

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 2

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Carmen Lúcia Voigt
(Organizadora)

Impactos das Tecnologias na Engenharia Química 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Natália Sandrini e Lorena Prestes

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia química 2 [recurso eletrônico] / Organizadora Carmen Lúcia Voigt. – Ponta Grossa (PR): Atena Editora, 2019. – (Impactos das Tecnologias na Engenharia Química; v. 2)

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-236-4

DOI 10.22533/at.ed.364190304

1. Engenharia química – Pesquisa – Brasil. I. Voigt, Carmen Lúcia. II. Série.

CDD 660.76

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Empresas do segmento de alimentos e bebidas que adotam inovação e tecnologia em seus produtos, processos e serviços são reconhecidas e valorizadas pelo consumidor, conseqüentemente competitivas no mercado. A área industrial alimentícia é apenas uma das inúmeras opções que o engenheiro químico tem como campo de trabalho. Mas dentro desta, suas atribuições são variadas, formando um profissional capaz de atuar em múltiplas tarefas.

A necessidade de novas tecnologias na indústria de alimentos requer otimização dos processos de transformação e fabricação, desenvolvimento de novos produtos, avanço da biotecnologia, garantia no controle da qualidade dos produtos, análise econômica dos processos, além da garantia do controle ambiental dos rejeitos e efluentes industriais.

A inovação é fundamental para o desenvolvimento de qualquer empresa. No setor de alimentos não é diferente, e cada vez mais os consumidores desejam consumir novos produtos que consigam aliar sabor, nutrição, qualidade e segurança. Assim como uma destinação correta de resíduos e uso de subprodutos que favorecem consumidor e meio ambiente.

Neste segundo volume, apresentamos inovações tecnológicas na Engenharia Química no setor de alimentos e resíduos de alimentos com estudos estatísticos de controle e processos, modelagem matemática, estudo cinético, sínteses, caracterizações, avaliação de propriedades, rendimento e controle analítico.

A Indústria Alimentar está em evolução constante e a tecnologia desempenha um papel cada vez mais importante neste setor. Os avanços científicos e técnicos permitem hoje produzir alimentos e bebidas que se adaptam melhor à procura dos consumidores de uma forma segura, com processos produtivos mais sustentáveis e eficientes, cobrindo a procura dos mercados globais.

Convidamos você a conhecer os trabalhos expostos neste volume relacionados com alimentos, bebidas, resíduos de alimentos com utilização tecnológica de novos recursos para o produto ou processo.

Bons estudos.

Carmen Lúcia Voigt

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO E PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL DA ENCAPSULAÇÃO DE RESÍDUOS DO ABATE DE AVES	
Caroline Machado da Silva Marlei Roling Scariot Leonardo da Silva Arrieche	
DOI 10.22533/at.ed.3641903041	
CAPÍTULO 2	8
OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE HIDRÓLISE ENZIMÁTICA DE VÍSCERAS DE FRANGO PARA OBTENÇÃO DE HIDROLISADOS PROTEICOS	
Tatiane Francini Knaul Schaline Winck Alberti Ana Maria Vélez	
DOI 10.22533/at.ed.3641903042	
CAPÍTULO 3	21
ESTUDO ESTATÍSTICO DO TEOR DE LIGNINA OXIDADA PARA O BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR APÓS O PRÉ-TRATAMENTO COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO ALCALINO	
Anna Alves da Silva Vieira Isabelle Cunha Valim Vinnicius Ferraço Brant Alex Queiroz de Souza Ana Rosa Fonseca de Aguiar Martins Cecília Vilani Brunno Ferreira dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.3641903043	
CAPÍTULO 4	26
IMPLANTAÇÃO DO CONTROLE ESTATÍSTICO NO PROCESSO DE CALEAÇÃO DA FABRICAÇÃO DE AÇÚCAR	
Lorena Marcele de Faria Leite Euclides Antônio Pereira de Lima Ana Cláudia Chesca Flávia Alice Borges Soares Ribeiro	
DOI 10.22533/at.ed.3641903044	
CAPÍTULO 5	31
CONTROLE ANALÍTICO PARA FERMENTAÇÃO ALCÓOLICA EM INDÚSTRIA CANAVIEIRA	
Douglas Ramos Alves Amanda Martins Aguiar Ana Paula Silva Capuci	
DOI 10.22533/at.ed.3641903045	

CAPÍTULO 6 43

UTILIZAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS PARA OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE DESLIGNIZAÇÃO DO BAGAÇO DA CANA-DE-AÇÚCAR COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

Isabelle Cunha Valim
Anna Alves da Silva Vieira
Vinnicius Ferraço Brant
Alex Queiroz de Souza
Ana Rosa Fonseca de Aguiar Martins
Cecília Vilani
Brunno Ferreira dos Santos

DOI 10.22533/at.ed.3641903046

CAPÍTULO 7 49

SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE METILCELULOSE A PARTIR DE BAGAÇO DE CANA

Luís Fernando Figueiredo Faria
Cláudia dos Santos Salim
Luís Gustavo Ferroni Pereira
Elisângela de Jesus Cândido Moraes

DOI 10.22533/at.ed.3641903047

CAPÍTULO 8 56

ESTUDO CINÉTICO DA PRODUÇÃO DE HIDROMEL PELAS CEPAS *Saccharomyces cerevisiae* Lalvin 71b 1122 e *Saccharomyces bayanus* RED STAR PREMIER BLANK

Ana Katerine de Carvalho Lima Lobato
Lucas Gois Brandão
Victor Hoffmann Barroso

DOI 10.22533/at.ed.3641903048

CAPÍTULO 9 73

FILTRAÇÃO APLICADA AO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DA VINHAÇA

Fernando Oliveira de Queiroz
Jéssica Oliveira Alves
Marcelo Bacci da Silva

DOI 10.22533/at.ed.3641903049

CAPÍTULO 10 95

CARACTERIZAÇÃO E TRATAMENTO, EM ESCALA INDUSTRIAL, DO LICOR NEGRO GERADO PELA ETAPA DE DESLIGNIFICAÇÃO DO ALGODÃO

Lucrécio Fábio dos Santos
Flávio Teixeira da Silva
Teresa Cristina Brasil de Paiva

DOI 10.22533/at.ed.36419030410

CAPÍTULO 11 111

Saccharomyces cerevisiae FED-BATCH FERMENTATION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHOD FOR ADJUSTING MODEL PARAMETERS TO EXPERIMENTAL DATA

Marco César Prado Soares
Gabriel Fernandes Luz
Aline Carvalho da Costa
Matheus Kauê Gomes
Beatriz Ferreira Mendes
Lucimara Gaziola de la Torre
Eric Fujiwara

DOI 10.22533/at.ed.36419030411

CAPÍTULO 12	118
EXPERIMENTAL DESIGN FOR OPTIMAL PRODUCTION OF ALKALINE PHOSPHATASE UNDER LIQUID FERMENTATION WITH <i>Aspergillus</i> sp	
Juliane Medeiros De Marco Jennifer Salgado da Fonseca Ricardo Lima Serudo	
DOI 10.22533/at.ed.36419030412	
CAPÍTULO 13	123
ESTUDO DO MODELO DE NÚCLEO DE RETRAÇÃO NA EXTRAÇÃO DE CAFEÍNA COM CO ₂ SUPERCRÍTICO	
Matheus Manhães Vieira da Silva João Vítor Melo Amaral Carlos Minoru Nascimento Yoshioka Ana Beatriz Neves Brito	
DOI 10.22533/at.ed.36419030413	
CAPÍTULO 14	128
DETERMINAÇÃO EXPERIMENTAL DA SOLUBILIDADE DE α -TOCOFEROL EM MISTURAS DE ETANOL+ÁGUA	
Iago Henrique Nascimento de Morais Ricardo Amâncio Malagoni	
DOI 10.22533/at.ed.36419030414	
CAPÍTULO 15	136
CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE PERPÉTUA-ROXA (<i>Centratherum punctatum</i> Cass.) OBTIDO POR HIDRODESTILAÇÃO	
Rafael Henrique Holanda Pinto Maria Caroline Ferreira Rodrigues Wanessa Almeida da Costa Renato Macedo Cordeiro Eloisa Helena de Aguiar Andrade Raul Nunes de Carvalho Junior	
DOI 10.22533/at.ed.36419030415	
CAPÍTULO 16	143
MODELAGEM MATEMÁTICA DA EXTRAÇÃO DE ÓLEO DE <i>Bidens Pilosa</i> L. USANDO FLUIDO SUPERCRÍTICO	
Ramon Gredilha Paschoal Marianne Lima Higinio Marisa Fernandes Mendes	
DOI 10.22533/at.ed.36419030416	
CAPÍTULO 17	161
RENDIMENTO E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO ÓLEO ESSENCIAL DE <i>Piper divaricatum</i> EM FUNÇÃO DA GRANULOMETRIA E MÉTODO DE EXTRAÇÃO	
Erick Monteiro de Sousa Tainá Oliveira dos Anjos Rafaela Oliveira Pinheiro Márcia Moraes Cascaes Lidiane Diniz do Nascimento Eloisa Helena de Aguiar Andrade	
DOI 10.22533/at.ed.36419030417	

CAPÍTULO 18 167

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO E TEMPERATURA PARA OBTENÇÃO DO EXTRATO DE *Mentha spicata* L. UTILIZANDO EXTRAÇÃO SUPERCRÍTICA

Tháiris Karoline Silva Laurentino
Thuany Naiara Silva Laurentino
Ariovaldo Bolzan

DOI 10.22533/at.ed.36419030418

CAPÍTULO 19 172

ESTUDO REOLÓGICO DA POLPA DE JUÇARA (*Euterpe edulis* Mart) EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E TEOR DE SÓLIDOS SOLÚVES

Italo Iury de Souza Guida
Harvey Alexander Villa Vélez
Audirene Amorim Santana
Romildo Martins Sampaio

DOI 10.22533/at.ed.36419030419

CAPÍTULO 20 179

OBTENÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA DA POLPA DE ABACAXI ATRAVÉS DE EQUAÇÕES MATEMÁTICAS

Relyson Gabriel Medeiros de Oliveira
Williane Moraes de Souza
João Carlos Soares de Melo
Carlos Helaídio Chaves Costa
Adair Divino da Silva Badaró

DOI 10.22533/at.ed.36419030420

CAPÍTULO 21 186

CINÉTICA DE SECAGEM E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA POLPA DO FRUTO DE *Eugenia patrisii* Vahl. (MYRTACEAE)

Erick Monteiro de Sousa
Tainá Oliveira dos Anjos
Lidiane Diniz do Nascimento
Eloisa Helena de Aguiar Andrade
Cristiane Maria Leal Costa
Lênio José Guerreiro de Faria

DOI 10.22533/at.ed.36419030421

CAPÍTULO 22 192

MODELAGEM MATEMÁTICA DA CINÉTICA DE SECAGEM DE TOMATES TIPO CEREJA E UVA POR MODELOS SEMITEÓRICOS E EMPÍRICOS

Heitor Otacílio Nogueira Altino
Renata Nepomuceno da Cunha

DOI 10.22533/at.ed.36419030422

CAPÍTULO 23 207

SECAGEM DO EXTRATO DA CASCA DE BERINJELA EM SPRAY DRYER COM ADIÇÃO DE ADJUVANTES

Raissa Henrique Silva
Erica Cortez de Lima
Suziani Cristina de Medeiros Dantas
Thayse Naianne Pires Dantas
Maria de Fátima Dantas de Medeiros

DOI 10.22533/at.ed.36419030423

CAPÍTULO 24 214

CINÉTICA DE SECAGEM DO MESOCARPO DE BACURI

Layrton José Souza Da Silva
Dennys Correia Da Silva
Ilmar Alves Lopes
Harvey Alexander Villa Vélez
Audirene Amorim Santana

DOI 10.22533/at.ed.36419030424

CAPÍTULO 25 219

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS NO ESTUDO DA SECAGEM E ORIENTAÇÃO DA MATRIZ DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO E ACETATO DE AMIDO PELO MÉTODO *TAPE-CASTING*

Ana Luiza Borges Guimarães
João Borges Laurindo
Vivian Consuelo Reolon Schmidt

DOI 10.22533/at.ed.36419030425

CAPÍTULO 26 232

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE MALTODEXTRINA NO PROCESSO DE LIOFILIZAÇÃO DE MANGABA

Antonio Jackson Ribeiro Barroso
Francisco De Assis Cardoso Almeida
João Paulo De Lima Ferreira
Luzia Márcia De Melo Silva
Deise Souza De Castro
Joselito Sousa Moraes
Micheline Maria Da Silva Ribeiro

DOI 10.22533/at.ed.36419030426

CAPÍTULO 27 237

OXIDAÇÃO DE DIFERENTES AÇÚCARES UTILIZANDO CATALISADOR DE PdPtBi/C

Fabiana dos Santos Lima
João Guilherme Rocha Poço

DOI 10.22533/at.ed.36419030427

CAPÍTULO 28 250

PROSPECÇÃO DE FUNGOS FILAMENTOSOS DO BIOMA CAATINGA COM POTENCIALIDADE PARA PRODUÇÃO DE QUITINASE

José Renato Guimarães
Kaíque Souza Gonçalves Cordeiro Oliveira
Eudocia Carla Oliveira de Araújo
Maria Lúcia da Silva Cordeiro
Isabella da Rocha Silva
Ranoel José de Sousa Gonçalves

DOI 10.22533/at.ed.36419030428

CAPÍTULO 29 257

PROJETO CONCEITUAL E ANÁLISE ECONÔMICA PRELIMINAR DO PROCESSO DE PERVAPORAÇÃO PARA RECUPERAÇÃO DO AROMA DO SUCO DE ABACAXI

Bárbara Carlos Bassane

Marianna Rangel Antunes

Cecília Vilani

Roberto Bentes de Carvalho

DOI 10.22533/at.ed.36419030429

CAPÍTULO 30 274

EFEITOS DO TAMANHO DOS GRÂNULOS, DO REVESTIMENTO E DO TIPO DE FERTILIZANTE NA LIBERAÇÃO DE AMÔNIA EM FERTILIZANTES NITROGENADOS

Pedro Queiroz Takahashi

Gabriel Costa de Paiva

Marcelo Andrade de Godoy

José Mauro de Almeida

Deusanilde de Jesus Silva

DOI 10.22533/at.ed.36419030430

SOBRE A ORGANIZADORA..... 279

FILTRAÇÃO APLICADA AO PROCESSO DE CONCENTRAÇÃO DA VINHAÇA

Fernando Oliveira de Queiroz

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,
Programa de Mestrado Profissional em Inovação
Tecnológica, Uberaba – MG

Jéssica Oliveira Alves

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,
Departamento de Engenharia Química, Uberaba
- MG

Marcelo Bacci da Silva

Universidade Federal do Triângulo Mineiro,
Programa de Mestrado Profissional em Inovação
Tecnológica, Uberaba – MG

RESUMO: O setor sucroalcooleiro é caracterizado pela alta produtividade, alta demanda de água e pelas possibilidades de reutilização e reaproveitamento deste recurso natural. No atual contexto de sustentabilidade e uso racional de recursos hídricos devido à escassez, surgiram novas tecnologias para a produção sucroalcooleira, através do reaproveitamento hídrico da água gerada pelo processo de evaporação da vinhaça, pois plantas de evaporação de vinhaça são grandes consumidoras de energia. O objetivo deste trabalho foi estudar a operação de evaporação de vinhaça, propondo em escala laboratorial uma filtração simples de amostras de vinhaça de uma usina sucroalcooleira, visando reduzir o consumo energético no processo de

evaporação. Foram avaliadas características qualitativas da água recuperada da evaporação. Como resultado principal obteve-se, em amostras de vinhaça previamente filtradas, uma maior concentração em graus Brix, e conseqüentemente, maior geração de água para reuso. Assim, os resultados quantitativos e qualitativos encontrados em relação a filtração da vinhaça para a operação de evaporação, apontam para a viabilidade do reuso da água a partir da concentração da vinhaça, podendo utilizá-la para fins menos nobres, reduzindo a captação.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração. Vinhaça. Evaporação. Água. Reuso.

ABSTRACT: The sugarcane industry is characterized by high productivity, high demand for water and the possibilities of reuse of this natural resource. In this actual context of sustainability and rational use of water resources due to the scarcity, innovative technologies appeared, especially for sugar and alcohol production, through the reuse of water generated by the process of evaporation of vinasse, as vinasse evaporation plants are great consumers of energy. The objective of this work was to study the vinasse evaporation process, proposing in a laboratory scale a simple filtration of vinasse samples from a sugar-alcohol plant, aiming to reduce the energy consumption in the

evaporation process. It also evaluates the qualitative characteristics of water recovered from evaporation. As a main result, a higher concentration of the brix was obtained in previously filtered vinasse samples, therefore, a greater reduction in vinasse volume, and a higher generation of water for reuse. Thus, the quantitative and qualitative results obtained related the filtration of the vinasse to the evaporation operation, point to the viability of the water reuse form the vinasse concentration, being able to use it for less noble purpose, reducing the uptake.

KEYWORDS: Filtration. Vinasse. Evaporation. Water. Reuse.

1 | INTRODUÇÃO

Historicamente, a atividade da agroindústria da cana-de-açúcar possui relevante importância, contribuindo para o desenvolvimento econômico, social, geração de emprego e renda nas regiões onde estão instaladas. A crescente demanda energética, aliada a uma forte conscientização ambiental, fez com que o bioetanol se consolidasse como uma fonte de energia renovável muito atrativa. Embasada principalmente nos conceitos de sustentabilidade, como já tinha sido previsto na década de 70, marcada pela criação do Programa nacional do Alcool (Proálcool), este combustível surgiu como alternativa à diminuição da dependência dos combustíveis fósseis, ou seja, substituir parte da gasolina por etanol (AMORIM & LEÃO, 2005).

O Brasil ocupa atualmente a segunda colocação no ranking em produção de etanol, sendo superado pelos Estados Unidos. A principal matéria-prima no país é a cana-de-açúcar, enquanto que no líder mundial essa produção se dá pelo processamento do milho (LEITE, 2011).

A principal utilização do bioetanol no Brasil é como combustível e chega a representar 44% do total de gasolina consumida no país (BASSO et al., 2008). Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), foi colhida na safra 2015/16 uma área de 9.004 milhões de hectares, com total de cana-de-açúcar moída de 665.586,2 milhões de toneladas, 40,4 % para produção de açúcar, com produção de etanol total em 30.461.524,5 bilhões de litros; sendo 22,5% de etanol anidro e 37,1% de etanol hidratado.

Devido as mudanças climáticas globais, faz-se necessário o uso de medidas de responsabilidade entre os agentes públicos e privados, visando evitar o agravamento das condições ambientais e, conseqüentemente, queda na produção e qualidade de vida da população. Assim, a agroindústria da cana-de-açúcar cumpre seu dever em contribuir efetivamente para proteção da água com a utilização de tecnologias para o aproveitamento hídrico de seus resíduos.

Para as várias etapas de transformação da cana-de-açúcar nas usinas, necessita-se consumir uma grande quantidade de água, conceito este fomentado pelos valores de captação praticados no passado e que, graças a técnicas de reuso da água, vem diminuindo abruptamente nas últimas décadas. O consumo do recurso estimado em

1990 era de 5,6 m³ por tonelada de cana-de-açúcar processada, já em 2005 esse consumo foi reduzido para 1,8 m³, graças a inovações tecnológicas inseridas no mercado sucroalcooleiro (CARVALHO, 2011). A Secretaria do Meio Ambiente, através do decreto SMA-88 de 19 de dezembro de 2008, determina que, para novas usinas e para as ampliações de usinas existentes, o consumo de água deva ser de 0,7 m³ por tonelada de cana processada (SILVA et al., 2011).

A escassez das fontes de captação tem feito as indústrias canavieiras refletirem sobre alternativas que possam suprir a demanda pelo recurso, garantindo a segurança hídrica das mesmas. Neste contexto, ações e inovações tecnológicas visando o reaproveitamento hídrico da vinhaça merecem destaque, pelos grandes volumes gerados e possibilidades de aproveitamento da água pela evaporação. Sendo esta técnica substancial para a redução da captação nos corpos d'água, podendo garantir a segurança hídrica da indústria canavieira.

Visando contribuir para o reaproveitamento hídrico na usina sucroalcooleira, este trabalho apresenta como objetivo principal avaliar a viabilidade do reuso da água a partir da vinhaça por processos físicos de concentração. Será adotada uma sequência de operações em bancada de laboratório: filtrar a vinhaça e evaporá-la em seguida, analisando as propriedades físico-químicas da água de reuso, comparando o gasto energético para evaporar a vinhaça submetida a uma filtração simples com a vinhaça *in natura*. Pretende-se também propor uma utilização para a água de reuso.

2 | REVISÃO DA LITERATURA

2.1 A cana de açúcar no Brasil

No Brasil, o plantio da cana-de-açúcar iniciou-se em São Vicente, em 1522, e em Pernambuco em 1533. No século XVI a produção era de 4,5 toneladas e no século seguinte, 9 toneladas, alcançando acima de 300 milhões de libras e despertando a cobiça de outras nações (PAULA, 2011).

A cana-de-açúcar faz parte da história do Brasil, sendo um dos mais importantes produtos agrícolas do país, sendo cultivada desde a colonização. Do seu processo de industrialização obtêm-se, como produtos, o açúcar nas suas mais variadas formas e tipos e o álcool (anidro e hidratado) (PAULA, 2011).

Atualmente, as unidades industriais situam-se preferencialmente nas regiões favorecidas pelas melhores condições de solo, clima, logística e mercado consumidor, sobretudo no estado de São Paulo. Devido à escassez de áreas disponíveis para o plantio da cana, juntamente com a elevação do preço exigido para este tipo de atividade, os empreendimentos no setor migraram para regiões menos tradicionais, tais como Triângulo Mineiro, Sul de Goiás e Mato Grosso do Sul, com destaque para o Triângulo Mineiro que foi a região com maior incremento neste tipo de atividade (SANTA CRUZ, 2011).

Dentre os principais produtos das agroindústrias de cana-de-açúcar tem-se o álcool hidratado, álcool anidro e o açúcar. Recentemente, as novas tecnologias, a busca constante de maiores eficiências energéticas e a melhor utilização das matérias primas e resíduos, fizeram surgir a “bioeletricidade”, que é produzida através da queima da biomassa da cana (PASSOS, 2009).

2.2 Processamento da cana-de-açúcar

Após o corte, a cana é encaminhada para o setor industrial, onde serão gerados os produtos e subprodutos do seu processamento. Transportada através de caminhões, a cana-de-açúcar inicia a primeira etapa industrial, denominada de pesagem. As análises das amostras de cana são feitas em relação aos teores de sacarose, e impurezas vegetais e minerais (MAGALHÃES, 2010). Após a pesagem, a cana é descarregada nas mesas alimentadoras e segue para moagem, onde são separados o caldo e o bagaço; adiciona-se uma grande quantidade de água para melhor se lixiviar a sacarose.

Após a extração, o caldo segue para o tratamento e o bagaço para a queima em caldeiras, gerando vapor para suprir a demanda térmica das várias etapas do processo. Na etapa de tratamento do caldo, impurezas orgânicas e minerais devem ser eliminadas para obter um caldo claro, límpido e brilhante.

A clarificação do caldo é constituída de três etapas: a sulfitação, seguida da calagem e o aquecimento. Para melhorar a clarificação, e eliminar os resíduos como graxas e ceras vegetais, o caldo é submetido ao aquecimento na entrada de um decantador. Essa etapa é de grande importância, pois permite que os microrganismos sejam eliminados. Atingindo a fase final, o caldo clarificado pode ser encaminhado para a produção do açúcar e do etanol (MAGALHÃES, 2010).

O caldo para a produção de etanol é alimentado em biorreatores contendo microrganismos denominados leveduras, responsáveis por converter a sacarose em etanol. O mosto, denominado de vinho, segue para o processo de centrifugação, onde ocorre a separação dessas leveduras do vinho. O vinho segue para a destilação, onde o etanol é separado e concentrado, obtendo-se como subproduto deste processo a vinhaça (CARVALHO, 2011).

2.3 Resíduos e subprodutos da fabricação de etanol

A indústria sucroenergética, gera resíduos. Atualmente tem importância o aproveitamento comercial destes resíduos, que são alternativas energéticas e financeiras para otimizar os ganhos. Entre os resíduos pode-se destacar: a vinhaça, o bagaço, a torta de filtro e a palha da cana (SANTA CRUZ, 2011). A Figura 1 demonstra as etapas de possíveis reutilizações dos resíduos.

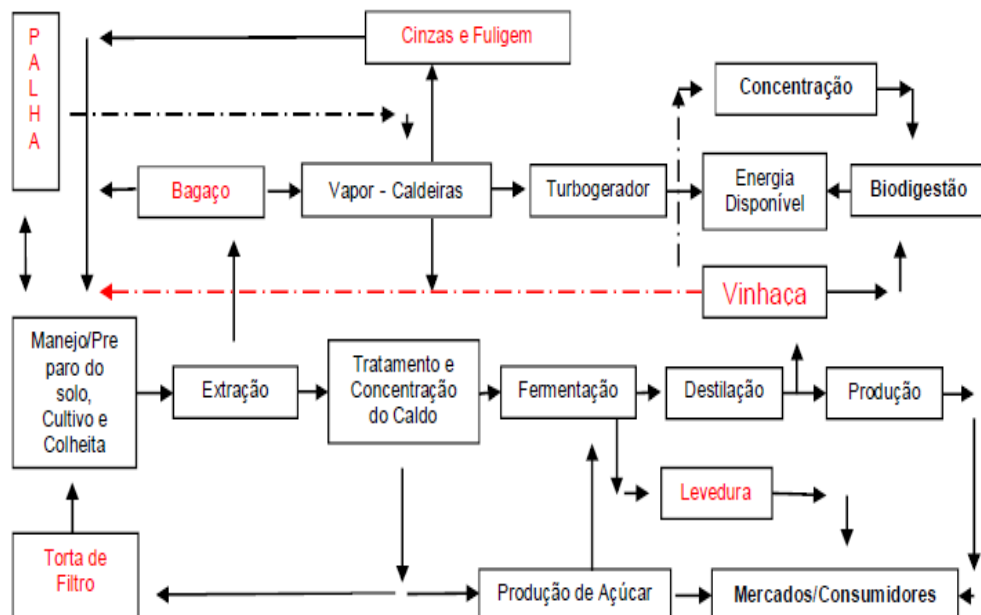


Figura 1: Organograma de reuso de resíduos no setor sucroenergético.

Fonte: SANTA CRUZ, 2011.

O bagaço tem utilização como combustível para queima em caldeiras e geração de vapor, tornando a unidade autossuficiente em energia elétrica. O excedente pode ser vendido às concessionárias. A palha, antes queimada no campo, hoje pode potencializar a comercialização de energia e, assim como outros materiais lignocelulósicos, pode também produzir etanol por meio do processo de hidrólise.

Como resíduo da destilação do etanol, a vinhaça merece destaque devido aos grandes volumes gerados. Há alguns anos, seu destino final eram os cursos d'água, mas devido ao potencial poluidor, isto agora é proibido. Adota-se hoje a prática de irrigá-la em áreas de lavouras de cana recém cortadas, porém essa é uma técnica perigosa, pois caso não seja bem aplicada, traz prejuízos ao solo como alterações no pH, saturação com potássio e lixiviação, com consequente contaminação das águas subterrâneas mais superficiais (SILVA et al., 2011).

2.3.1 Origem e caracterização da vinhaça

A vinhaça é originada durante a destilação do álcool, como produto de fundo na coluna. É um líquido marrom escuro, ácido e de cheiro característico. Tem em média 7% de sólidos, onde 75% destes são orgânicos e biodegradáveis, possuindo alta Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DQO), dando origem ao seu grande potencial poluidor (PAULA, 2011).

Segundo Paula (2011), a estimativa de produção de vinhaça é de 10 a 15 litros para cada litro de etanol produzido, podendo ter sua quantidade variada dependendo da graduação alcoólica do vinho oriundo da fermentação, valores estes que estão

apresentados na Tabela 1.

Teor alcoólico do vinho °GL	Volume de vinhaça L/L etanol
10	8
9	9,11
8	10,5
7	12,29
6	13,65
5	16,65

Tabela 1: Teor alcoólico do vinho e produção de vinhaça

Fonte: Adaptado de Paula, (2011).

Considerando-se um teor alcóolico do vinho variando de 5% a 10%, calcula-se a quantidade de vinhaça gerada. Os valores estão na Tabela 2.

°GL do vinho	Tipo de aquecimento	
	Indireto L de vinhaça/ L Etanol	Direto L vinhaça/ L Etanol
5	16,5	19,57
6	13,64	16,16
7	11,52	13,74
8	9,95	11,94
9	8,74	10,55
10	7,79	9,44

Tabela 2: Volume de vinhaça pelo teor alcoólico do vinho

Fonte: CARVALHO, (2011).

Nota-se que o aumento do teor alcóolico do vinho diminui a quantidade de vinhaça gerada. Este efeito pode ser conseguido através de tecnologias com fermentações do mosto com altos teores de açúcares, sendo atualmente o grande desafio dos fornecedores de levedura para a indústria sucroalcooleira. Carvalho (2011) considerou a produção de 13 L vinhaça/L etanol, apresentando a evolução da produção de etanol e de geração de vinhaça conforme a Figura 2.

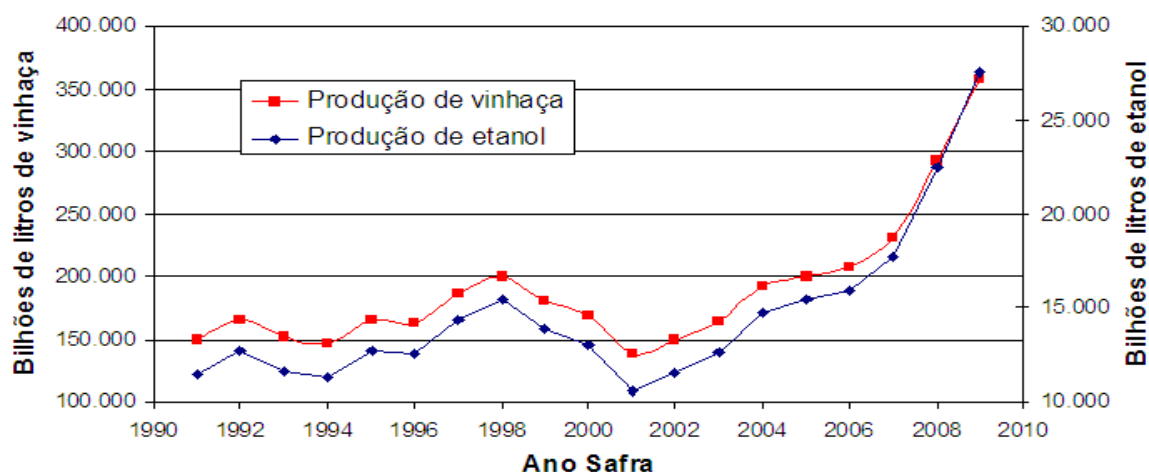


Figura 2: Evolução da produção de etanol e geração de vinhaça.

Fonte: CARVALHO, (2011).

A vinhaça é constituída de 98% de água e 2% de sólidos dissolvidos, possibilitando o reuso da água contida na mesma, que é uma importante inovação tecnológica para a indústria canavieira (SOUZA et al., 2012).

Inúmeros fatores podem interferir na composição da vinhaça, dentre os quais pode-se destacar a composição da matéria-prima e do mosto, a condução da fermentação, as leveduras utilizadas na fermentação e até mesmo os equipamentos utilizados durante a destilação (PAULA, 2011).

2.3.2 Evaporação da vinhaça

Segundo Carvalho (2011), a evaporação é uma etapa largamente utilizada pelas indústrias químicas e de processos, com as mais distintas finalidades, desde obter produtos mais concentrados ou suprir necessidades de diminuir custos com o transporte. Na indústria sucroalcooleira, o processo evaporativo do caldo da cana é realizado para se concentrar os açúcares e, mais recentemente, para concentrar a vinhaça.

Como fonte de energia térmica para a evaporação nas usinas sucroalcooleiras, utiliza-se o vapor proveniente das turbinas de geração de energia, que é saturado e com pressão de 1,5 kg/cm², podendo ser chamado de vapor “vivo”. O vapor gerado pelo processo de evaporação é denominado de vapor vegetal, de baixa pressão em relação ao vapor vivo.

Norbert Rillieux desenvolveu o sistema de evaporação de múltiplos efeitos nos anos de 1840, após estudar a indústria do açúcar e outras indústrias (REIN, 2007). Quanto maior o número de efeitos, maior será a economia de energia, permitindo que se forneça energia térmica apenas ao primeiro efeito para a etapa de concentração. A economia térmica é dada pela razão da água evaporada e a quantidade de vapor

fornecida ao sistema através do primeiro efeito. Ao mesmo tempo, este arranjo aumenta os custos fixos devido aos fatores termodinâmicos envolvidos, sendo que, somente através de um balanço térmico pode-se quantificar o número de efeitos necessários ao processo.

Concentrar a vinhaça significa retirar água sem perder a sua constituição de sólidos, e esta redução é função da concentração em graus Brix. A Tabela 3 apresenta a redução do volume em função da concentração.

Concentração (°Brix)	Relação vinhaça/etanol	Redução de volume (%)
3	13	0,0
5	7,8	40,0
10	3,9	70,0
15	2,6	80,0
20	1,95	85,0
25	1,56	88,0
30	1,30	90,0
60	0,65	95,0

Tabela 3: Redução percentual de volume em função da concentração e equivalente relação vinhaça por litro de etanol

Fonte: Adaptado de Silva, (2012).

A geração de água condensada pelo processo de evaporação, permite uma possibilidade de uso dessa água nas operações da usina de etanol, levando-se em conta as características quantitativas e qualitativas das correntes geradas (RODRIGUES, et.al., 2013).

2.3.3 Reuso da água

Segundo a OMS (Organização Mundial de Saúde, 2003), a definição de reuso da água se dá de três formas, tendo como objetivo a redução no consumo de água e controle de efluentes:

1. Reuso indireto: ocorre quando a água, já utilizada uma ou mais vezes, é descarregada em águas superficiais e usadas a jusante;
2. Reuso direto: uso planejado de esgoto tratado com finalidades de uso industrial, irrigação ou recarga de aquíferos;
3. Reciclagem interna: reuso planejado, utilizado nas instalações industriais.

Os benefícios proporcionados pelo reuso da água estão contidos no âmbito social, ambiental e econômico. Atualmente existe uma grande preocupação em preservar este recurso natural, essencial para a sobrevivência de todo um ecossistema e da humanidade. Porém, em contrapartida, este recurso pode se tornar uma importante via de disseminação de doenças pelo seu mal-uso. A água é um recurso natural finito, podendo ser fronteira para o desenvolvimento econômico, social, e em especial, de

produção para as usinas (SILVA, et al., 2011).

O potencial de reuso das correntes de água na usina estão ilustradas na Figura 3. Essas correntes, dependendo do local de reuso, poderiam sofrer algum tipo de tratamento físico ou químico, atendendo assim as necessidades qualitativas. Apesar de ser a maior corrente hídrica da usina, o estudo proposto por Rodrigues, et al. (2013), não considerou a vinhaça, pois a utilização direta deste recurso hídrico se torna difícil devido a sua grande carga de sólidos em suspensão, alta DBO e baixo pH.

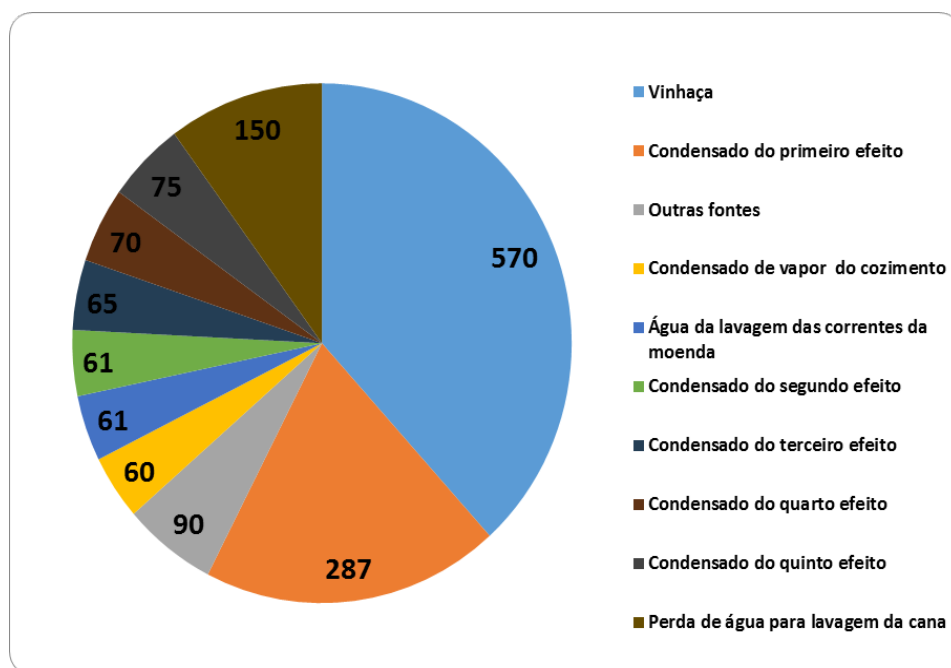


Figura 3: Relação de água para potencial reutilização (kg/t cana).

Fonte: Adaptado de Rodrigues et al, (2013).

Normalmente, para projetos de reuso da água na indústria, são necessários alguns tipos de tratamento, afim de atender as várias etapas do processo, dentre os quais pode-se destacar: abrandamento (remoção de cálcio e magnésio), desmineralização (ânions e cátions), filtração (particulados) e osmose reversa (remoção de íons) (RODRIGUES et al. 2013).

O setor sucroalcooleiro busca cada vez mais reutilizar a água, proporcionando menores pressões sobre os recursos hídricos, atingindo patamares de captação de água capazes de conseguir certificações ambientais, o “BONSUCRO” é uma certificação a qual estabelece limites de captação para produção de açúcar (20 kg H₂O/ kg açúcar) e etanol (37,5 L/L etanol), o que equivale de 2 a 3,2 m³ de água captada por tonelada de cana processada. (CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013).

3 | MATERIAIS E MÉTODOS

A abordagem dessa pesquisa é quantitativa. A parte experimental foi desenvolvida

em laboratório, envolvendo observação e aplicação de técnicas analíticas, análise de pH, porcentagem de sólidos solúveis, grau Brix (°Brix) e condutividade, todas realizadas no laboratório da usina logo após a coleta das amostras. Os ensaios de evaporação e análise da água de reuso foram realizados no Laboratório de Análises Físico-Químicas do Instituto de Ciências Tecnológicas e Exatas da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM) em Uberaba – MG. A metodologia dessas análises e os equipamentos empregados serão descritos nos tópicos a seguir. Todas as análises foram realizadas em triplicatas.

3.1 Coleta das amostras

O presente trabalho foi desenvolvido utilizando amostras de vinhaça coletadas na destilaria de uma usina de açúcar e etanol, localizada no município de Uberaba – MG. Foram coletadas por amostra aproximadamente três (3) litros de vinhaça (de uma só vez), entre os meses de outubro e novembro de 2016 (em semanas distintas). Todas as coletas foram realizadas em quadruplicatas.

Após as coletas, as amostras foram armazenadas em frascos plásticos, colocados em caixa térmica a 4°C e transportados para o local de realização das análises físico-químicas e o ensaio de evaporação.

3.2 Caracterização físico-química da vinhaça

A caracterização da vinhaça usou os seguintes parâmetros:

3.2.1 *Massa específica*

A massa específica da vinhaça é um parâmetro importante a ser analisado, já que valores elevados indicam uma maior quantidade de matéria orgânica e/ou inorgânica em sua composição. Essa análise foi realizada pelo método da picnometria.

Para garantir que os valores encontrados fossem adequados, fez-se uma calibração no picnômetro, determinando seu volume real. Esse volume foi determinado utilizando água destilada, já que é um líquido que possui a densidade conhecida em várias temperaturas.

Após quantificar-se o volume real do picnômetro, determinou-se a densidade da amostra de vinhaça de forma semelhante ao procedimento realizado no processo de calibração, em que a massa foi determinada pela diferença da massa do picnômetro com vinhaça e a massa do picnômetro vazio. A medição da densidade da vinhaça ocorreu em condições ambientes.

3.2.2 *Condutividade*

A condutividade das amostras de vinhaça foi mensurada utilizando o condutivímetro digital de bancada, marca DIGIMED, modelo DM-22. A célula de condutividade foi

lavada com água destilada e seca com papel macio e absorvente. Primeiramente, calibrou-se o aparelho, em seguida efetuou-se a leitura da condutividade da amostra. A condutividade elétrica foi expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo diretamente proporcional a quantidade de íons livres, eletrólitos, existentes na composição química da vinhaça.

3.2.3 pH

Os valores de pH das amostras de vinhaça foram determinados utilizando pHmetro de bancada digital, marca DIGIMED, modelo DM-22. A leitura do valor do pH foi feita ao imergir os eletrodos limpos e secos na amostra, deixando-se equilibrar por um minuto, sempre mantendo a amostra sob agitação suave para garantir sua homogeneidade. Os valores foram anotados com uma casa decimal.

3.2.4 Grau brix

O grau Brix é a quantidade de sólidos solúveis em produtos líquidos, tais como caldo de cana. Uma unidade de °Brix corresponde a 1 g de sólidos solúveis em suspensão em 100 g de solução (% m/m ou % m/v), a uma determinada temperatura. Entretanto, como este não é um método específico, o °Brix também pode determinar outros tipos de sólidos que possam estar solúveis, que é o caso da vinhaça, (CARVALHO, 2011). Neste trabalho, a leitura do °Brix foi realizada por um refratômetro digital marca Anton Paar, modelo Abemat 200.

3.2.5 Sólidos

Por definição, segundo norma técnica da SABESP (1999), sólido é o estado da matéria caracterizado pela rigidez, por uma forma própria e pela existência de um equilíbrio com o líquido proveniente de uma fusão. Toda substância que permaneça com essas características na vinhaça, mesmo após operações de secagem e calcinação, pode ser denominada sólido.

As análises dos sólidos em suspensão e dissolvidos, ocorreram com filtração e evaporação de 140 mL de amostra de vinhaça em um cadinho previamente seco, a 105°C e pesado até sua massa permanecer constante.

A amostra de vinhaça foi filtrada à vácuo, em filtro seco e pesado previamente, com poro de diâmetro $\leq 1,2 \mu\text{m}$ antes da evaporação. Neste caso, o material retido no filtro foi seco a 105°C em estufa, enquanto o material filtrado foi evaporado usando bico de Bunsen e seco a 180°C também em estufa, para determinar os sólidos em suspensão e dissolvidos, respectivamente.

a) Sólidos em Suspensão Total: após a filtração à vácuo, transferiu-se o filtro para um cadinho previamente pesado, colocando o mesmo para secar em estufa a uma temperatura variando de 103°C a 105°C. Foram realizadas pesagens até massa

constante ou a diferença entre as pesagens consecutivas serem < 4% ou 0,5 mg (o que ocorresse primeiro), conforme norma da SABESP (1999).

b) Sólidos Dissolvidos Totais: o filtrado da vinhaça foi colocado em cadinho previamente pesado, a evaporação foi efetivada dispondo o cadinho sobre uma tela de amianto e aquecido usando o bico de Bunsen. Ao final da etapa de evaporação, a amostra foi então seca na estufa a 180°C, realizadas pesagens até a sua massa constante ou a diferença entre as pesagens consecutivas serem < 4% ou 0,5 mg (o que ocorrer primeiro).

3.2.6 Filtração da vinhaça

Um sistema de filtração simples foi empregado, filtrando-se 1 L da amostra de vinhaça em escala laboratorial, uma alternativa econômica, prática e rápida, dispensando assim, equipamentos de controle de vazão e de nível, diminuindo o custo do trabalho e simplificando o procedimento experimental. O sistema utilizado é composto por um elemento filtrante, uma malha de nylon com 200 mesh (0,074 mm) de abertura, colocada em um funil, conforme a Figura 4.



Figura 4: Esquema de filtração da vinhaça.

Fonte: Do autor, (2017).

3.2.7 Evaporação da vinhaça

A etapa de concentração da vinhaça foi realizada pela sua evaporação através do uso de um ebulidor elétrico comercial, com capacidade para evaporar 1 litro de vinhaça durante 30 minutos. A cada cinco minutos após a solução atingir 90°C, eram coletados 10 mL de amostra, colocada em recipiente hermeticamente fechado para a realização da leitura do °Brix em um refratômetro digital. A análise ocorria de 2 a 3 horas após o experimento, não interferindo assim na qualidade das amostras. A Figura 5 apresenta o ebulidor elétrico.

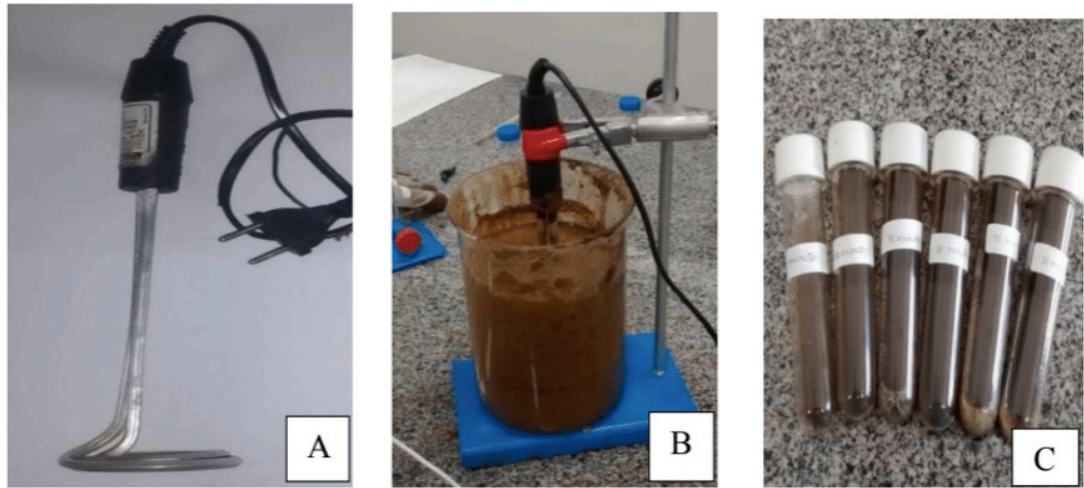


Figura 5: Ebulidor elétrico para evaporação de vinhaça e leitura do oBrix.

A: Ebulidor elétrico; B: Evaporação da vinhaça; C: Amostras para análise de Brix.

Fonte: Do autor, (2017).

3.2.8 Caracterização físico-química da água de reuso

Para a geração de água a partir da vinhaça, foi utilizado um sistema de evaporação no laboratório, onde uma manta aquecedora forneceu a energia térmica para o sistema. Um volume de 1 litro de vinhaça *in natura* foi colocado em um balão volumétrico e submetido a evaporação durante uma hora.

Para a recuperação da água da vinhaça, um condensador foi acoplado na saída do balão e a água coletada para análises físico-químicas. O sistema é apresentado na Figura 6. O mesmo sistema foi adotado para a vinhaça filtrada.

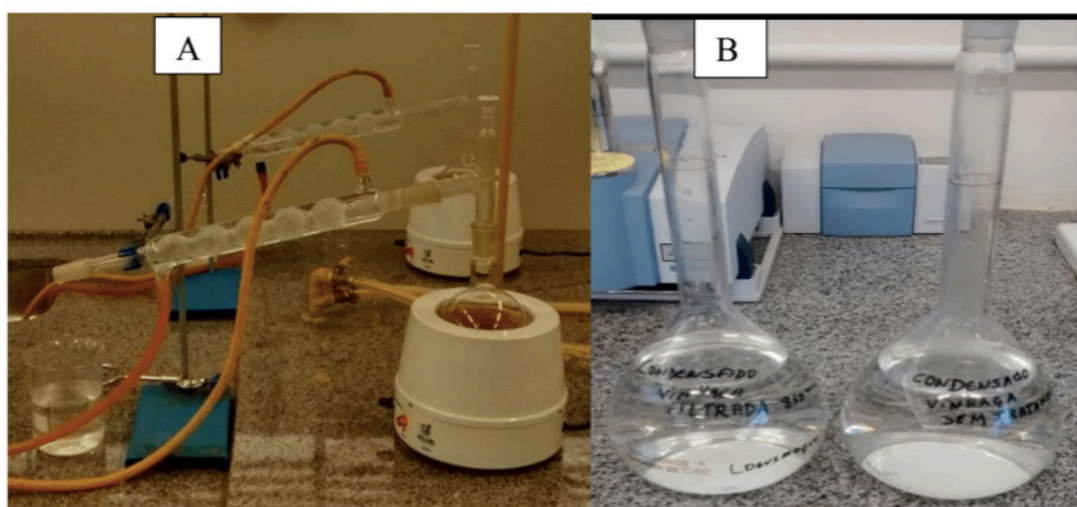


Figura 6: Esquema para a evaporação da vinhaça.

A – Sistema de evaporação da água; B – Condensado a ser analisado.

Fonte: Do autor, (2017).

As análises empregadas na caracterização da água de reuso quanto ao pH e à condutividade foram semelhantes às descritas na caracterização da vinhaça nos itens anteriores deste trabalho. As amostras de água também foram submetidas às análises de turbidez, dureza total, alcalinidade total e cor.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do estudo estão dispostos em tabelas e figuras para uma melhor compreensão, conforme descrito a seguir:

4.1 Análises físico-químicas da vinhaça

A Tabela 4 apresenta os valores obtidos das amostras de vinhaça coletadas. Conforme o Centro de Tecnologia Canavieira (2008), estes valores podem variar devido a vários fatores, tais como composição da matéria-prima, composição do mosto, condução da fermentação e destilação. No estudo de Carvalho (2010), são apresentados valores de °Brix para vinhaça *in natura* variando de 2 a 5%, valores estes bem próximos aos encontrados neste trabalho. O resultado para o pH foi idêntico ao apresentado por Paula (2011). Quanto à condutividade, não foi possível correlacionar com trabalhos anteriores.

Amostra	°Brix	Condutividade	pH
I	3,30	8,922	4,72
II	2,09	6,332	4,67
III	2,90	9,717	4,67
Resultado	2,76 ± 0,63	8,32 ± 1,77	4,68 ± 0,03

Tabela 4: Valores e média do pH, °Brix e condutividade das amostras

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

A Tabela 5 apresenta os resultados do °Brix do ensaio de evaporação.

Tempo (Minutos)	°Brix da vinhaça Filtrada (%)	°Brix da vinhaça <i>in natura</i> (%)
5	3,12 ± 0,84	2,92 ± 0,34
10	3,94 ± 0,95	3,46 ± 0,39
15	5,36 ± 1,21	4,42 ± 0,67
20	6,96 ± 1,54	5,36 ± 0,86
25	9,01 ± 2,14	6,90 ± 1,32
30	15,03 ± 3,68	9,53 ± 2,49

Tabela 5: Elevação do °Brix durante a evaporação da vinhaça

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

A vinhaça *in natura* apresentou valores de °Brix menores do que a vinhaça filtrada. O efeito da evaporação provoca uma elevação do °Brix e, conseqüentemente, redução de seu volume, sendo esta técnica importantíssima do ponto de vista ambiental, pois possibilita a reutilização da água gerada no processo industrial (SANTA CRUZ, 2011). Os resultados aparecem na Figura 7.

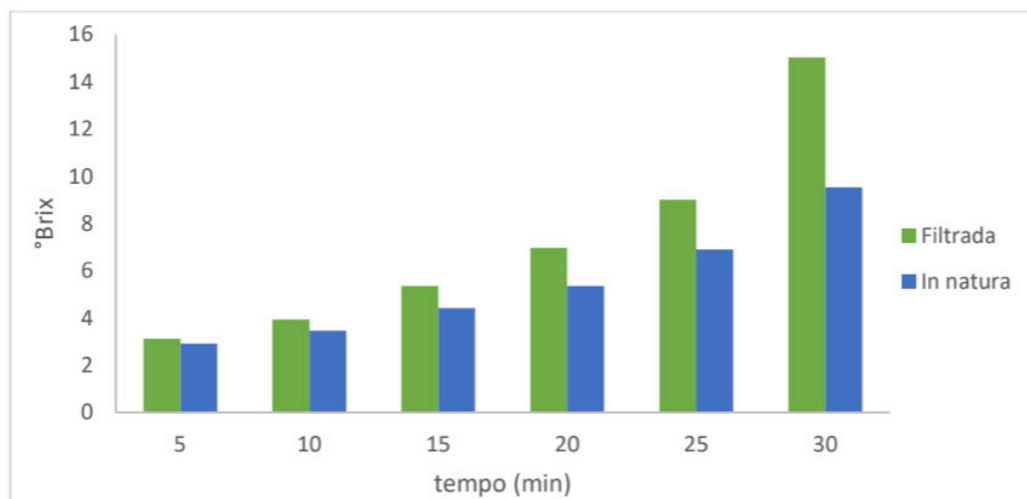


Figura 7: °Brix, referente a etapa da evaporação da vinhaça in natura e filtrada

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

Percebe-se que a vinhaça, após ser filtrada, obteve uma maior concentração devido a solução estar livre de partículas em suspensão, o que pode atrapalhar a troca térmica e, conseqüentemente, a evaporação. Houve, portanto, maior redução de volume na vinhaça submetida à filtração simples, gerando assim maior quantidade de água de reuso, o que possibilitaria uma maior redução na captação nos corpos d'água.

4.2 Análise dos sólidos presentes nas amostras de vinhaça

A qualidade do tratamento aplicado nas águas residuárias está relacionada às diversas substâncias nelas existentes, pela variedade ou quantidade destas substâncias. Os dados de sólidos têm sua importância para o acompanhamento e avaliação da eficiência dos sistemas de tratamento das águas residuais, que é o caso da vinhaça de cana-de-açúcar, SABESP (1999).

Embora sejam parâmetros físicos, os níveis de sólidos em suas diversas frações fornecem informações preliminares para qualificar o efluente. A ação de interferentes em análises de sólidos é limitada pela sua própria concentração nas amostras, SABESP (1999).

As Tabelas 6 e 7 apresentam os valores quantificados para os sólidos que ficaram retidos durante o processo de filtração e os que permaneceram no filtrado da vinhaça, respectivamente. Pela análise dos resultados, verifica-se que o filtro conseguiu reter aproximadamente, em média, 2,5 g (1,8% m/m) de sólidos da amostra, os quais

poderão ser adicionados a outros fertilizantes organominerais provenientes da planta industrial e posterior aplicação nas lavouras de cana-de-açúcar.

Amostra	Sólidos retidos (g)
I	2,3409 ± 0,20
II	2,7259 ± 0,20
III	2,4278 ± 0,20
Resultado	2,4982 ± 0,20

Tabela 6: Quantidade sólidos retidos na filtração (g)

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

Amostra	Sólidos (g)
I	2,1975 ± 0,05
II	2,0630 ± 0,05
III	2,1119 ± 0,05
Resultado	2,1241 ± 0,05

Tabela 7: Quantidade de sólidos na amostra de vinhaça após filtração (g)

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

Nos estudos de controle e caracterização de efluentes industriais, as determinações dos níveis de concentração das diversas frações de sólidos resultam em um quadro geral da distribuição das partículas com relação ao tamanho (sólidos em suspensão e dissolvidos), e com relação à natureza (fixos ou minerais e voláteis ou orgânicos), (SABESP, 1999).

Como já era esperado, o processo de filtração não reteve todos os sólidos. Uma massa de 2g de sólidos permaneceram na amostra de vinhaça, provavelmente composta por sais, açúcares fermentescíveis e outros produtos misturados ao mosto de caldo de cana utilizados para a produção de etanol, que resultaram na composição da vinhaça.

Segundo CTC (2008), em estudos sobre a utilização da vinhaça em lavadores de gases de caldeiras de usinas sucroalcooleiras, a composição da vinhaça de cana-de-açúcar possuía, em média, 18420 mg/L de sólidos dissolvidos totais (SDT), conforme identificado em amostras de usinas do estado de São Paulo. Neste trabalho, foram encontrados aproximadamente 16000 mg/L em média nas amostras analisadas. Comparando os resultados encontrados a respeito dos sólidos solúveis totais, o CTC (2008) apresenta, em média, o valor 9500 mg/L, enquanto neste trabalho o resultado foi maior, 11410 mg/L. A Tabela 8 mostra os valores calculados para as concentrações dos sólidos em suspensão total e sólidos dissolvidos totais nas amostras de vinhaça.

Amostra	SST (mg/L)	SDT (mg/L)
I	10381,89 ±1299,51	16534,73 ±511,15
II	13218,76 ±1299,51	15522,71 ±511,15
III	10630,14 ±1299,51	15390,28 ±511,15
Resultado	11410,63 ±1299,51	15815,90 ±511,15

Tabela 8: Quantidade de sólidos em suspensão total e sólidos dissolvidos totais nas amostras

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

A concentração de sólidos em suspensão é uma medida importante no controle de decantadores e unidades de separação de sólidos, constituem também parâmetro utilizado em análises de balanço de massa. O excesso de sólidos dissolvidos pode levar a graves problemas de salinização do solo, assim como a condutividade também se relaciona com presença de sólidos dissolvidos, (CETESB, 2005).

4.3 Energia necessária para evaporar a vinhaça

Segundo Silva et al. (2011), durante seus estudos sobre a viabilidade econômica e ambiental das técnicas de disposição da vinhaça, concluiu-se que o consumo de vapor de uma planta de evaporação de vinhaça é da ordem de 0,22 a 0,27 kg/L de água evaporada e a energia elétrica em torno de 0,0134 kW/L de água evaporada e a energia elétrica em torno de 0,0134 kW/L de água evaporada.

Carvalho (2011), usando um simulador específico para balanço de massa e energia em evaporadores (Sugars™), concluiu que, para uma planta de evaporação de vinhaça, com capacidade de 325 m³/h, seria necessário fornecer 57 t/h de vapor a 170 KPa e 115°C para garantir a concentração da vinhaça até 21,44% de °Brix, recuperando-se 250 m³/h de água de reuso.

Ainda para Carvalho (2011), para que uma planta produza 1000 m³/dia de etanol, são necessários o processamento de aproximadamente 22 t/dia de cana, e ainda produção de 36000 sacos de açúcar diários. Sendo assim, a implantação de um sistema de evaporação de vinhaça nesta unidade poderia representar o retorno de 0,28 m³ H₂O/t cana, o que representa 28% do consumo estabelecido pela resolução do CONAMA.

De posse dos valores de tensão fornecida da rede elétrica, usando um multímetro, e da corrente consumida pelo equipamento usado para a evaporação, ebulidor elétrico, pôde-se calcular o valor da energia consumida durante o experimento; conforme os dados da Tabela 9.

Tempo (Minutos)	°Brix médio vinhaça filtrada (%)	°Brix médio vinhaça <i>in natura</i> (%)	Energia consumida (J)
5	3,12	2,92	308945,4
10	3,94	3,46	617890,8

15	5,36	4,42	926836,2
20	6,96	5,36	1235781,6
25	9,01	6,9	1544727,0
30	15,03	9,53	1853672,4

Tabela 9: Energia consumida para evaporar a vinhaça

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

Para as duas situações do experimento, foram encontrados os mesmos valores de consumo energético, o que já era esperado. Entretanto, a concentração (°Brix) na amostra de vinhaça filtrada mostrou-se com valores mais elevados, conforme Figura 8.

Pode-se afirmar que o processo de filtração da vinhaça para evaporação obteve melhor desempenho frente à evaporação da vinhaça *in natura*, em função do volume de vinhaça reduzido.

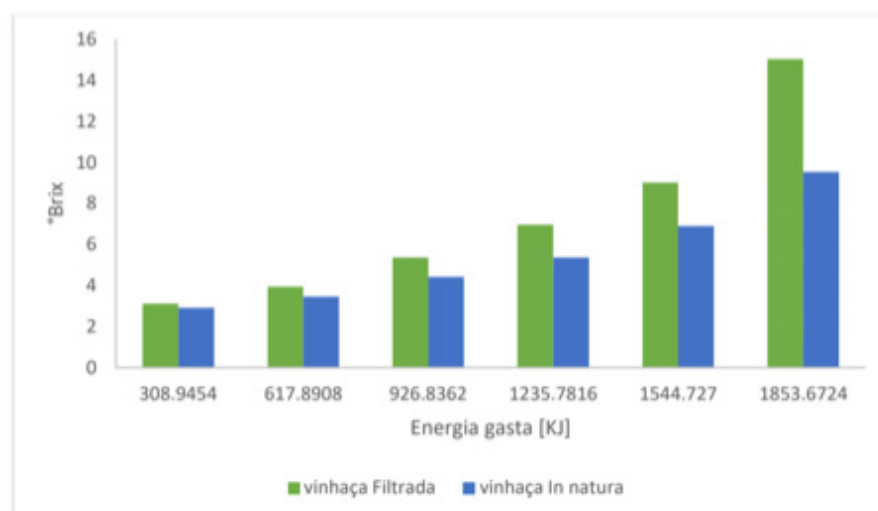


Figura 8: Energia consumida na evaporação da vinhaça in natura e filtrada

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

4.4 Análises físico-químicas da água de reuso

A aplicação e utilização da água em determinadas fases de um processo industrial, determina diferentes tipos de tratamento e respectivos equipamentos, (MARINI, 2012). Para atender a demanda qualitativa da água de reuso, é essencial entender os processos e realizar as análise físico-químicas. Assim, pode-se destiná-la para reutilização direta ou submetê-la a algum tipo de tratamento, afim de adequá-la às condições exigidas por equipamentos ou processos.

É sabido que o potencial de recuperação de água pela evaporação da vinhaça é grande, entretanto, as aplicações e utilização desta água de reuso devem ser bem estudadas, bem como a necessidade de tratamento, (CARVALHO, 2011). A Tabela 10 apresenta os resultados encontrados da água recuperada das amostras de vinhaça,

submetidas ao processo de evaporação.

Parâmetro	Água da vinhaça filtrada	Água da vinhaça <i>in natura</i>
pH	4,50 ±0,01	4,50 ±0,01
Turbidez (NTU)	1,95 ±0,32	1,81±0,24
Dureza total (ppm) *	75,00 ±0,78	70,00 ±0,60
Dureza cálcica (ppm) *	49,00 ±0,28	50,00 ±0,29
Dureza magnésiana (ppm) *	26,00 ±0,50	20,00 ±0,42
Alcalinidade Total (ppm) *	44,00 ±0,40	45,00 ±0,36
Condutividade(μS/cm,25°C)	125,00 ±0,10	115,70 ±0,22

Tabela 10: Resultados analíticos da água de reuso

* Partes por milhão

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

A Tabela 11 apresenta os parâmetros da água bruta desejados e que permitem realizar uma comparação com os resultados analíticos obtidos neste trabalho.

Parâmetro	Limites
pH	6,8 – 8,0
Turbidez (NTU)	Max 20,0
Dureza total (ppm) *	Max 40,0
Dureza cálcica (ppm) *	Max 30,0
Dureza magnésiana (ppm) *	-
Alcalinidade Total (ppm) *	Max 60
Condutividade (μS/cm, 25°C)	Max 100

Tabela 11: Parâmetros da água industrial captada na indústria sucroalcooleira

Fonte: Adaptado de Marini, (2012).

Segundo Marini (2012), valores muito elevados de alcalinidade podem ser indesejáveis em uma água para fins industriais, uma vez que podem ocasionar problemas de formação de depósitos e corrosão. Percebe-se então que o valor encontrado para a alcalinidade está na faixa proposta pelo autor.

A etapa de filtração da vinhaça não alterou a qualidade da água de reuso quanto aos parâmetros analisados, quando comparado a água de reuso da vinhaça *in natura*.

O pH da água de reuso ficou na faixa de acidez, devendo-se então ajustá-lo para a faixa recomendada, para que o mesmo não possa causar corrosão ou danos nos equipamentos ou tubulações da planta industrial.

Os bicarbonatos de cálcio e de magnésio, que também são responsáveis pela alcalinidade, causam a dureza, que pode variar de zero a centenas de miligramas por litro, dependendo da fonte e do tratamento aplicado. O tratamento da água dura para a retirada de Ca²⁺ e Mg²⁺ é conhecido por abrandamento e pode ser realizado

de duas maneiras: precipitação química ou troca iônica. A escolha entre os processos depende das características da água a ser tratada, das necessidades e disponibilidade de recursos de cada empresa (MARINI, 2012).

A turbidez também é um parâmetro que indica a qualidade estética das águas para abastecimento. É um parâmetro operacional de extrema importância para o controle das etapas de coagulação-floculação, sedimentação e filtração (REIN, 2007). Entretanto, o resultado obtido permite afirmar que não seria necessário aplicar nenhum tipo de tratamento para a remoção da turbidez na água de reuso.

Tendo em vista os benefícios quantitativos alcançados pela filtração da vinhaça para a etapa evaporativa da mesma, representa-se na Figura 9 a inserção da etapa de filtração. Pode-se notar que há o surgimento de um novo resíduo sólido no processo produtivo, o qual recomenda-se incorporar aos outros existentes, assim existe também um incremento na carga de fertilizantes organominerais oriundos do processo de produção nas usinas sucroalcooleiras.

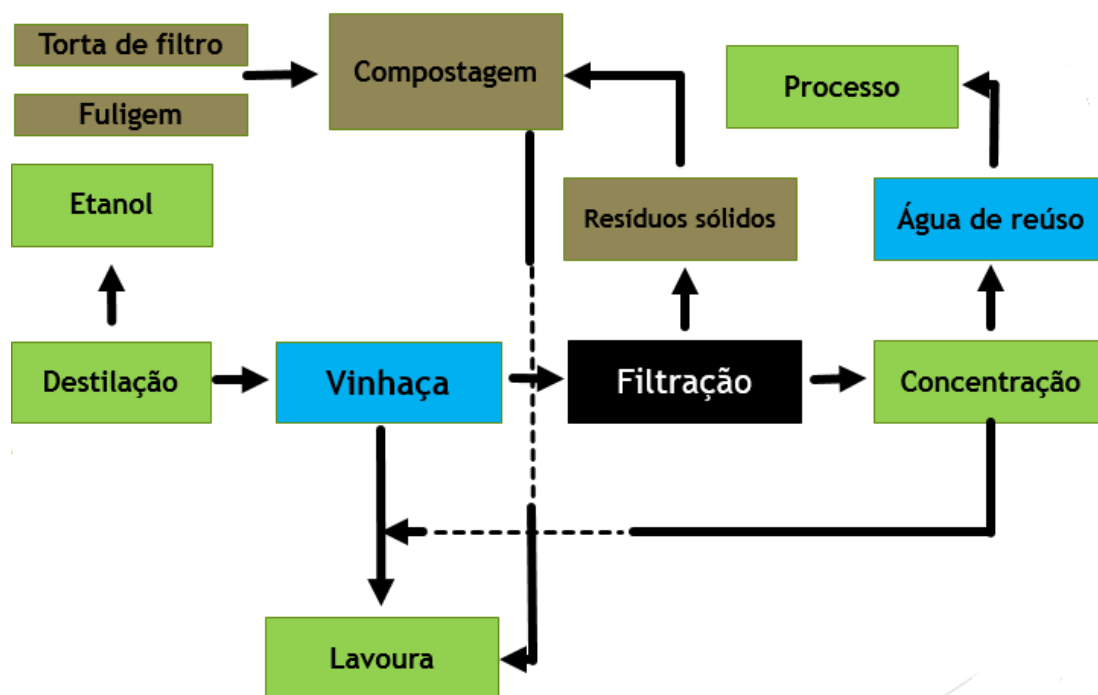


Figura 9: Etapa de filtração da vinhaça na indústria sucroalcooleira.

Fonte: Elaborado pelo autor, (2017).

5 | CONCLUSÃO

No estudo desenvolvido, foram realizadas etapas de filtração e evaporação da vinhaça em escala laboratorial, analisando-se as propriedades físico-químicas da água gerada, onde verificou-se que a etapa de filtração da vinhaça não alterou as propriedades da água de reuso. Entretanto, foi notório a maior concentração dos sólidos solúveis, 15,03 °Brix, na vinhaça filtrada, contra 9,53 °Brix na vinhaça *in natura*,

após as etapas de evaporação. Indica-se, assim, a filtração simples da vinhaça para uma maior elevação do °Brix e, conseqüentemente, maior geração de água para reuso.

Os resultados obtidos no trabalho mostram que existe a viabilidade do reuso da água a partir do processo de concentração da vinhaça de cana-de-açúcar. Pode-se utilizá-la com fins menos nobres, tais como limpeza geral, reposição de água em torres de resfriamento, ou submetida aos tratamentos para atender as necessidades dos equipamentos ou das etapas do processo.

O pH manteve-se na faixa ácida de 4,5 e dureza total de 75 ppm, enquanto recomendam-se faixas de 6 a 8 para o pH e no máximo, 40 ppm de dureza total. O consumo energético mostrou-se idêntico.

Enfim, o desenvolvimento sustentável e inovador da indústria canavieira, deve ser delineado com base no triângulo economia-sociedade-meio ambiente, e para atender à demanda de água os efluentes devem ser usados como uma ferramenta para a proteção das fontes, maximizando a eficiência e reduzindo a captação nas fontes. Os efluentes devem ser vistos como uma oportunidade, em vez de subproduto.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Henrique V.; LEÃO, R. M. **Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia**. Piracicaba. Fermentec, 2005.

BASSO, Luiz C., AMORIN, Henrique V. de, OLIVEIRA, Antônio J. de, LOPES, Mário L. **Yeast Selection For Fuel Ethanol Production On Brazil**. Federation of European Microbiological Societies, FEMS Yeast Res v.8, p.1155–1163, ago. 2008.

CARVALHO, Túlio Camaçari. **Redução do volume de vinhaça pelo processo de concentração**; Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia Mecânica, Bauru, SP- 2011.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Conab), **disponível em:** <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1253&t=2>, acesso em:10 de abr. 2015.

CRH - CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de São Paulo - PERH 2012-2015** - Volume I. Governo do Estado de São Paulo, Secretaria de Saneamento e Recursos Hídricos, São Paulo, 2013.

LEITE, Inácio Ramos. **Avaliação da ação de antibiótico natural na fermentação alcoólica contaminada por cultura mista**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2011.

MAGALHÃES, Andollini. **Metabolismo das Fermentações**. Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia 2010.

MARINI, Valter. **Apostila prática de tratamento de águas industriais- Fluid-Brasil**, apostila elaborada por Valter Marini. São Paulo, 2012.

PASSOS, R. R G. **Avaliação energético-econômica da utilização da vinhaça via biogás ou evaporação seguida de incineração** Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica. São Paulo, 2009.47 p.

PAULA, Nélia Alves de. **Avaliação da utilização de vinhaça como líquido em lavadores de gases**. Dissertação (mestrado) – Universidade de Ribeirão Preto – UNAERP – Ribeirão Preto, SP, 2011.

REIN, Peter, **Engenharia do açúcar de cana**, Verlag Dr Albert Bartens KG, Berlin, 2007. Traduzido por César Miranda e Ericson Marino, Impressão e encadernação: Elbe Drnckerei Wittenberg.

RODRIGUEZ, Mauro F. Chaves. SALAZAR, Klever Joao Mosqueira; ENSINAS, Adriano V.; NEBRA, Silvia A. Energy for Sustainable Development. **Water reuse and recycling according to stream qualities in sugar-ethanol plants**. Fev. 2013, p. 546-554.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. Norma Técnica Interna NTS 013. Revisão 1. São Paulo, 1999, SP.

SANTA CRUZ, Luiz Felipe Lomanto. **Viabilidade técnica/ Econômica/Ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça para o setor sucroenergético do Estado de São Paulo**. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 2011.

SILVA, F. C. da. CESAR, M. A. A.; MRAES, J. de. VILELA, M.; MENDES, C. **Diagnóstico hídrico em destilarias de álcool em São Paulo**. Bioenergia em Revista: Diálogos, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 93-117, jan. /jun., 2011.

SOUZA, J. K. C. et al. **Importância da irrigação para a produção de cana de açúcar no nordeste do Brasil**. Revista Educação Agrícola Superior, Brasília, v. 27, n. 2, p.133-140, 2012.

SOBRE A ORGANIZADORA

CARMEN LÚCIA VOIGT Doutora em Química na área de Química Analítica e Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Especialista em Química para a Educação Básica pela Universidade Estadual de Londrina. Graduada em Licenciatura em Química pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Experiência há mais de 10 anos na área de Educação com ênfase em avaliação de matérias-primas, técnicas analíticas, ensino de ciências e química e gestão ambiental. Das diferentes atividades desenvolvidas destaca-se uma atuação por resultado, como: supervisora de laboratórios na indústria de alimentos; professora de ensino médio; professora de ensino superior atuando em várias graduações; professora de pós-graduação *lato sensu*; palestrante; pesquisadora; avaliadora de artigos e projetos; revisora de revistas científicas; membro de bancas examinadoras de trabalhos de conclusão de cursos de graduação. Autora de artigos científicos. Atuou em laboratório multiusuário com utilização de técnicas avançadas de caracterização e identificação de amostras para pesquisa e pós-graduação em instituição estadual.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-236-4

