMOFIECSYK, F. R. PAWLOWSKY, U. **Minimização de Resíduos na Indústria de Alimentos: Revisão**. B. CEPPA, 18 (2), 2000. pp. 221-236.

UNICA. **A indústria da cana-de-açúcar**. 2008. 34 p. Disponível em: <www.unica.com.br/download.php?idSecao=17&id=25497159>. Acesso em 19 ago 2015.

WOOLFE, J. A. **Sweet Potato: An Untapped Food Resource**. Cambridge University Press, Cambridge, UK., 1992, 643 p.

WU, Y. V. **Characterization of sweet potato stillage and recovery of stillage solubles by ultrafiltration and reverse osmosis.** Journal of Agriculture and Food Chemistry, v.36, n.2, p.252-256, 1988.

CAPÍTULO II – CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, POTENCIAL DE USO E ASPECTOS POLUENTES DE TRÊS CULTIVARES DE BATATA-DOCE ANTES E APÓS A FERMENTAÇÃO ETÍLICA

RESUMO

A caracterização de resíduos agroindustriais é de grande importância para o sucesso na redução dos desperdícios de matérias-primas e energia, além de agregar valor a cadeia produtiva, uma vez que se direciona da maneira mais adequada esse resíduo para outros fins que sejam recicláveis. Neste trabalho foram elencados os aspectos poluentes e potenciais usos do resíduo da batata-doce triturada antes e depois de processada em micro-usina de destilação de etanol para verificar as alterações no resíduo aquoso em aspectos químicos e bromatológicos.

Palavras chave: reaproveitamento, cadeia produtiva, poluentes.

ABSTRACT

The characterization of agro-industrial waste is of great importance for success in reducing waste of energy and raw materials, as well as adding value to the production chain, since it directs the most appropriate way this waste for other purposes that are recyclable. In this work it was listed pollutants aspects and potential uses of the residue of crushed sweet potatoes before and after processed into ethanol distillation micro-plant to check for changes in the aqueous residue in chemical aspects and Bromatological.

Keywords: reuse, productive chain, pollutants.

1. INTRODUÇÃO

A batata-doce (*Ipomoea batatas* L.), uma planta amplamente utilizada na alimentação humana e de animais domésticos vem proporcionando grandes perspectivas para a área agroenergética, principalmente porque esta planta sintetiza grandes quantidades de amido passíveis de serem convertidos em etanol. Seu fácil cultivo e baixas exigências de fertilidade do solo se configuram atualmente, como forma de inclusão do agricultor familiar na produção de biocombustíveis (SILVEIRA et al., 2008; PAVLAK et al., 2011; SOUZA, 2000).

Segundo Islam (2006), com a crescente busca por alternativas alimentares e fontes renováveis de energia, o cultivo da batata-doce tem crescido de forma significativa, ganhando grande destaque nas últimas décadas, principalmente por apresentar alto valor nutritivo, sendo boa fonte de carboidratos, vitaminas, cálcio, ferro, e outros minerais. De acordo com Silveira et al. (2008) a batata-doce possui um potencial considerável na produção de etanol, sendo que em condições experimentais obteve-se um rendimento médio de 199 litros de etanol por hectare.

Entre os processos agroindústrias que mais geram resíduos destaca-se a produção de etanol, devido ao grande volume de vinhaça gerado com alta carga poluidora, podendo causar sérios problemas ambientais caso não forem adotadas medidas adequadas para seu aproveitamento, tratamento ou destino final (MENEZES, 1980).

A destinação adequada dos resíduos é cada vez mais valorizada nos modernos modelos de gestão demonstrando não só compromisso com as questões ambientais, mas também, a possibilidade de agregar valor à cadeia produtiva com os subprodutos gerados no processo de produção (COELHO, 2014).

O resíduo da batata-doce, por ser composto em sua maior parte por água, gera limitações importantes para uso deste resíduo em atividades produtivas, geralmente na agroindústria. Além disso, o armazenamento do resíduo em condição de hidratação original o torna mais susceptível ao processo de decomposição por ação microbiológica que alteram sua composição bromatológica. A fração orgânica e mineral deste resíduo também pode trazer sérios problemas ambientais se este não receber destinação adequada.

A caracterização química dos resíduos agroindustriais permite orientar as práticas de manejo adequada a este resíduo também e identificar potencialidades caso

venha a ser utilizado para outro fim. Segundo Salman et al. (2010), dentre os fatores nutricionais que interferem no desempenho animal, a composição química dos ingredientes de uma dieta, o consumo voluntário, as cinéticas de degradação e a digestibilidade dos nutrientes são os que normalmente são citados como mais limitantes.

Andrigueto (1984) ressalta que é imprescindível que os animais não devam competir com a população humana em sua alimentação e assim, tanto quanto possível, os alimentos destinados a alimentação humana devem ser descartados da alimentação animal, portanto os resíduos devem constituir a base da alimentação animal.

A utilização de resíduos agroindustriais na alimentação animal depende do conhecimento prévio dos nutrientes e de suas concentrações, além da disponibilidade destes para o metabolismo animal. De posse destas informações, as dietas são formuladas, considerando a espécie animal, categoria, função e outros aspectos relacionados ao animal. Quanto aos aspectos relacionados ao alimento também deve-se considerar a disponibilidade, o armazenamento, o custo e outros aspectos determinantes da viabilidade do uso destas formas alternativas de alimentos.

A batata-doce é relativamente nutritiva por ser rica em hidratos de carbono, vitamina A e C, bem como fonte de minerais e largamente utilizada como alimento principalmente por comunidades de subsistência. Sua vantagem é possuir ampla adaptabilidade e possibilidade de crescer em vários ambientes, com condições diferentes e ainda assim respondendo bem, a curtos e longos períodos de colheita. Entretanto, para a sustentabilidade da produção de batata-doce é altamente necessária que se assegure a alimentação e a produção de etanol para atender a uma demanda variada e cada dia mais alta (WIDODO et al., 2015).

Os resíduos podem constituir importantes fontes de nutrientes para o solo, seja fornecido na forma sólida ou líquida, para a fertirrigação. Considerando a pobreza em nutrientes e a estrutura frágil dos solos de cerrado, além das chuvas estacionais, os benefícios da fertirrigação seriam ainda mais impactantes.

A possibilidade de se utilizar os resíduos agroindustriais para fins que agreguem valor a sua cadeia produtiva pode ser um fator determinante para a viabilidade econômica e industrial da atividade. Portanto, neste trabalho se pretende caracterizar a composição química de três cultivares de batata-doce antes e após a fermentação etílica e a partir destas informações identificar potencialidades e limitações deste resíduo em atividades produtivas agroindustriais.

2. MATERIAL E MÉTODO

2.1. Local

Este estudo foi conduzido utilizando-se dos equipamentos, ferramentas e espaços da Universidade Federal do Tocantins – UFT, durante o período setembro de 2014 a agosto de 2015. As coletas foram realizadas na Área Experimental do Campus Universitário de Palmas, na Mini-Usina de Processamento de Etanol a partir da batata-doce e no Laboratório do Grupo de Estudos de Solos e Aproveitamento de Resíduos Energéticos – GESARE, na cidade de Palmas-TO sob coordenadas geográficas 10°10'41” S e 48°21'26” W a 220 m de altitude, no período de março de 2015 a setembro de 2015. O solo, onde as cultivares foram plantadas, é do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico e textura arenosa (EMBRAPA, 2009). A área de estudo encontra-se no trecho superior do médio rio Tocantins, considerando a divisão proposta por PAIVA (1982), e o clima pode ser classificado como Continental Tropical (sub-úmido), conforme a classificação de Köppen tipo “Aw”.

2.2. Abordagem metodológica

Este estudo foi realizado por meio do processo metodológico exploratório, analíticos e bibliográficos. Esses métodos são adequados porque o objetivo é apontar quais os usos que podem ser dados aos resíduos provenientes da indústria de geração de etanol por meio de batata-doce. Por meio da análise laboratorial e pesquisa bibliográfica pôde-se demonstrar os rendimentos em termos nutritivos e bromatológicos desse resíduo.

2.3. Material avaliado

As cultivares de batata-doce estudadas são produtos do Programa de Melhoramento Genético da Fundação Universidade Federal do Tocantins-UFT, que tem como responsável o Prof. Dr. Márcio da Silveira. Os clones utilizados são oriundos do Banco de Germoplasma da Universidade Federal do Tocantins – UFT e são denominadas Amanda, Bárbara e Beatriz.

2.4. Processo enzimático de obtenção do etanol

Segundo Silveira et al. (2014), a produção de etanol a partir da batata-doce, com hidrólise do amido por via enzimática, obedece às seguintes etapas:

1. As raízes são lavadas para remover as impurezas advindas do campo;
2. Depois de lavadas, as raízes são processadas em triturador para formar uma massa ralada;
3. A massa ralada de batata-doce obtida é transferida para o Biorreator e adiciona-se água na proporção massa ralada/água 1:1, sob agitação. Quando a temperatura do meio atingir 60°C é adicionado a enzima liquidificante (alfa-amilase). O aquecimento é gradual até 90°C e a temperatura, mantida por 1:30 h;
- 4, 5 e 6. O meio hidrolisado é resfriado e o pH ajustado para a faixa de 3,5 a 5,5. A sacarificação é realizada adicionando enzima (glucoamilase), quando o meio atingir 60°C. O meio hidrolisado deverá ser resfriado (30°C). Nesta fase o °Brix é quantificado, e adicionado água, caso esteja acima de 13° Brix. Finalizado esta diluição, o fermento de panificação (*Saccharomyces cerevisiae*) é inoculado numa concentração de 10 g/L de meio hidrolisado (Processo de Sacarificação e Fermentação Simultâneas, SSF). Nesta concentração de inóculo, o tempo de fermentação tende a durar 24h;
7. Finalizados estes processos, o álcool é separado da água através da destilação;
8. A água residual será destinada para irrigar a plantação;
9. O co-produto (DDG) é separado através de prensa e destinado para formulação da ração.

Os processos fermentativos são acompanhados através de frascos cônicos equipados com fermentômetros, para avaliação da evolução do CO₂ e de medidas iniciais e finais das concentrações de substrato, produto e da população de leveduras, de forma a possibilitar o cálculo das principais variáveis de resposta do processo fermentativo e a observação do crescimento microbiano.

2.5. Rendimento e composição química do RBD

Todo o material, correspondente a cada cultivar, que ia ser fermentado foi pesado antes e após o processo de obtenção do etanol para determinação de seu rendimento. Foram colhidas amostras para a determinação da porcentagem de matéria seca total (MS%), umidade (U%), proteína bruta (PB%), extrato etéreo (EE%), matéria mineral (MM%), fibra bruta (FB%) e feita a estimativa da porcentagem de extrato etéreo na matéria seca segundo metodologia proposta por Weende e descrita por Silva e Queiroz (2002). Também foram determinadas a composição química fósforo total (P total %), cálcio (Ca%), magnésio (Mg%), sódio (Na%), potássio (K%), cobre (Cu mg.kg⁻¹), manganês (Mn mg.kg⁻¹), zinco (Zn mg.kg⁻¹), cobalto (Co mg.kg⁻¹) e ferro (Fe mg.kg⁻¹) conforme metodologia descrita por Embrapa (2010). As análises foram realizadas pelo laboratório Arassolo de Araçatuba-SP.

2.6. Classificação Química e Bromatológica do Resíduo da fermentação etílica da Batata-Doce

De acordo com os resultados das análises químicas, os resíduos serão classificados de acordo com Norma Brasileira de Regulamentação, a NBR 10.004, de Classificação de Resíduos Sólidos, e para a identificação do potencial de uso na alimentação animal serão utilizadas as regras propostas por Andrigueto et al. (1982) que se encontram apresentadas de forma resumida no fluxograma da Figura 4:

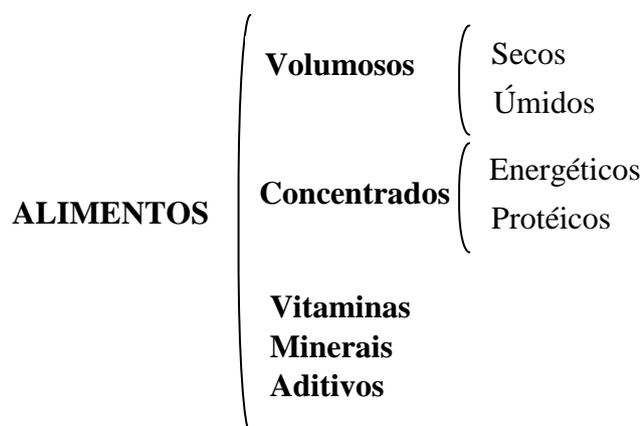


Figura 4 – Classificação dos alimentos. Fonte: Adaptado de Andrigueto et al. (1982)

2.7. Identificação do Potencial poluidor do Resíduo da Fermentação Etílica da Batata-Doce

O potencial poluidor foi considerado apenas para o resíduo e será estimado considerando o proposto nas Resoluções CONAMA nº 357-2005 e CONAMA nº 430-2011e (BRASIL, 2011a).

Segundo os parâmetros químicos e bromatológicos encontrados será explicitado o potencial poluidor sob os compartimentos ambientais: solo e água, sendo, para isso, considerado as legislações ambientais vigentes.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 6 e 7 traz os dados da composição bromatológica de três cultivares de batata-doce antes e após a fermentação etílica, respectivamente. Entre cultivares percebe-se pequena variação na composição bromatológica, sendo os teores de PB e MM os que mais variaram. É possível verificar que o teor proteico variou de 2,56% a 4,94% entre as cultivares Beatriz e Amanda, respectivamente. Na literatura observa-se também grande variação neste parâmetro para cultivares de batata-doce de mesa. Leonel & Cereda (2002) obtiveram de 1,33 % PB, enquanto Borba et al. (2005), 6,7%.

A fração mineral foi mais elevada na cv. Barbara com teores de 5,01%MM enquanto que nas duas outras cultivares o teor médio foi de 3,03%MM.

Com relação aos demais nutrientes, a composição entre cultivares avaliadas foi pouco variável. Segundo Miranda et al. (1995) a composição química da batata-doce pode variar com a cultivar, condições climáticas, época de colheita, tratos culturais, condições e duração de armazenamento. Considerando que as condições de obtenção da cultivares avaliadas neste experimento eram idênticas, pode se atribuir ao fator genético, as diferenças observadas.

Tabela 6 - Composição bromatológica de diferentes cultivares de batata-doce utilizados na obtenção de etanol

| Parâmetros | Cultivares | | |
|------------|------------|---------|---------|
| | Amanda | Beatriz | Barbara |
| MS | 91,52 | 91,93 | 92,7 |
| Umidade | 8,48 | 8,07 | 7,3 |

| | | | |
|------------|-------|-------|-------|
| PB | 4,94 | 2,56 | 4,38 |
| EE | 0,45 | 0,77 | 0,52 |
| FB | 2,91 | 3,0 | 2,45 |
| ENN | 80,15 | 81,09 | 89,35 |
| MM | 3,07 | 3,0 | 5,01 |

O rendimento do resíduo e os respectivos teores de matéria seca são apresentados na Tabela 7. Percebe-se que este resíduo é bastante úmido, com teores de MS médio de 6,71 % para os diferentes cultivares. Rodrigues e Rodrigues (2010) e Coelho (2014), obtiveram teores de MS de 4,02 e 3,69, respectivamente, nos resíduos da produção de etanol estudados. Por se tratar de um resíduo bastante líquido, as diferenças nos teores de matéria seca podem ser atribuídas, entre outros fatores, a forma de amostragem pois se não houver boa homogeneização, poderá ocorrer a formação de substratos no resíduo armazenado com tendência de maior concentração de sólidos na parte inferior. Este resíduo é classificado como resíduo industrial sólido, não inerte e biodegradável segundo a NBR 10.004:2004.

Tabela 7 - Rendimento (t/t) e teor de matéria seca (%) do resíduo produzido de três cultivares de batata-doce após fermentação etílica

| Resíduos / Cultivares | Rendimento (t/t) | Matéria seca (%MS) |
|------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Amanda | 1,07 | 6,11 |
| Beatriz | 0,94 | 6,35 |
| Barbara | 0,73 | 6,67 |

Resíduos desta natureza apresentam vários desafios quanto a destinação. Por apresentar fração orgânica, como demonstrado na Tabela 6, e alto teor de umidade, podem fermentar com facilidade e gerar fortes odores, além de permitir o crescimento de micro-organismos indesejáveis e animais oportunistas. Se for armazenado, exige extensas áreas destinadas para esta finalidade. Diante disso, não é raro, que resíduos semelhantes a este sejam lançados diretamente em corpos hídricos dada a sua facilidade de incorporação e a estes, impossibilitando a identificação de sua origem, mas causando impactos significativos ao meio.

Uma das formas de tratamento deste resíduo seria por lagoas de decantação que permitem a remoção da fração sólida e posterior reuso da água. De qualquer forma os tratamentos devem buscar a remoção da fração sólida.

Quanto a composição química dos resíduos, disponível na Tabela 8, é possível verificar que após a fermentação, a concentração proteica dos resíduos tendeu a aumentar, e o teor mais elevado, foi obtido com o resíduo do cultivar Amanda (22,50% PB) e o mais baixo com a cultivar Barbara (11,8% PB). Estes aumentos no teor, se deve presença das leveduras utilizadas no processo de fermentação do amido. O menor valor apresentando foi obtido pelo cultivar Barbara e pode ter sido devido a condições inadequadas de fermentação, que pode ter proporcionado baixo crescimento das leveduras.

Nos resíduos os teores de EE variaram de 0,54 a 1,87%, para cv. Amanda e cv. Barbara, respectivamente. Quanto a fração fibrosa, a variação foi de 9,06% PB para o resíduo do cultivar Beatriz e de 10,59% para o cultivar Barbara. O ENN e a MM mineral assim como os demais nutrientes apresentaram valores próximos entre resíduos, sendo encontrado um valor médio de 52,55% de EE e 9,7% de MM.

Tabela 8 - Composição bromatológica de resíduos gerado da fermentação etílica de diferentes cultivares para a obtenção de etanol

| Parâmetros | Res. Amanda | Res. Beatriz | Res. Barbara |
|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| MS | 91,79 | 92,26 | 90,98 |
| Umidade | 8,21 | 7,74 | 9,02 |
| PB | 22,5 | 20,63 | 11,88 |
| EE | 0,94 | 0,73 | 1,87 |
| FB | 10,11 | 9,06 | 10,59 |
| ENN | 48,07 | 51,67 | 57,9 |
| MM | 10,17 | 10,18 | 8,75 |

Observando as Tabela 7 e 8, verificou-se que as maiores alterações na composição química do resíduo em relação a composição química da batata-doce se deram nas concentrações de PB, ENN e MM, conforme pode ser melhor visualizado na Figura 5. O ENN reduziu após o processo fermentativo, possivelmente porque a produção de etanol de batata-doce ocorre a partir da fermentação do amido e como o ENN é composto principalmente por açúcares e amido era de se esperar tal comportamento que possivelmente também ocasionou o aumento nos teores de PB e MM devido a atividade das leveduras *Saccharomyces cerevisiae*, responsáveis pela fermentação do amido, na depleção do Nitrogênio. Estes aumentos foram em média de

76,25% nos teores de PB e de 61,02% para o MM. Considerando que a proteína é o nutriente mais caro na alimentação humana e também animal, este aumento identificado no resíduo, pode aumentar as possibilidades de uso deste na alimentação animal desde que seja comercializado seco.

Silveira et al. (2008), defende que uma das mais lógicas alternativas para a reutilização dos RBD é a sua aplicação na alimentação animal. O uso de resíduos agrícolas caracterizados como de baixo valor agregado pode ser de grande interesse em regiões que os produtos de origem animal detêm baixo preço de mercado, forçando os produtores ao uso de fontes de alimentação de baixo custo. Porém, com este teor de umidade, a utilização deste resíduo na alimentação animal fica praticamente inviável pois, pode demandar alto custo com transporte e armazenamento. Além disso, as demandas nutricionais do animal, dada baixa concentração de nutrientes por volume ingerido poderá não ser atendida.

Quando se buscam alternativas de uso para resíduos agroindustriais, o ponto de partida é a caracterização e classificação dos mesmos. Diante da composição bromatológica do resíduo seco, pôde-se classificá-lo como alimento concentrado proteico com teores de fibra menor que 18% e PB maior que 20% para os resíduos oriundos das cultivares Amanda e Beatriz conforme descrito por Andriguetto et al. (1982). Para estas duas cultivares o teor proteico médio foi de 21,56%, o que corresponde a aproximadamente 48% do teor proteico do farelo de soja, principal fonte proteica utilizada na alimentação animal. No entanto, a maior diferença está na quantidade de umidade, que na soja é em torno de 12% e no resíduo é de aproximadamente 96%. A menor concentração proteica do resíduo oriundo do cultivar Bárbara pode estar relacionada a aspectos específicos do mosto. O teor de proteína bruta dos cultivares pode ter influenciado o crescimento da levedura uma vez que ela é sensível a presença de peptídeos, sendo mais exigente nesta fonte de nitrogênio.

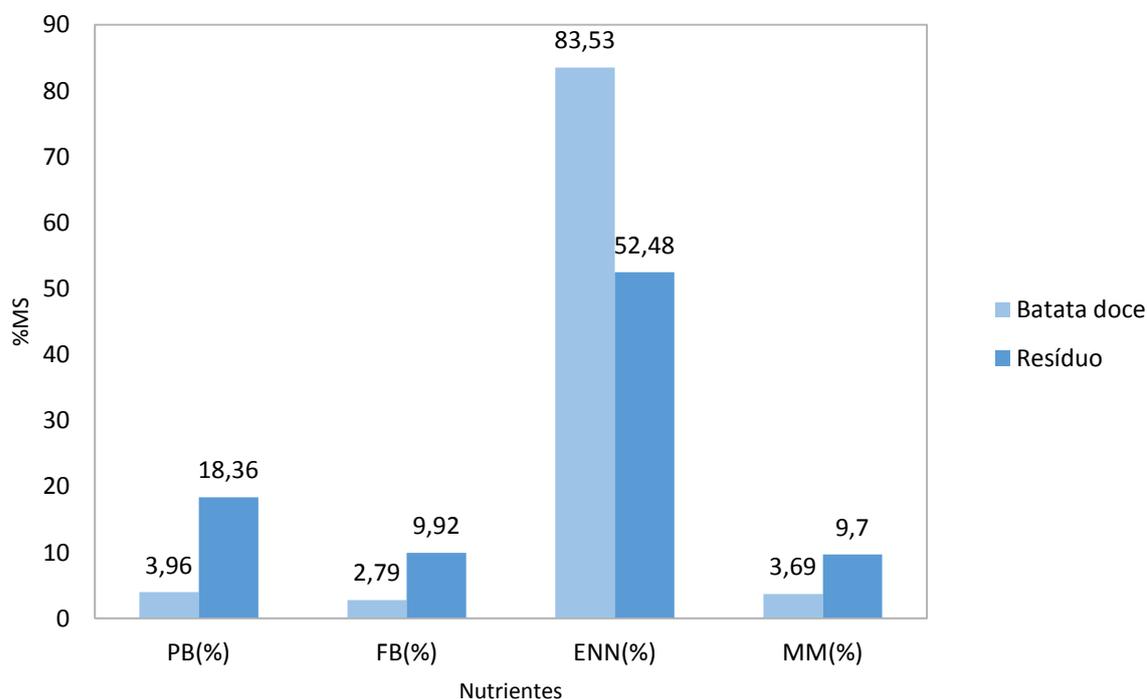


Figura 5 - Concentração média de PB, FB, ENN e MM (%MS) da batata-doce e dos resíduos gerados após a fermentação etílica

Na literatura a composição bromatológica do resíduo é bastante variável com teores proteicos variando de 12,04% (SANTOS, 2010) a 26,64% (PARENTE, 2014), fibra bruta com valores muito mais elevados (39,04% MS) e ENN variando de 37,00% (SILVEIRA et al, 2008) a 38,60% (RODRIGUES & RODRIGUES, 2010). Estas variações revelam outra dificuldade da utilização de resíduos agroindustriais na alimentação animal, a falta de constância na composição do resíduo, que pode ocorrer pela variação na matéria-prima, adubação, tempo e condição de armazenamento, entre outros.

A composição química dos resíduos é apresentada na Tabela 9 e dela é possível verificar que a fração mineral é composta por macro e microminerais. Andrigueto (1982) comentou que as vitaminas e macrominerais, como o fósforo, representam as vias de disponibilização de energia para o animal. O manganês é essencial no desenvolvimento da matriz óssea, está envolvido na fosforilação oxidativa na mitocôndria, além de funcionar com ativador de várias enzimas. Dentre os macrominerais o potássio e o nitrogênio são predominantes. A maior concentração de

potássio pode ser justificada pela alta absorção deste nutriente pela cultura de batata-doce.

Segundo Malavolta (2006), o potássio é necessário para a síntese dos açúcares e do amido e, seu transporte até os órgãos de reserva. Quanto ao nitrogênio, como já discutido anteriormente, as leveduras são compostas basicamente por proteína e a presença destas leveduras no resíduo contribuem para elevar os níveis de nitrogênio. Com base nas tabelas de composição mineral (macro e micro minerais) apresentada por Rostagno (2011). O resíduo da produção de etanol supera o milho e o farelo de soja. Porém, a presença de macro e micronutrientes no resíduo da batata-doce após fermentação etílica só se tornará relevante se considerar a hipótese de fornecê-lo seco, pois o consumo *in natura* não permite que o valor de consumo diário seja alcançado. Para um suíno em crescimento, com 70 kg de peso e uma exigência proteica de 383,24 g (ROSTAGNO, 2011), sendo assim, seria necessário um consumo diário de 21,34 kg de resíduo de batata-doce *in natura*, enquanto que ingestão diária prevista é de 2,860 kg/animal/dia.

Por outro lado, a alta concentração de nutrientes, principalmente, nitrogênio e fósforo, demonstrado na Tabela 2, revelam o potencial poluidor deste resíduo se lançado diretamente em corpos hídricos. Os resultados quantitativos de Nitrogênio e de Fósforo Total apresentados pelas amostras das cultivares indicaram elevados níveis desses elementos químicos que são responsáveis pela eutrofização das águas que possibilita o crescimento excessivo de algas (BRAGA et al, 2005; VON SPERLING, 2005). A cultivar Amanda apresentou resultados mais elevados destes parâmetros em comparação com Barbara e Beatriz. De acordo com os valores máximos permitido para lançamento de efluentes em corpos hídricos, o Nitrogênio está em desacordo com a legislação e o Fósforo, apesar da Resolução CONAMA nº 430-2011 deixar a critério do órgão ambiental de fixar valores máximos de concentração de Fósforo Total nos resíduos industriais para lançamento em corpos hídricos, ambos encontram-se com valores muito superiores a todos os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA nº 357-2005 de qualidade de águas de quaisquer que sejam as classes (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011a).

Nas amostras de RBD o cobre, manganês, zinco e ferro presente em todas as amostras das cultivares apresentaram elevadas concentrações estando em desacordo com a legislação para lançamento de efluentes (BRASIL, 2011a).

Embora o resíduo da batata-doce tratar-se de um resíduo sólido, por ter característica aquosa, pode ser descartado em corpos hídricos, porém sem tratamento prévio pode resultar na morte de animais, na exalação de odores fétidos e de gases agressivos decorrentes da decomposição anaeróbia, eutrofização de rios e lagos, além de dificultar no tratamento da água para o abastecimento público. A Resolução do CONAMA nº 357 de 2005, estabelece que qualquer fonte poluidora somente poderá ser lançada, direta ou indiretamente, nos corpos hídricos, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências estabelecidas em lei.

Sabe-se que a biota aquática necessita moderadamente de sais como Cálcio, Sódio, Potássio, Ferro, entre outras e em quantidade diminuta, porém não menos importante, de Manganês, Zinco, Cobre e Cobalto, entre outros, contudo em elevados teores podem causar desequilíbrio na vida aquática gerando impactos ao meio ambiente (BRAGA et al, 2005). O que o resíduo da batata-doce poderia prover caso lançado nos corpos hídricos após prévio tratamento para reduzir os compostos demasiadamente concentrados.

Além disso, segundo a Portaria nº 2.914-2011 do Ministério da Saúde estabelece que as substâncias químicas com concentrações elevadas como o cobre acima de 2 mg/L, Nitrato acima de 10 mg/L, Nitrito acima de 1 mg/L, Ferro acima de 0,3 mg/L, Manganês acima de 0,1 mg/L, Sódio acima de 200 mg/L e Zinco acima de 5 mg/L, podem provocar risco à saúde (BRASIL, 2011b).

Tabela 9 - Composição química do resíduo de cultivares de batata-doce gerados após a fermentação etílica para a obtenção de etanol

| Parâmetros | Amanda | Barbara | Beatriz |
|-------------------------|--------|---------|---------|
| | % | | |
| Nitrogênio Total | 3,60 | 1,90 | 3,30 |
| Fósforo Total | 0,56 | 0,52 | 0,46 |
| Cálcio | 0,49 | 0,48 | 0,50 |
| Magnésio | 0,27 | 0,21 | 0,28 |
| Sódio | 0,11 | 0,07 | 0,08 |
| Potássio | 3,42 | 2,77 | 3,02 |
| Parâmetros | mg/kg | | |
| Cobre | 21 | 25 | 23 |
| Manganês | 28 | 28 | 55 |

| | | | |
|----------------|------|------|------|
| Zinco | 67 | 74 | 51 |
| Cobalto | 3,57 | 3,24 | 3,70 |
| Ferro | 629 | 723 | 675 |

Devido as características físico-químicas do resíduo da batata-doce serem semelhantes a vinhaça da cana-de-açúcar, a este pode ser dado a mesma destinação, que é a fertirrigação. O lançamento em solo através de fertirrigação pode reduzir significativamente os gastos com adubos e fertilizantes químicos e obter padrões ótimos de produção, conforme demonstrado por alguns autores (MARSON, 2012; HANCKHENHAR, 2012), enquanto os tanques de infiltração se mostraram fontes pontuais de contaminação do solo e da água subterrânea (CRUZ, 2008).

É importante salientar que antes do lançamento de resíduo da batata-doce no solo é necessário que se equilibre seu pH que segundo Malavolta (1980) é indicado que esteja na faixa de 6,0 – 6,5 para que haja melhor produtividade de grande parte das espécies que são cultivadas. Além disso, a pesquisadora relata que o efeito indireto do pH está associado a maior ou menor disponibilidade de nutrientes no solo. Solos ácidos tendem a diminuir esta disponibilidade e trazer um aumento da toxidez do mesmo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O resíduo da produção de etanol de batata-doce à classificado como resíduo industrial sólido, não inerte e biodegradável e dada a sua composição química precisa ser tratado antes de ser lançado em corpos hídricos.

Apresenta potencial para ser utilizado na alimentação animal desde de que seja submetido a processo de secagem ou utilizado como fertirrigação, na condição *in natura*;

A composição química do resíduo da produção de etanol de batata-doce desidratado pode ser classificado e utilizado como alimento concentrado proteico sendo rico em macro e micro minerais e;

Sua utilização na alimentação animal deve estar condicionada a fatores como teor de umidade, custo, disponibilidade, entre outros.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRIGUETTO, J. (vários autores). **Nutrição animal**. São Paulo: Nobel, 1982. v.1, 395p.
- BORBA, A. M.; SARMENTO, S. B. S.; LEONEL, M. **Efeito dos parâmetros de extrusão em farinha de batata-doce**, Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.25, n. 4, p.835-843, out./dez. 2005.
- CAMACHO, I. A. O. **Caracterização dos resíduos do processamento de Mandioca para produção de bio-etanol e sua utilização na alimentação de aves**. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2009.
- CRUZ, J. I. da. **Detecção da influência da vinhaça na resistividade do solo através da análise de dados geofísicos: um estudo de caso no assentamento Sepe, Tiaraju, SP**. Dissertação (Mestre em Geociências, UNICAMP). Campinas, SP, 2008.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro). **Sistema Brasileiro de Classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SPI, 2009.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Métodos de Análises Bromatológicas de Alimentos: Métodos Físicos, Químicos e Bromatológicos**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2010. 177p.
- HACKENHAAR, C.; SIQUEIRA, F. T.; SIQUEIRA, G. B.; HACKENHAAR, N. M.; SANTOS, W. F.; PELUZIO, J. M. **Resíduo do biocombustível de Batata-doce (*ipomoea batatas* (Lam.)) como fonte de adubo orgânico na formação de pastagem**. Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2012.
- ISLAM, S. Sweetpotato (*Ipomoea batatas* L.) Leaf: Its potential effect on human health and nutrition. **Journal of Food Science**. Vol. 4: p. 2–27, 2006.
- LEONEL, M.; CEREDA, M. P. **Caracterização físico-química de algumas tuberosas amiláceas**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.22, n.1, p.65-69, jan./abr. 2002.
- MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638p.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ed. Agronômica de Ceres, 1980. 251p.
- MARSON, A. C.; SILQUEIRA, F. T.; SIQUEIRA, G. B. **Utilização do resíduo da Batata-doce (*ipomoea batatas* (lam.)) como fonte de adubação orgânica em *brachiaria brizantha* cv. marandú**. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2012.

MENEZES, T. J. B. **Etanol o combustível do Brasil**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda, 1980. 229 p.

MIRANDA, J. E. C. de; FRANÇA, F. H.; CARRIJO, O. A.; SOUZA, A. F.; PEREIRA, W.; LOPES, C. A.; DILVA, J. B. C. **A cultura da batata-doce**. Brasília, DF: Embrapa /CNPq, 1995. 94 p.

MIYAZAKI, Y., KUSANO, S., DOI, H., AKI, O., **Effects on immune response of antidiabetic ingredients from whiteskinned sweet potato (*Ipomoea batatas* L.)**. Nutrition. 2005.

NELSON, S.C., ELEVITCH C.R. Farm and Forestry Production and Marketing Profile for Sweetpotato (*Ipomoea batatas*). In: **ELEVITCH, C.R. (ed.). Specialty Crops for Pacific Island Agroforestry. Permanent Agriculture Resources (PAR)**. Holualoa, Hawaii, 2011. Disponível em: <<http://agroforestry.net/scps>>. Acesso em: 19 ago 2015.

PAIVA, M. P. **Grandes represas do Brasil**. Editerra, Brasília. 292p. 1982.

PARENTE, P. P. **Características nutricionais e utilização do resíduo de batata-doce em dietas de frangos de crescimento lento**. Dissertação (Mestre e Ciência Animal Tropical), Universidade Federal do Tocantins. UFT: Araguaína, TO, 2010. 58 p.

PARENTE, I. J. (vários autores). **Características nutricionais e utilização do resíduo de batata-doce em dietas de frangos de crescimento lento**. Rev. Bras. Saúde Prod. Animal, Salvador, v.15, n.2, p.470-483. 2014.

PAVLAK, M. C. M.; ABREU-LIMA, T. L.; CARREIRO, S. C.; PAULILLO, S. C. L. **Estudo da fermentação do hidrolisado de batata-doce utilizando diferentes linhagens de *Saccharomyces cerevisiae***. Quím. Nova [online]. 2011, vol.34, n.1, p. 82-86.

RODRIGUES, L. G. S. M., RODRIGUES, F. M. **Composição química-bromatológica do resíduo de biocombustível de batata-doce (*Ipomoea batatas* (Lam))**. Enciclopédia Biosfera, v. 8, n. 14. Goiânia, 2012.

ROSTAGNO, H. S. (vários autores). **Tabelas brasileiras para aves e suínos**. Viçosa, MG: UFV, DZO, 2011. 252p.

SALMAN, A. K. D., FERREIRA, A. C. D., SOARES, J. P. G., SOUZA, J. P. **Metodologias para avaliação de alimentos para ruminantes domésticos**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2010. 26p.

SANTOS, F. P.; ARAUJO, V. L.; BRITO, S. S. **Composição bromatológica de resíduo da produção do biocombustível com potencial de utilização na alimentação de ruminantes**. V Seminário de Iniciação Científica da UFT. Ano de 2009.

SANTOS, M.V.F., GÓMEZ CASTRO, A.G., PEREA, J.M., GARCÍA, A., GUIM, A.E PÉREZ HERNÁNDEZ, M. **Fatores que afetam o valor nutritivo das silagens de forrageiras tropicais**. Archivos de Zootecnia, v.59, p. 25-43, 2010.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. **Análises de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235p.

SILVEIRA, M. A.; DIAS, L. E. D.; ALVIM, T. C.; TAVARES, I. B.; SANTANA, W. R.; SOUZA, R. S. **A Cultura da Batata-doce como Fonte de Matéria Prima para Etanol**. Boletim técnico. LASPER – UFT. Palmas, 2008, 64 p.

SILVEIRA, M. A. **Batata-doce: Bioenergia na agricultura familiar**. Trabalho apresentado no 53º Congresso Brasileiro de Olericultura, Palmas, 2014.

SILVEIRA, M. A.; SOUZA, F. R.; ALVIM, T. C.; DIAS, L. E. D.; SANTANA, W. R.; VITAL, M. de K. G. S.; GOUVÊA, G. R. dos S. R.; COSTA, D. M. da. **A Cultura da batata-doce como fonte de matéria prima para produção de etanol**. Boletim técnico. LASPER – UFT. Palmas, 2014, 48 p.

SILVEIRA, C. R. **O resíduo da produção de etanol de batata-doce (RBD) como fonte de adubação potássica orgânica**. 2014. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação de Eng. Ambiental) - Universidade Federal do Tocantins. Palmas, 2014.

SONG, J., LI, D., LIU, C., ZHANG, Y., **Optimized microwaveassisted extraction of total phenolics (TP) from Ipomoea batatas leaves and its antioxidant activity**. Jiangsu Academy of Agricultural Sciences. Innovative Food Science & Emerging Technologies. Vol 12. Pages 282–287. 2011.

SOUZA, A.B. **Avaliação de cultivares de batata-doce quanto atributos agrônômicos desejáveis**. Ciência Agrotécnica. Lavras, v.24, n.4, p.841-845, 2000.

TAVARES, I. B. **Desenvolvimento de cultivares de batata-doce e técnicas de bioprocessos visando à implantação de mini-usinas de álcool combustível como alternativa para pequenas e médias propriedades na Região Norte**. 2006. 42 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Campus de Palmas, UFT, Palmas, 2006.

WIDODO, Y., WAHYUNINGSIHA, S., UEDAB, A. **Sweet Potato Production for Bio-ethanol and Food Related Industry in Indonesia: Challenges for Sustainability**. Procedia Chemistry, v.14, p.493–500, 2015. Disponível em: <<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>>. Acesso em: 13 ago. 2015.

WOOLFE, J. A. **Sweet Potato: An Untapped Food Resource**. Cambridge University Press, Cambridge, UK., 1992, 643 p.