

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CAMPUS ARARANGUÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS, TECNOLOGIAS E SAÚDE
DEPARTAMENTO DE ENERGIA E SUSTENTABILIDADE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIA

Helen Just Savi

Concentração e secagem por atomização: uma alternativa de tratamento do resíduo
do etanol de arroz

Araranguá

2020

Helen Just Savi

**Concentração e secagem por atomização: uma alternativa de tratamento do resíduo
do etanol de arroz**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia de Energia do Centro de
Ciências, Tecnologias e Saúde da Universidade
Federal de Santa Catarina, como requisito para a
obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.
Orientador: Prof. Elaine Virmond, Dr.

Araranguá

2020

Helen Just Savi

**Concentração e secagem por atomização: uma alternativa de tratamento do resíduo
do etanol de arroz**

O presente Trabalho de Conclusão de Curso, do Curso de Engenharia de Energia, foi
avaliado e aprovado pela banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Elaine Virmond (Orientador), Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Elise Sommer Watzko, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Fernando Henrique Milanese, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Certificamos que essa é a versão original e final do trabalho que foi julgado adequado
para obtenção do título de Engenheiro/a de Energia.

Prof. Luciano Lopes Pfitscher, Dr.
Coordenador do Curso

Prof. Elaine Virmond, Dr.
Orientador

Helen Just Savi
Autor

Araranguá, 27 de novembro de 2020

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

HELEN JUST SAVI

**CONCENTRAÇÃO E SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO: UMA ALTERNATIVA
DE TRATAMENTO DO RESÍDUO DE ETANOL DE ARROZ**

Araranguá, SC

2020

CONCENTRAÇÃO E SECAGEM POR ATOMIZAÇÃO: UMA ALTERNATIVA DE TRATAMENTO DO RESÍDUO DE ETANOL DE ARROZ

Helen Just Savi¹

RESUMO

A crescente demanda por biocombustíveis promove o aumento da produção de bioetanol e o conseqüente aumento da geração de vinhaça, principal resíduo decorrente da sua produção. Devido ao grande volume gerado e da alta carga orgânica presente, a vinhaça torna-se um problema de disposição final ambientalmente adequada para as usinas de bioetanol. O presente trabalho apresenta a concentração e secagem por atomização como alternativa para o tratamento da vinhaça de etanol de arroz, com o objetivo de fechar o ciclo produtivo do etanol gerando um produto final com alto teor proteico destinado à fabricação de ração animal. Para isso, apresenta-se uma caracterização do produto obtido e estimam-se os custos de produção atrelados ao processo, com foco nos custos energéticos (correspondente a 55,01% dos custos de produção) para analisar a viabilidade econômica do projeto. Para os resultados encontrados, os indicadores financeiros obtidos foram VPL de R\$ 17.017.689,93 e TIR de 81,84%, com *payback* de 1,22 anos, indicando a viabilidade econômica do sistema de secagem.

Palavras-chave: bioetanol, arroz, vinhaça, secagem por atomização.

¹Graduanda do Curso de Engenharia de Energia da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências, Tecnologias e Saúde – CTS, Campus Araranguá, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3210, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88906-072. E-mail: helen-just@hotmail.com.

CONCENTRATION AND ATOMIZATION DRYING AS AN ALTERNATIVE FOR TREATING RICE ETHANOL WASTE

Helen Just Savi¹

ABSTRACT

The growing demand for biofuels promotes an increasing of bioethanol production and a consequent increasing vinasse generation, the main residue resulting from its production. Due to the large volume generated and the high organic load present, vinasse becomes an environmentally adequate final disposal problem for bioethanol plants. The present paper presented the concentration and atomization drying as an alternative for the treatment of rice ethanol vinasse, aiming closing the ethanol production cycle by generating a final product with a high protein content for the manufacture of animal feed. For this, a characterization of the product obtained was presented and the production costs linked to the process were estimated, focusing on energy costs (corresponding to 55.01% of production costs) to analyze the economic viability of the project. For the results found, the financial indicators obtained were NPV of R \$ 17,017,689.93 and IRR of 81.84%, with a payback of 1.22 years, indicating the economic viability of the drying system.

Key-words: ethanol, rice, vinasse, atomization drying.

¹Graduate Student of the Energy Engineering Course at the Federal University of Santa Catarina, Center of Science, Technology and Health - CTS, Rodovia Governador Jorge Lacerda, 3210, Jardim das Avenidas, Araranguá, Santa Catarina, Brasil, CEP 88906-072. E-mail: helen-just@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Diante do interesse mundial em buscar soluções ambientais eficientes e sustentáveis, a transição energética mostra-se imprescindível para minimizar as emissões de gases do efeito estufa. Para atingir a marca de zero emissões líquidas em

2050, o uso de energias renováveis precisa dobrar a cada cinco anos (EPBR, 2020). Neste sentido, o Brasil é, notoriamente, um dos países com a matriz energética mais renovável no mundo. Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP), este fato deve-se, em parte, ao pioneirismo mundial no uso de biocombustíveis, levando o Brasil a alcançar uma posição almejada por muitos países que buscam desenvolver fontes renováveis de energia como alternativas estratégicas ao petróleo. Segundo Lopes *et al.* (2016), a inserção de biocombustíveis no mercado brasileiro se deu devido à primeira crise do petróleo em meados da década de 1970, por meio do programa PróAlcool, lançado pelo governo brasileiro em 1975 visando ao incentivo à produção de álcool para reduzir a necessidade de importação de combustíveis derivados de petróleo no mercado interno.

Segundo a Agência Nacional de Petróleo (ANP), biocombustíveis são derivados de biomassa renovável que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores a combustão ou em outro tipo de geração de energia. No Brasil, os dois principais biocombustíveis líquidos utilizados são o etanol obtido a partir de cana-de-açúcar e, em escala crescente, o biodiesel. Segundo Lopes *et al.* (2016), o etanol produzido a partir da cana-de-açúcar tem redução na taxa de emissão de gases de efeito estufa entre 40-60%, quando comparada à gasolina. Segundo o Balanço Energético Nacional de 2019, a participação de renováveis na matriz energética brasileira em 2018 equivale a 45,3%, enquanto a nível mundial essa participação cai para 13,4%, dados de 2016 (EPE, 2019b). Do percentual brasileiro proveniente de fontes renováveis, cerca 17,4% do total é oriundo da biomassa da cana de açúcar (EPE, 2019a).

Atualmente a política nacional que conduz o planejamento estratégico e desenvolvimento de biocombustíveis é o RenovaBio, instituído pela Lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017, com o intuito do cumprimento dos compromissos assumidos pelo País no âmbito do Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima. Dentre os principais objetivos do RenovaBio, estão a contribuição com a adequada relação de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis, contribuindo com previsibilidade para a participação competitiva no mercado nacional de combustíveis (BRASIL, 2017a).

Segundo a *Renewable Fuels Association* (2019), o Brasil é segundo maior produtor de bioetanol no mundo, responsável por cerca de 28% de toda a produção

mundial, ficando atrás apenas dos EUA, cuja produção em 2018 foi de 60,8 bilhões de litros, cerca de 56% da produção do combustível no mundo. Segundo a EPE (2019b), em 2018 a produção brasileira de etanol foi de 32,3 bilhões de litros, novo recorde histórico, com um aumento de 17% em relação a 2017.

No entanto, com a crescente produção de etanol em todo o mundo, a preocupação quanto aos impactos ambientais relacionados também aumenta (FUKUSHIMA *et al.*, 2019). Dentre os resíduos gerados na produção de etanol, a vinhaça se destaca como o resíduo mais preocupante devido ao grande volume produzido e à sua composição físico-química, que apresenta elevada carga orgânica. Para Lora e Venturini (2012), estima-se que a vinhaça corresponda a aproximadamente 57% de todos os resíduos produzidos pelas usinas de bioetanol e que seu custo de disposição tenha aumentado significativamente no decorrer dos anos. Fuess (2013) estima que a taxa de geração média de vinhaça corresponda, em geral, a 13 L por litro de etanol produzido, enquanto Parsaee *et al.* (2019), afirma que a produção mundial atual de vinhaça é de cerca de 22,4 GL.

Para Fukushima *et al.* (2019), a perspectiva de crescimento na produção de etanol deve atingir 65 milhões de metros cúbicos até 2050, valor 133% maior que os 28,3 milhões de m³ produzidos no Brasil em 2016. Com este aumento na produção, segundo Ao *et al.* (2020) faz-se necessário o desenvolvimento de rotas de desperdício zero para a valorização da vinhaça com a finalidade de alcançar o desenvolvimento sustentável.

No contexto do desenvolvimento de rotas de desperdício zero, as biorrefinarias surgem como alternativas promissoras. O desenvolvimento de novas rotas de produção de bioetanol visando o aproveitamento de todos os resíduos provenientes do processo possibilita a disseminação de novas matérias-primas para complementar a utilização da cana-de-açúcar. Além disso, a obtenção de novos coprodutos de valor agregado oriundos do processo produtivo do bioetanol poderia viabilizar a operação de microusinas descentralizadas do eixo centro-oeste.

A secagem após concentração da vinhaça residual é uma alternativa de tratamento à vinhaça residual do processo de produção de bioetanol. O presente trabalho apresenta essa alternativa utilizando como objeto de estudo uma destilaria instalada no extremo sul catarinense que utiliza resíduo de arroz como matéria-prima. Esse tipo de tratamento visa a valorização de um resíduo com alto potencial poluente, transformando-o em um coproduto rentável por meio de um processo produtivo

ecoeficiente, aproximando a empresa de uma rota de desperdício zero. Para tanto, levantou-se em campo informações pertinentes ao processo para, por fim, relacionar os custos associados ao processo e a viabilidade econômica do mesmo.

2 JUSTIFICATIVA E CONTEXTUALIZAÇÃO

A produção catarinense de arroz irrigado por inundação está concentrada no litoral sul do estado, sendo que os municípios de Turvo, Meleiro, Forquilha, Nova Veneza e Jacinto Machado compreendem, aproximadamente, 33% de toda a área produtiva do grão no estado (BRASIL, 2018).

Nessa região, há uma usina de bioetanol, selecionada como objeto de estudo deste trabalho, com localização geográfica estratégica para receber o escoamento de um dos resíduos da produção de arroz da região, a quirera de arroz, que consiste na principal matéria-prima de seu processo produtivo. Essa usina tem capacidade de processamento média de cerca de 500 toneladas de quirera/mês, com capacidade nominal de produção de 550 m³ de bioetanol/mês, com recuperação do dióxido de carbono proveniente da etapa fermentativa do processo produtivo com capacidade produtiva de até 120.000 kg/mês. Do processo produtivo atual estima-se a geração média de vinhaça de 90 m³/dia.

A empresa foi fundada em 2007 justamente com o objetivo de aproveitar o excedente do resíduo da produção de arroz da região, devido ao seu valor à época ser irrisório. No decorrer do tempo, no entanto, a utilização do resíduo de arroz na fabricação de ração animal e a exportação da quirera como produto alimentício para países subdesenvolvidos gerou o aumento do preço ao ponto de a produção do etanol tornar-se quase inviável. Diante desse fato a empresa teve necessidade de rever seu processo produtivo, buscando formas de fechar seus ciclos para reduzir custos e viabilizar sua operação, buscando vantagem competitiva na concorrência direta com o álcool de cana-de-açúcar, muito utilizado na produção de bebidas alcoólicas.

No sentido de fechamento de ciclos, a vinhaça residual da etapa de destilação pode ser a oportunidade de criar um novo produto ao mesmo tempo em que se efetua o tratamento desse resíduo, deixando de ser uma problemática ambiental, uma vez que é considerado o principal resíduo do processo de produção de bioetanol. Além disso, o fechamento do ciclo produtivo com possibilidade de geração de renda a partir de um efluente, cujo tratamento e disposição final de outra forma agrega custos ao processo,

permite avaliar a matéria-prima por um novo viés. No caso do arroz, essa mudança no processo, aliado ao desenvolvimento de novas cultivares do grão com maior rendimento produtivo por hectare direcionado à produção de bioetanol, pode colocar a matéria-prima como opção considerável dentre as amiláceas disponíveis.

Inicialmente e durante períodos em que outra forma de tratamento encontrava-se indisponível, todo o volume de vinhaça era doada para pequenos criadores de gado da região, para fins de consumo animal *in natura*, em troca da coleta do resíduo na fonte. Essa logística, no entanto, não se mostrava eficiente, uma vez que nem sempre a coleta supria a demanda de retirada do resíduo, mantendo-se como uma problemática para a empresa.

Assim, a empresa buscou opções de tratamento que possibilitassem, além da destinação final ambientalmente adequada do resíduo, a geração de renda a partir desse efluente. Nesse sentido, a biodigestão apresentava-se como uma alternativa promissora para o tratamento da vinhaça. O biodigestor tinha por objetivo promover o tratamento de todo o volume de vinhaça gerado no processo de produção de bioetanol, no qual a matéria orgânica convertida poderia ser utilizada como fertilizante, enquanto o biogás produzido seria utilizado como biocombustível em um processo de cogeração.

A experiência, no entanto, não foi bem-sucedida. Por não atender às expectativas, o projeto do biodigestor foi finalizado em 2016, mesmo ano de instalação, após apenas 6 meses de operação. Nesse período nunca se atingiu a produção de biogás prevista em projeto, de forma que o biodigestor nunca chegou a operar em sua plena capacidade.

Com isso, a empresa optou pelo investimento em um sistema de secagem composto de um evaporador de múltiplos efeitos para concentração da vinhaça e de um secador por atomização tipo *spray dryer*, obtendo assim um produto em pó com alto teor proteico, destinado como matéria-prima para composição de ração animal.

A viabilidade deste investimento está ligada diretamente aos custos de operação do conjunto de secagem. Assim, o levantamento dos custos energéticos atrelados ao processo é fundamental tanto na determinação do preço final do produto quanto na viabilidade econômica desta alternativa de tratamento da vinhaça.

3 OBJETIVOS

O objetivo geral deste Trabalho de Conclusão de Curso é analisar a viabilidade do tratamento e aproveitamento do efluente líquido proveniente da produção de etanol à

base de arroz – a vinhaça –, por meio de processos de concentração e secagem por atomização, visando obter um coproduto de valor agregado que possibilite diminuir os custos de produção e tornar o etanol de arroz mais competitivo no mercado energético de forma sustentável.

Para tanto, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

- Caracterizar o produto final, a levedura integral seca, obtido após o processo de concentração e secagem;
- Estimar a demanda energética do sistema de secagem e relacionar seu custo agregado ao produto final;
- Levantar os custos de produção agregados ao processo;
- Analisar a viabilidade econômica do processo.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Arroz como matéria-prima para a produção de etanol

O arroz é uma planta da família das gramíneas, do gênero *Oryza*, que possui em torno de vinte espécies, sendo a mais cultivada a *Oryza sativa*. O arroz é constituído principalmente por carboidratos e possui proteínas, lipídios, vitaminas e minerais. A proporção dos nutrientes no grão é influenciada pela variação genotípica, condições do clima, fertilizantes, qualidade do solo, processamento/beneficiamento, armazenamento e cozimento (CONAB, 2015).

Em termos de produção mundial, em 2016 o Brasil era o nono maior produtor mundial de arroz (FAO, 2016). Dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2019) apontam que na safra brasileira de 2018/2019 foram produzidas 10.449,3 mil toneladas do grão. Apesar de ser uma cultura comum em quase todo o país, dados do Ministério da Agricultura, Pesca e Abastecimento (BRASIL, 2018) apontam que a maior parte desta produção ocorre em cinco estados: o Rio Grande do Sul concentrou 68,9% da produção nacional de 2017/18, Santa Catarina, 9,8% da produção, Mato Grosso, 4,1%, Maranhão, 2,7% e Tocantins com 6,0% da produção nacional.

Segundo Carvalho e colaboradores (2011), as principais etapas do beneficiamento do arroz compreendem o descascamento (20% da casca e 80% de arroz integral), a brunição e o polimento, onde são retirados, parcial ou totalmente, o embrião

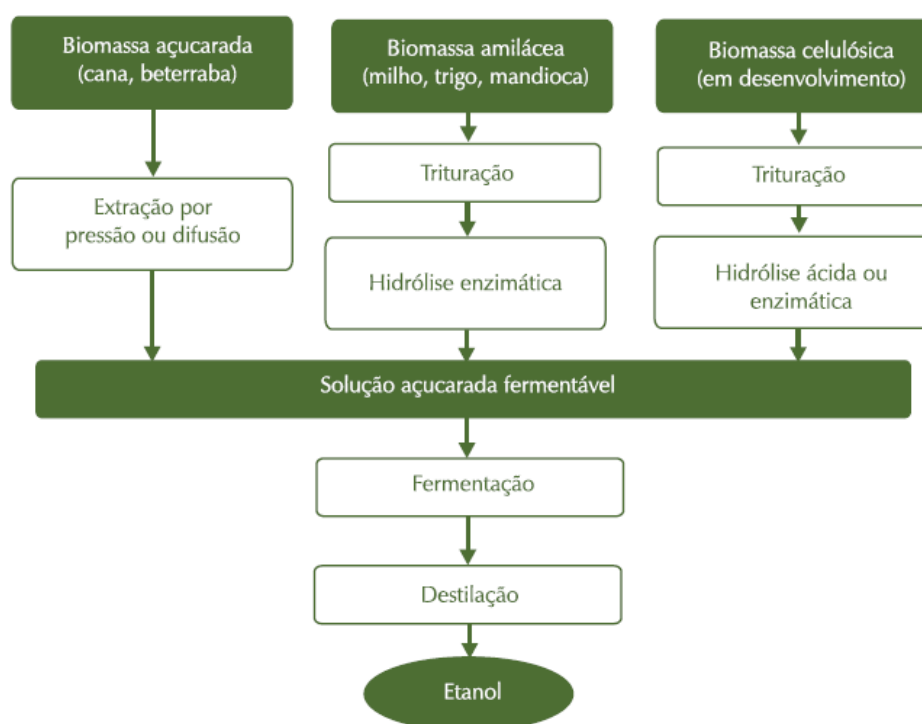
e a maior parte da película que recobre o arroz integral. Destas etapas, resulta o farelo com, aproximadamente, 8% do volume do produto em casca e, logo após, ocorre a separação das frações de grãos quebrados (aproximadamente 14%) e inteiros (cerca de 58%), bem como a classificação dos grãos quebrados em grandes, médios e quirera (CARVALHO *et al.*, 2011).

Segundo Limberger *et al.*, (2008), para a indústria de beneficiamento do arroz, a quebra de grãos é de extrema importância econômica, especialmente devido à valorização de 80% do grão inteiro, se comparado ao quebrado (quirera) cujo percentual médio de obtenção no beneficiamento do arroz branco é de 14%, constituindo problema econômico para a indústria arroseira já que representa apenas a quinta parte da receita obtida na comercialização do grão inteiro. No entanto, ainda segundo Limberger *et al.* (2008), esse subproduto é uma fonte rica em amido (aproximadamente 88%) empregada, habitualmente, na alimentação animal. Se for obtida com boas práticas sanitárias de fabricação, pode ser utilizada na alimentação humana. De forma similar, o farelo de arroz possui baixo valor comercial, sendo utilizado para extração de óleo, como ingrediente principal da ração animal e como fertilizante orgânico, sendo também utilizado em multimisturas, tostado de forma caseira e distribuído a famílias de baixa renda (MICHEL JUNIOR, 2016).

O arroz é um grão com potencial para utilização como biomassa na produção de etanol devido à grande quantidade de amido presente em sua composição (ALMEIDA, 2017). Segundo a CONAB (2015), dos três tipos de arroz comercializados no Brasil, o arroz tipo branco polido apresenta maior percentual de amido total, com 87,58%, seguido pelo parboilizado polido, com 85,08%, e do arroz integral, com 74,12% de amido em composição. A composição química e alguns parâmetros energéticos de subprodutos do arroz devem ser observados, já que além do amido, o arroz apresenta razoável teor de proteína em sua composição. De acordo com Carvalho *et al.* (2011), a proteína do arroz é constituída por diferentes frações proteicas – albumina, globulina, prolamina e glutelina, sendo essa a maior fração presente no grão (70-80% da proteína total), apresentando boa digestibilidade (88%) e hipoalergenicidade. É importante ressaltar que o arroz, em geral, possui perfil de aminoácidos essenciais mais adequado, em termos nutricionais, que o de outros cereais como o milho comum e o trigo, e que o perfil mais comumente encontrado é suficiente para atender às necessidades de aminoácidos essenciais de indivíduos adultos (CARVALHO *et al.*, 2011).

A produção de etanol a partir de matérias-primas sacaríneas, como é o caso da cana-de-açúcar, é mais simples do que quando comparada com a produção por meio de materiais amiláceos, como o arroz e milho, e celulósica, como o bagaço da cana (MANOCHIO, 2014). No entanto, as diferentes rotas de produção de etanol diferem entre si apenas nas etapas de pré-tratamento que antecedem a obtenção da solução açucarada fermentável, como observado na Figura 1, já que a partir dessa etapa os processos são similares para qualquer tipo de matéria-prima.

Figura 1. Diferentes rotas tecnológicas para a produção do etanol.



Fonte: BNDES/CGEE, 2008.

As matérias amiláceas fermentam após uma hidrólise, denominada sacarificação, pela qual o amido in fermentescível se transforma em açúcar fermentescível. A sacarificação é necessária para amiláceos (grãos) e feculentos (raízes e tubérculos), pois os agentes de fermentação alcoólica não possuem enzimas amilolíticas (BORZANI *et al.*, 2001). Em outras palavras, o amido é convertido em açúcares por meio de um processo enzimático e esses são, então, fermentados por leveduras e o vinho resultante, tal como o que ocorre com a cana-de-açúcar, é destilado para a purificação do bioetanol (JARDINE *et al.*, 2009).

A fermentação é um processo comum a todos os substratos açucarados, cujo princípio é a transformação dos açúcares em etanol e dióxido de carbono, assim como a destilação. Na destilação, separa-se o etanol, geralmente em duas operações: a primeira para separar do substrato fermentado, sob a forma de mistura hidroalcoólica impurificada com aldeídos, ésteres, álcoois superiores e ácidos orgânicos; e a segunda para separar as impurezas do álcool (BORZANI *et al.*, 2001).

Quanto ao rendimento na conversão das matérias-primas pode-se comparar o arroz com as fontes mais comumente utilizadas na produção de etanol, a cana-de-açúcar e o milho. O milho apresenta rendimentos em torno de 440 litros de bioetanol por tonelada seca (JARDINE *et al.*, 2009), para uma produtividade média de 5.715 kg/ha (CONAB, 2019). Para a cana-de-açúcar considera-se produtividade de 80 t/ha, com rendimento de 85 litros de bioetanol por tonelada de cana processada e a utilização de 30% do bagaço disponível e metade da palha, convertidos em bioetanol à razão de 400 litros por tonelada de biomassa celulósica seca (BNDES e CGEE, 2008). No caso do arroz, o rendimento do grão é de 420 litros de etanol por tonelada de arroz (ZONIN, 2012), com a produtividade média de 7.325 kg/ha (CONAB, 2019).

A utilização do arroz como matéria-prima na produção do etanol mostra-se uma alternativa interessante para o escoamento dos resíduos do grão que não tem aceitação para a indústria alimentícia, como o farelo e a quirera. Nesse sentido, na região sul do país, principalmente no estado do Rio Grande do Sul, maior produtor nacional de arroz, observou-se nos últimos anos um movimento no sentido de investimentos na produção de álcool a partir do grão e de energia a partir das cascas do grão. Devido ao seu elevado poder calorífico inferior, segundo Virmond (2011) cerca de 3.637,85 kcal/kg (em base seca), as cascas são utilizadas como combustível para queima nas caldeiras, o que se faz interessante pelo grande volume gerado, já a que a casca equivale a 20% do peso do grão (CARVALHO *et al.*, 2011).

No entanto, embora a quirera de arroz seja produzida no Brasil em quantidades relativamente elevadas, correspondendo a 2% do volume total de arroz colhido, seu uso é disseminado pela indústria de ração animal, principalmente quando o preço do milho está elevado (PARANHOS *et al.*, 2015), provocando oscilações no preço dessa matéria-prima em função do preço do milho, por vezes agregando custo à produção do etanol. Nesse sentido, estudos foram desenvolvidos por instituições de pesquisa a fim de garantir um grão propício para a produção de etanol, com o dobro do tamanho médio (ALVES, 2014), chegando ao arroz BRS AG, desenvolvido pela Embrapa Clima

Temperado do Rio Grande do Sul e destinado exclusivamente à produção de álcool de cereais e para alimentação animal. Segundo Alves (2014), trata-se da primeira cultivar de arroz irrigado desenvolvida para outros fins que não o consumo humano, já que seus grãos são muito grandes e possuem baixa relação de amilose-amilopectina, resultando em uma qualidade inferior no cozimento e não enquadramento nos padrões da indústria e do consumo brasileiro. O peso médio de mil sementes é de 52 g, enquanto a maioria das cultivares de arroz irrigado apresenta peso médio de 25,6 g, com produtividade superior a 12 t/ha, o que corresponde a quase o dobro das cultivares tradicionais (ALMEIDA, 2017). Com isso, tem-se perspectivas de aumento da produção de biocombustíveis e coprodutos a partir do arroz.

4.2 Vinhaça residual da produção de etanol

Independentemente do tipo de matéria-prima, a vinhaça apresenta elevadas concentrações de matéria orgânica, bem como características ácidas e corrosivas. Somam-se a essas características elevadas concentrações de potássio e sulfato, além de teores apreciáveis de fósforo, nitrogênio e outros macro e micronutrientes (FUESS, 2013). No entanto, embora o tipo de mosto utilizado na fermentação seja um dos fatores preponderantes na caracterização físico-química da vinhaça, esse não é o único fator que determina a sua composição. Durante o processo industrial, as variáveis que mais exercem influência sobre a composição da vinhaça são: o método de fermentação alcoólica, as espécies de leveduras utilizadas, o tipo de tecnologia de destilação empregado, a maneira de condução da destilação e o tipo de flegma separado (LORA e VENTURINI, 2012).

A vinhaça é considerada uma suspensão aquosa de sólidos orgânicos e minerais, contendo os componentes do vinho arrastados na etapa de destilação, além de quantidades residuais de açúcar, etanol e compostos voláteis mais pesados. Segundo Lora e Venturini (2012), a vinhaça oriunda da cana-de-açúcar possui coloração parda, escurecendo à medida que é oxidada pela exposição ao ar, e apresenta composição média de 93% de água e 7% de sólidos, dos quais 75% são orgânicos e biodegradáveis e os 25% restantes correspondem à fração mineral, apontando elevada Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), de onde advém seu potencial altamente poluidor de águas superficiais. A putrefação da matéria orgânica contida na vinhaça, além de aumentar a turbidez, também intensifica o cheiro nauseabundo característico. No caso da cana-de-açúcar, a vinhaça é extraída no

processo de destilação a uma temperatura que varia de 100 °C a 110 °C, possuindo características ácidas, com pH variando entre 3,7 e 4,5 (LORA e VENTURINI, 2012).

4.3 Concentração e secagem como tratamento da vinhaça

Das alternativas mais utilizadas como opção de tratamento e aplicação da vinhaça nas usinas de bioetanol no Brasil destacam-se a biodigestão e a fertirrigação. Segundo Fuess (2013), praticamente todo o volume de vinhaça gerado nas destilarias brasileiras, que utilizam predominantemente a cana-de-açúcar, é direcionado à fertirrigação das lavouras. No entanto, ainda segundo o autor, o potencial poluente/contaminante da vinhaça caracteriza sua disposição no solo como problemática, tendo em vista prováveis impactos negativos no solo e nos recursos hídricos no caso da aplicação de dosagens inadequadas, além de possíveis casos de contaminação por metais tóxicos também podem estar associados ao descarte da vinhaça.

Com isso, apesar de menor disseminação na indústria, a concentração e a secagem também se mostram como opções para o tratamento desse resíduo, e encontram-se dispostas resumidamente a seguir.

4.3.1 Concentração

A concentração da vinhaça pode ser alcançada por quaisquer meios que resultem em aumento do conteúdo dos sólidos totais da vinhaça e, conseqüentemente, da sua concentração de nutrientes (SILVA, 2011). De acordo com Peiter *et al.* (2019), a concentração é uma tecnologia utilizada para reduzir a quantidade de água presente nesse subproduto, reduzindo o seu volume, aumentando sua estabilidade e, conseqüentemente, reduzindo os custos com transporte e aplicação na fertirrigação, além de, segundo Cruz (2011), condicionar a vinhaça para outras utilizações, dentre elas, biodigestão, composição de ração animal, combustível para caldeiras especiais e posterior geração de energia. Além disso para Cruz *et al.* (2013), agrega-se também o potencial de redução da captação de água pela usina uma vez que o condensado recuperado da vinhaça retorna para o sistema produtivo em algumas usinas

Para Cruz *et al.* (2013), a concentração era um processo de pouca abrangência no setor sucroenergético do país dado seu alto custo energético, padrão que vem se alterando com a difusão da cogeração (produção de vapor e de eletricidade) nas unidades agroindustriais. No entanto, para Nakashima e De Oliveira Junior (2020), uma

vez que esse processo requer uma grande quantidade de vapor, é comum combiná-lo com a destilação do etanol visando a redução da demanda de calor.

4.3.2 Secagem

Assim como a concentração, a secagem da vinhaça é um método de tratamento que requer maiores investimentos. A vinhaça pode ser seca por atomização, sendo o pó obtido usado como complemento de ração ou incinerado para geração de vapor e obtenção de cinzas ricas em potássio para uso como fertilizante (SFEIR, 2013).

O secador por atomização tipo *spray dryer* é comumente utilizado, resultando em um produto em pó. O processo de secagem consiste de três etapas fundamentais. Na primeira, o fluido é disperso em gotículas por bicos atomizadores, produzindo uma grande área superficial, dado que a eficácia desse tipo de secador se baseia no princípio do aumento de área de contato entre o material a ser seco e o agente dessecante, o ar quente. Na segunda etapa ocorre o contato do fluido atomizado com uma corrente de ar aquecido em fluxo contracorrente, concorrente ou uma combinação dos dois, havendo transferência de calor. Na terceira etapa ocorre a evaporação do solvente e formação da partícula sólida. Com a transferência de calor do ar aquecido às gotículas, o líquido da superfície evapora rapidamente. A secagem ocorre sob condições constantes de evaporação, sendo assim, a temperatura do produto é pouco superior à temperatura de bulbo úmido do ar. As partículas sólidas geralmente apresentam o mesmo tamanho e forma das gotículas que as originaram, são transportadas por uma corrente de ar e, posteriormente, coletadas (OLIVEIRA e PETROVICK, 2010; CELESTINO, 2010; ROSA *et al.*, 2006).

Segundo Kajiyama e Park (2008), dentre as principais vantagens da secagem por atomização estão a maior eficiência no controle das propriedades e da qualidade do produto; possibilidade de grandes produções em operação contínua, com equipamento relativamente simples; produção de partículas moderadamente uniformes e esféricas com aproximadamente a mesma proporção de compostos voláteis do produto inicial, sendo sua eficiência comparável à de outros tipos de secadores de contato direto e de baixo custo de processo.

4.4 Aplicação dos resíduos de etanol para fins de alimentação animal

O maior exemplo de uso de resíduos da produção de etanol na alimentação animal é a produção de DDGS (*distillers dried grains with solubles*), subproduto da

produção de etanol de milho obtido a partir do tratamento dos resíduos oriundos da destilação. A vinhaça produzida nessa etapa segue para um conjunto de centrífugas, no qual é separada a vinhaça fina, que pode ser recirculada no processo, enquanto a parte restante é geralmente concentrada em evaporadores, produzindo um xarope com cerca de 50% de umidade que combinado com os sólidos retirados na centrífuga e secados até aproximadamente 10% de umidade, dá origem aos DDGS (BNDES e CGEE, 2008).

Por apresentar alto valor proteico, o uso de DDGS mostra-se como opção para substituir e reduzir os custos com proteína na formulação de rações animais (BORTOLETTO e ALCARDE, 2015). Segundo Stuani e colaboradores (2016), esse coproduto da produção de etanol de milho possui teores de proteína bruta de 28,05%, como pode ser observado na Tabela 1, o que permite utilizá-lo como substituto parcial em alimentação animal. Em rações, o DDGS pode substituir parcialmente milho e farelo de soja devido à similaridade na quantidade de nutrientes com menor custo, dado que apresenta valores expressivos de energia, proteína bruta e fósforo digerível (STUANI *et al.*, 2016). No entanto, para Sperotto (2017), embora a proteína, o amido e os óleos presentes no DDGS sejam avaliados como materiais de fácil digestibilidade, a celulose e a hemiceluloses constituem a maior parte das porções de fibras que não são digeríveis por muitos animais e deverão ser consideradas para a produção de outros bioprodutos de alto valor.

Tabela 1. Composição química dos grãos secos destilados com solúveis (DDGS) de milho.

Descrição do ensaio	Resultado	Unidade
Proteína Bruta	28,05	%
Energia Metabolizável	3.695,00	kcal/kg
Matéria seca	87,39	%
Matéria orgânica	95,19	%
Extrato etéreo	10,14	%
Fibra Bruta	7,70	%
Matéria Mineral	4,83	%
Cálcio	0,06	%
Fósforo	0,79	%

Fonte: STUANI *et al.*, 2016 (ADAPTADO).

Além dos DDGS, há ainda a possibilidade de obtenção de levedura seca a partir dos resíduos oriundos do processo. Segundo Senicato e Basso (2014), a levedura é um dos subprodutos da produção de etanol que mais se destaca por ser importante fonte de proteína, além de reunir outras características favoráveis à sua utilização na alimentação animal, principalmente em aves e suínos. De acordo com Silva (2009), diversos trabalhos foram conduzidos entre as décadas de 1970 e 1980 com o objetivo de viabilizar a levedura como fonte proteica alternativa a ser utilizada na nutrição animal, de forma a substituir parcial e até mesmo totalmente o farelo de soja em dietas monogástricas. Ainda segundo a autora, diversas pesquisas têm sido desenvolvidas para determinar as melhores opções de utilização de alimentos alternativos, com destaque à levedura, devido à constância na produção e ao grande volume gerado.

5 METODOLOGIA

O presente trabalho utilizou de pesquisa exploratória como metodologia, e foi desenvolvido na forma de estudo de caso da usina de bioetanol de arroz previamente descrita no item 2. O embasamento teórico se deu por meio de revisão bibliográfica, enquanto os dados técnicos de operação foram levantados em campo, por meio de contato direto com o corpo técnico da empresa. Este trabalho analisou o tratamento da vinhaça residual por concentração e secagem por atomização para obtenção do novo produto, a levedura integral seca.

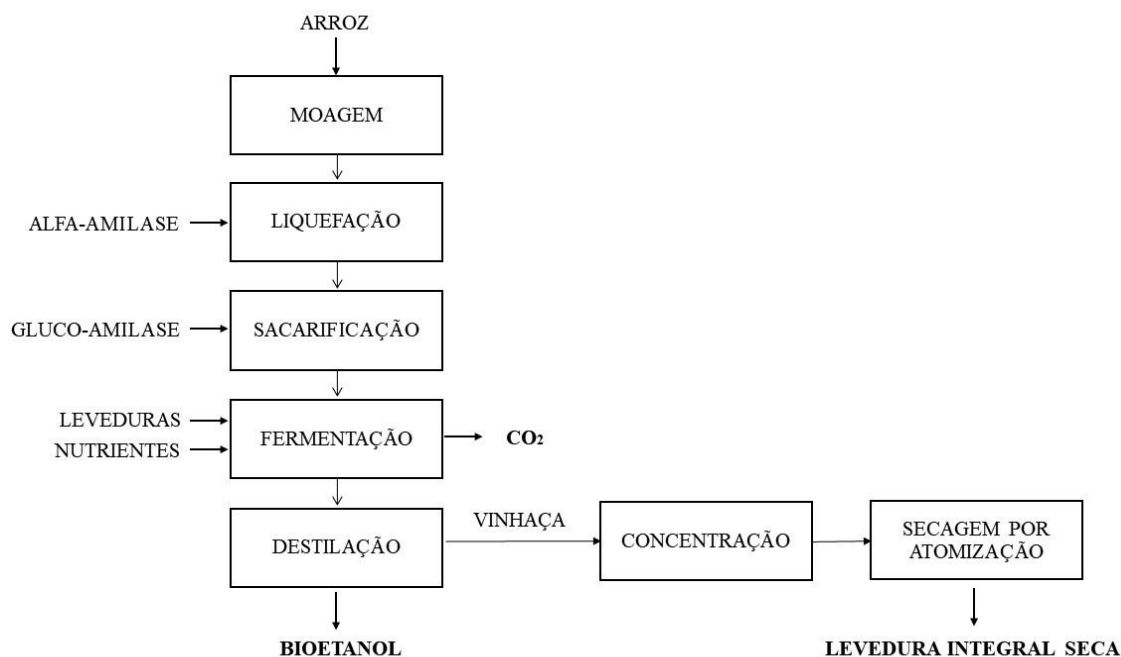
5.1 Sistema de secagem da vinhaça

5.1.1 Descrição do sistema de secagem disponível

O levantamento de dados do sistema tomou por base os dados de projeto e as especificações técnicas de cada equipamento, os parâmetros reais de operação dos equipamentos e dos seus componentes. O sistema de secagem, já implementado na empresa em estudo, encerrou seu período de ajustes e testes em setembro de 2019, cujos parâmetros basearam este trabalho, mas ainda não se encontrava em plena operação no momento de conclusão deste estudo.

A empresa objeto do estudo tem seu processo produtivo ilustrado na forma de fluxograma na Figura 2.

Figura 2. Fluxograma de processos operantes na empresa objeto de estudo.



Para a caracterização dos parâmetros físicos da vinhaça residual do processo uma amostra de vinhaça líquida foi coletada na saída da coluna de destilação do bioetanol da empresa objeto de estudo, com sua temperatura medida imediatamente no local utilizando-se termômetro/termopar modelo 75288, marca INCOTERM, enquanto o pH foi medido utilizando-se indicador universal, marca MQuant. O teor de sólidos totais (ST) e de umidade relativa da casca de arroz e levedura integral seca foram determinados no laboratório próprio da empresa utilizando-se um analisador de umidade por infravermelho modelo IV2500, marca GEHAKA. O equipamento foi pré-aquecido até 110 °C e mantido nessa temperatura por 20 min. No equipamento pré-aquecido, uma amostra de 5 g de produto foi colocada no prato de alumínio descartável e alocada no suporte do prato. Abaixou-se a capota, encerrando-se a câmara de análise, onde o produto permaneceu por 20 min a 110 °C, sendo o teor de umidade determinado por gravimetria, indicado e anotado ao final do procedimento.

O volume médio de vinhaça gerado na empresa objeto de estudo é de 90 m³/dia, com temperatura de aproximadamente 100 °C, teor de sólidos totais determinado em 7% e pH na faixa de 3,5-4,5. O tratamento da vinhaça ocorre em duas etapas: a vinhaça líquida residual proveniente da etapa de destilação do bioetanol de arroz é submetida à concentração em um evaporador de névoa turbulenta de múltiplos efeitos (Figura 3a),

reduzindo a umidade e aumentando o teor de sólidos totais (ST) a 30%, obtendo-se como produto a vinhaça concentrada. A vinhaça concentrada passa então para a etapa de secagem, efetuada em um secador atomizador tipo *spray dryer* (Figura 3b) com sistema de atomização com bicos de alta pressão, resultando em um produto em pó, a levedura integral seca, com teor de umidade final na faixa de 6%.

Figura 3. Sistema de secagem operante: evaporador (a) e secador (b).



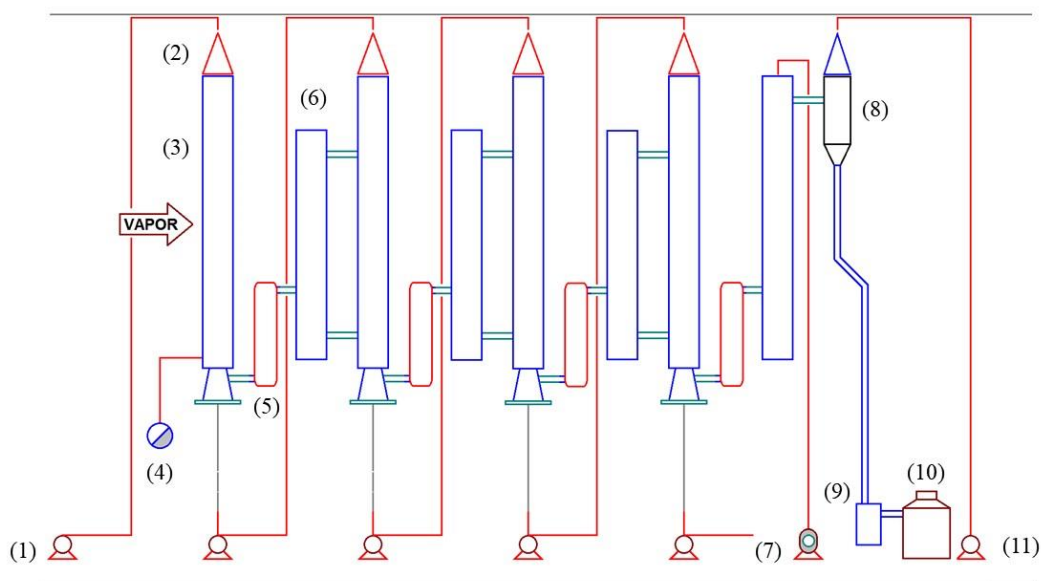
(a)



(b)

O equipamento que promove a concentração da vinhaça é um evaporador ECOVIN®, marca Citrotec, com 4 efeitos que utiliza o princípio da névoa turbulenta descendente de múltiplos efeitos e possui capacidade de evaporação de 4 t/h, possibilitando a redução do volume de produto em até 10 vezes. O esquema de funcionamento do evaporador concentrador, descrito a seguir, pode ser observado na Figura 4.

Figura 4. Esquema de funcionamento do evaporador de 4 efeitos.

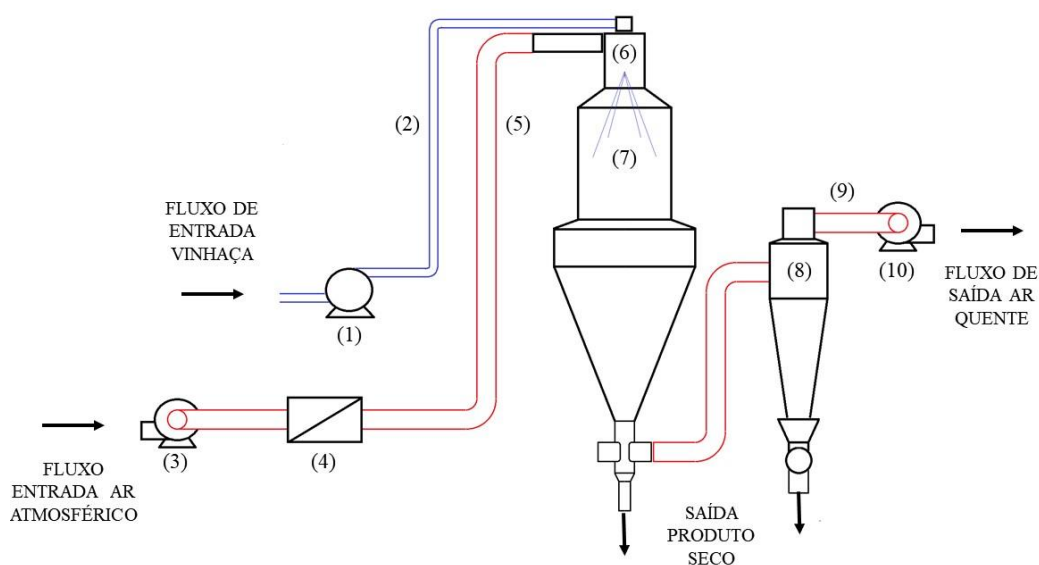


A vinhaça armazenada em tanques com cerca de 7% ST é bombeada com uma bomba de recalque (1) a uma vazão de 5 m³/h e inserida no equipamento na parte superior da torre, o chamado *top cone* (2). O *top cone* é composto de uma região de alta pressão na parte superior, na qual ocorre a formação da névoa turbulenta da vinhaça alimentada e conseqüente expansão térmica, e de uma região de baixa pressão na parte inferior (vácuo). O vapor é, então, inserido na parte superior do feixe tubular longo (3), entre a camisa e a parede externa do primeiro efeito do evaporador, com a finalidade de realizar a evaporação da névoa descendente do produto a alta velocidade e turbulência, promovendo transferência de calor durante todo o comprimento do feixe. Na parte inferior do feixe tubular, um purgador (4) retira a parcela de condensado no primeiro estágio, enquanto o produto a ser concentrado alimenta o próximo estágio através de bombeamento. O vapor gerado no primeiro efeito é remanejado para o segundo efeito através de um separador (5) e de um distribuidor (6) para continuar o processo de evaporação. O processo se repete até o quarto efeito, no qual o produto concentrado a 30% ST é bombeado para armazenamento pré-atomização. Uma bomba de vácuo (7) instalada na parte superior último estágio garante que o vácuo no sistema diminua o ponto de ebulição do líquido no processo. O vapor remanescente do último estágio passa para um condensador barométrico (8) conectado a um selo hidráulico que garante a manutenção do vácuo do sistema. Parte do vapor proveniente de (8) é reutilizada por meio de uma bomba de recirculação (11), enquanto o restante em estado líquido segue

por fim por uma torre de resfriamento (10), onde o calor residual é dissipado para o ambiente, encerrando o processo.

O secador por atomização *spray dryer* (Figura 5) possui a capacidade de processar vazão de 950 kg/h de resíduo de álcool de arroz com concentração de 30% de ST.

Figura 5. Esquema de funcionamento do secador.



Esse secador é alimentado por dois fluxos de massa distintos: um de material líquido a passar por secagem e outro de ar quente responsável pela secagem em si. A alimentação do material concentrado é feita por um conjunto de bombeamento (1) composto por uma bomba centrífuga seguida de uma bomba de alta pressão que promove o bombeamento ascendente do líquido a temperatura ambiente através do canal de alimentação (2). A inserção do fluxo de ar de entrada se dá através de um ventilador adutor (3), com vazão de 21.000 m³ ar/h, que força a passagem do fluido a temperatura ambiente por um trocador de calor do tipo radiador (4). O radiador aumenta a temperatura do fluido a cerca de 180 °C, que ascende através da tubulação de ar de entrada (5). O bico atomizador (6) dispersa o líquido em gotículas descendentes, provocando o aumento da superfície de contato do material. Com isso, o fluxo concorrente de ar quente entra em contato direto com o líquido pulverizado em direção à câmara de secagem (7) onde ocorre a evaporação do componente líquido pela transferência de calor entre o material disperso e o fluxo de ar quente. A maior parte do

material já seco se deposita no cone abaixo da câmara de secagem, de onde é retirado como produto final com umidade de cerca de 6% a temperatura de 45 °C. No entanto, devido à turbulência na câmara de secagem, parte do material continua em suspensão no fluxo de ar quente, sendo coletado em um par de ciclones (8) que promove a segunda retirada de material seco. O ar quente, livre de material particulado, segue pela tubulação de ar de saída (9), de onde é extraído por um ventilador exaustor (10) com cerca de 100 °C.

5.1.2 Avaliação energética do sistema de concentração e secagem da vinhaça

a) Balanço de massa

O balanço de massa foi feito para facilitar o entendimento dos fluxos de entrada e saída dos equipamentos de concentração e secagem e foi obtido por meio da aplicação da 1ª lei da termodinâmica em um volume de controle (V.C.) em regime permanente. A análise do secador considerou como volume de controle a câmara de secagem, enquanto para a etapa de concentração o V.C. englobou todos os efeitos do evaporador.

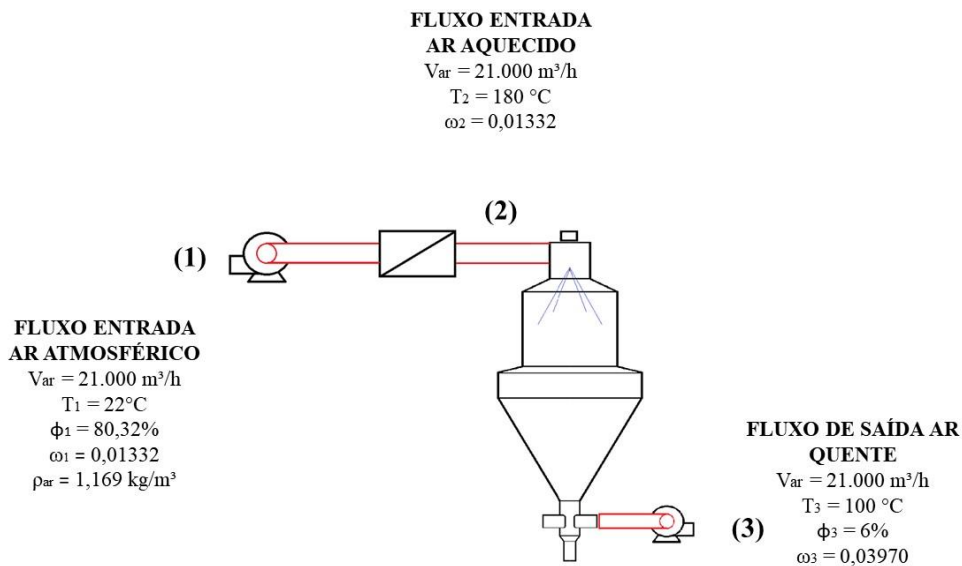
Pela equação da continuidade, a aplicação da 1ª lei da termodinâmica a um V.C. é descrita pela equação a seguir (BORGNAKKE e SONNTAG, 2009, p. 138):

$$\sum \dot{m}_E = \sum \dot{m}_S \quad (1)$$

Onde \dot{m} representa a vazão mássica, sinalizado pelos subscritos E e S indicando, respectivamente, os fluxos de entrada e saída da fronteira do volume de controle definido.

Na avaliação do sistema de secagem, considerou-se a demanda energética do conjunto evaporador e secador *spray dryer* e o custo energético associado a essa demanda. No entanto, uma vez que a demanda energética do evaporador é conhecida e foi disponibilizada pelo fabricante, tornou-se necessário apenas o levantamento para o secador. Portanto, para os itens (b) vazão massiva de ar na entrada do secador, (c) capacidade evaporativa do secador e (d) demanda energética do secador, descritos abaixo, considerou-se apenas o secador. Para referência tomou-se como ponto 1 o fluxo de entrada (ar atmosférico); ponto 2 como a saída do aquecedor (ar aquecido) e ponto 3 o fluxo de saída (ar quente), conforme disposto na Figura 6.

Figura 6. Considerações acerca das correntes de ar no processo do secador *spray dryer*.



Os valores de temperatura do processo, à exceção do ar atmosférico de entrada, bem como a umidade relativa final do produto seco, foram obtidos a partir de dados de operação do secador. Os valores adotados para os parâmetros umidade relativa média (ϕ) e temperatura média do ar atmosférico na entrada (T_1) são provenientes do banco de dados do INMET e foram obtidos a partir de médias diárias realizadas na cidade de Florianópolis durante todo o ano de 2018. Os valores de umidade absoluta ω foram obtidos a partir do software CATT3 (*Computer-Aided Thermodynamic Tables 3*). O valor considerado para a massa específica do ar é $\rho_{ar} = 1,169 \text{ kg/m}^3$, em condições de pressão e temperatura de 100 kPa e 25 °C, disponível em Borgnakke e Sonntag (2009, p. 561).

b) Vazão mássica de ar na entrada do secador

O fluxo de ar de entrada é dado pela equação abaixo (BORGNAKKE e SONNTAG, 2009, p. 19), com valores obtidos no ponto 1 da Figura 6 para ar atmosférico:

$$\dot{m}_{ar} = \dot{V}_{ar} \times \rho_{ar} \quad (2)$$

em que:

\dot{m}_{ar} = vazão mássica de ar [kg/h]

\dot{V}_{ar} = vazão volumétrica de ar [m³/h]

ρ_{ar} = massa específica do ar [kg/m³]

c) Capacidade evaporativa do secador

A capacidade real do secador foi determinada pela vazão mássica de água evaporada no processo, dado pela equação a seguir (BORGNAKKE e SONNTAG, 2009, p. 398):

$$\dot{m}_{H_2O} = \dot{m}_{ar}(\omega_2 - \omega_3) \quad (3)$$

em que:

\dot{m}_{H_2O} = vazão mássica de água evaporada [kg/h]

ω_2 = umidade absoluta do ar atmosférico na saída do aquecedor

ω_3 = umidade absoluta do ar na saída da câmara de secagem

d) Demanda energética do secador

A demanda térmica do secador *spray dryer*, requerida pelo aquecedor de ar, foi determinada pela equação abaixo (BORGNAKKE e SONNTAG, 2009, p. 111):

$$\dot{Q} = \dot{m}_{ar} \times c_{p0} \times (T_2 - T_1) \quad (4)$$

em que:

\dot{Q} = vazão mássica de água evaporada [kJ/h]

T_2 = temperatura do ar na saída do aquecedor [K]

T_1 = temperatura do ar atmosférico na entrada do aquecedor [K]

$c_{p0} = 1,012 \text{ kJ/kg.K}$, é calor específico do ar a pressão constante em função da temperatura, obtido através da equação a seguir (BORGNAKKE e SONNTAG, 2009, p. 562)

$$c_{p0} = 1,05 - 0,365\theta + 0,85\theta^2 - 0,39\theta^3 \quad (5)$$

Onde θ é obtido através da média das temperaturas (em Kelvin) de entrada e saída de ar, descrito pela equação abaixo:

$$\theta = \frac{\left[\frac{T_2 + T_1}{2} \right]}{1000} \quad (6)$$

e) Custo energético estimado para o secador

A geração de vapor necessária para suprir a demanda de todo o ciclo produtivo da empresa é obtida de uma caldeira aquatubular, (fabricante H. Bremer, modelo HBFS-10), com pressão de trabalho de 21 kgf/cm² e capacidade de geração de vapor de até 10.000 kg/h. Esse sistema utiliza casca de arroz como combustível, com consumo médio de aproximadamente 850 kg/h, para suprir a demanda dos processos, equivalente a 50% da capacidade máxima do gerador de vapor, processando cerca de 20 t/dia de casca de arroz. Esses valores correspondem à demanda térmica dos processos sem considerar o sistema de secagem. O custo médio da casca de arroz foi estimado em R\$ 50,00/t com base nos preços praticados pelos fornecedores do combustível, que foram disponibilizados pela empresa objeto de estudo.

Para a estimativa da quantidade de combustível associada à demanda de vapor do conjunto evaporador e secador, o valor de rendimento térmico da caldeira foi arbitrado em 70%, com base na média que varia entre 65% a 75%, segundo uma fabricante de caldeiras (SECAMAQ, 2018). O poder calorífico inferior considerado para a casca de arroz foi de 3.637,85 kcal/kg em base seca (VIRMOND, 2011), equivalente a 3.228,23 kcal/kg (ou 13.506,91 kJ/kg) para umidade igual a 11,26% (umidade determinada em laboratório próprio da empresa utilizando-se um analisador de umidade por infravermelho modelo IV2500, marca GEHAKA). Assim, a massa de combustível consumido para o aquecimento de ar de entrada foi estimada por:

$$\dot{m}_{comb} = \frac{\dot{Q}}{\eta_{térmico} \times PCI} \quad (7)$$

em que:

\dot{m}_{comb} = vazão mássica de combustível consumido em base úmida [kg/h]

$\eta_{térmico}$ = rendimento térmico da caldeira [%]

PCI = poder calorífico inferior do combustível em base úmida [kJ/kg]

A demanda elétrica foi obtida pelo somatório das potências nominais dos motores elétricos do evaporador e do secador. O fornecimento de energia elétrica requerida pela unidade industrial é atendido pela concessionária responsável pela distribuição de energia na região, a CEJAMA. O custo elétrico foi calculado pelo produto da potência nominal total dos equipamentos componentes do sistema e o valor da tarifa. O preço de R\$ 0,46838/kWh foi considerado tomando-se por base a média do preço real da tarifa de energia elétrica para consumo fora da ponta (bandeira verde) pago pela empresa no período de janeiro a junho de 2020.

5.2 Caracterização da vinhaça e da levedura integral seca

O produto final em pó, denominado levedura integral seca, é obtido após a secagem por atomização da vinhaça líquida de arroz previamente concentrada. Uma amostra desse produto foi coletada na saída do secador tipo *spray dryer* durante a fase inicial de testes desse equipamento e enviada para um laboratório externo especializado para realização de ensaios físico-químicos dado que o laboratório próprio da empresa não possuía todos os recursos requeridos.

Os ensaios de caracterização para determinação dos parâmetros listados na Tabela 2, juntamente com os respectivos métodos empregados, foram realizados pelo Laboratório Eurofins | ALAC, sob relatório de ensaio N° 101644/2016.

Após realizados os ajustes necessários e concluída a implementação do sistema de secagem, foi realizada nova determinação da umidade do produto final por meio do método descrito no item 5.1.

Tabela 2. Parâmetros e métodos utilizados nos ensaios de caracterização da levedura integral seca.

Parâmetro	Método
Amilase	Colorimétrico Titulação - Norma: USP 26 (Pancreatin "Assay for amylase activity")
Lisina	Para Tiptofano HPLC - Norma: EN ISO 13904; EU 152/2009 (F). Para demais aminoácidos: Hidrólise ácida - Norma: ISO 13903:2005; EU 152/2009 (F)
Metionina	
Beta glucanos	AOAC 995.16
Resíduo mineral Exo (matéria mineral)	Normas IAL, 4ª ed. SP - 2005, item 018/IV [PNT154-AL]
Fibra Bruta	Gravimetria AOAC 962.09; AOCS Ba 6-84
Glucose	LC-DAD - Método interno
Glucomanano (cálculo)	
Mannose	
Gordura total	Normas IAL, 4ª ed. SP - 2005, item 033/IV [PNT154-AL]
Proteína	Kjeldhal - PNT24-AL - Procedimento para determinação de proteína total [PNT024-AI]
Umidade	Gravimétrico [PNT075-AL]
Cálcio (Ca)	AOAC Official Method 2013.06 adaptado [PNT005-AB]
Fósforo (P)	
Potássio (K)	
Sódio (Na)	

5.3 Análise da viabilidade econômica do sistema de secagem

5.3.1 Referencial analítico

A análise de um projeto de investimento tem por objetivo o fornecimento de subsídios para a tomada de decisão objetiva, por parte de investidores, a partir de premissas básicas estimadas e previstas com base nos cenários observáveis e em relação a seus julgamentos técnicos, para a maximização da riqueza e pela melhor relação risco *versus* retorno (ABREU FILHO e CURY, 2018).

Dentre os métodos quantitativos consagrados e consensuais no mundo das finanças, pode-se destacar os seguintes:

- Valor presente líquido (VPL);
- Taxa interna de retorno (TIR);

- Taxa de retorno de capital (*payback*).

5.3.1.1 Valor presente líquido (VPL)

De acordo com Abreu Filho e Cury (2018), o valor presente líquido (VPL) pode ser considerado o método mais rigoroso e tecnicamente perfeito, e, de maneira geral, o melhor procedimento para comparação de projetos diferentes, mas com o mesmo prazo de vida econômica útil. Matematicamente, o VPL é o valor no presente ($t = 0$) que equivale a um fluxo de caixa de um projeto, calculado a uma determinada taxa de desconto.

O VPL de um fluxo de caixa de um projeto pode ser calculado pela equação abaixo (ABREU FILHO E CURY, 2018):

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t} \quad (8)$$

Em que FC_t é o fluxo de caixa resultante líquido do período t ; k é a taxa de desconto e n é o horizonte de estudo definido para a análise do projeto.

O método VLP estabelece que:

- (i) $VPL > 0 \rightarrow$ o projeto pode ser aceito
- (ii) $VPL = 0 \rightarrow$ é indiferente aceitar ou rejeitar o projeto
- (iii) $VPL < 0 \rightarrow$ o projeto deve ser rejeitado

5.3.1.2 Taxa interna de retorno (TIR)

Ainda segundo Abreu Filho e Cury (2018), a taxa interna de retorno (TIR) é a taxa que iguala o valor presente das entradas e saídas de um projeto de investimento e serve para determinar a taxa de juros máxima de custo de capital que um projeto suporta pagar. A taxa de desconto nominal considerada corresponde à taxa mínima de atratividade (TMA), definida pelos mesmos autores como a taxa de retorno de um projeto abaixo da qual os investidores, individuais ou corporativos, não a devem considerar atrativa para remunerar o capital investido.

Em termos matemáticos, a TIR de um projeto é a taxa de juros k^* que satisfaça a equação a seguir (ABREU FILHO E CURY, 2018):

$$\sum_{t=0}^n \frac{FC_t}{(1+k^*)^t} = 0 \quad (9)$$

A análise da TIR estabelece que:

- (i) TIR > TMA → o projeto pode ser aceito
- (ii) TIR = TMA → é indiferente aceitar ou rejeitar o projeto
- (iii) TIR < TMA → o projeto deve ser rejeitado

5.3.1.3 Taxa de Retorno de Capital – TRC

Segundo Afonso Junior e colaboradores (2006), a taxa de retorno de capital, também chamada *payback*, é o período de tempo necessário para que o investimento inicial aplicado seja recuperado. O tempo de retorno do capital pode ser calculado considerando a renda anual não descontada, por meio da equação abaixo (AFONSO JUNIOR *et al.*, 2006) :

$$TRC = \frac{C_i}{R_a} \quad (10)$$

na qual C_i é o capital inicial (em R\$) e R_a é a renda anual não descontada (em R\$).

O critério do método do tempo de retorno de capital estabelece que:

- (i) TRC < vida útil do projeto → o projeto pode ser aceito;
- (ii) TRC = vida útil do projeto → é indiferente aceitar ou não;
- (iii) TRC > vida útil do projeto → o projeto deve ser rejeitado.

5.3.2 Base de dados

A análise econômica foi baseada majoritariamente na metodologia proposta por Senicato e Basso (2014). Para tanto, estimou-se que a geração diária de vinhaça da usina seja da ordem de 90 m³/dia. Desse total, considerou-se o ciclo produtivo diário de 6,7 t/dia de levedura integral seca. Considerou-se também que o total de dias de operação da usina, sob condições normais, seja de 300 dias/ano, descontados recessos e pausas para manutenção, resultando em produção total de 2.010 t/ano do produto levedura integral seca.

Os cálculos dos indicadores financeiros VPL, TIR e TRC (*payback*) utilizados na análise da viabilidade econômica de implantação do projeto foram realizados utilizando-se do *software Microsoft Excel*, tomando como horizonte de planejamento a vida útil dos equipamentos, estimada em 15 anos. A taxa média de atratividade (TMA) considerada foi de 15% a.a., fornecida pelo setor financeiro da empresa em questão.

Os custos de produção foram definidos pelo custo da matéria-prima, custos fixos e custos variáveis. Uma vez que a matéria-prima é considerada um resíduo industrial, seu custo é nulo. Os custos fixos incluem mão-de-obra e encargos agregados. Para a mão-de-obra considerou-se que sejam necessários apenas dois trabalhadores para a operação do conjunto evaporador e secador, uma vez que o sistema é automatizado. Os custos variáveis englobam os custos energéticos e de embalagem do produto. O custo de vapor corresponde à demanda térmica de aquecimento dos trocadores de calor, enquanto que o custo de energia elétrica corresponde à demanda dos motores dos equipamentos, ambos descritos detalhadamente nos resultados do presente trabalho.

O custo referente à embalagem considerou embalagens *Big bag* com capacidade de 1 t, com custo individual de R\$ 17,00 (valor cotado pela empresa). Para a depreciação dos equipamentos, considerou-se uma taxa de 10% a.a. do investimento inicial total dos equipamentos, conforme média de máquinas industriais dispostas na instrução normativa RFB Nº 1700 (BRASIL, 2017b).

Quanto à estimativa de impostos, considerou-se que empresa opera no Lucro Presumido. Para esse regime tributário, tomou-se as seguintes considerações, fornecidas pelo setor contábil da empresa, para base de cálculo: contribuição social, com base de cálculo de 8% da receita bruta com alíquota de 15%; IRPJ, com base de cálculo de 12% da receita bruta com alíquota de 9%; ICMS, com alíquota de 17% (para operações internas); PIS, com alíquota de 0,65%; e por fim, COFINS, com alíquota de 3%.

Quanto ao investimento total para a implementação do sistema de secagem, estimou-se R\$ 1,4 milhões para o evaporador e R\$ 3 milhões para o secador *spray dryer*, totalizando cerca de R\$ 4,4 milhões para o conjunto.

A projeção das entradas e saídas anuais estimadas para cálculo dos indicadores encontram-se disponíveis no Anexo A.

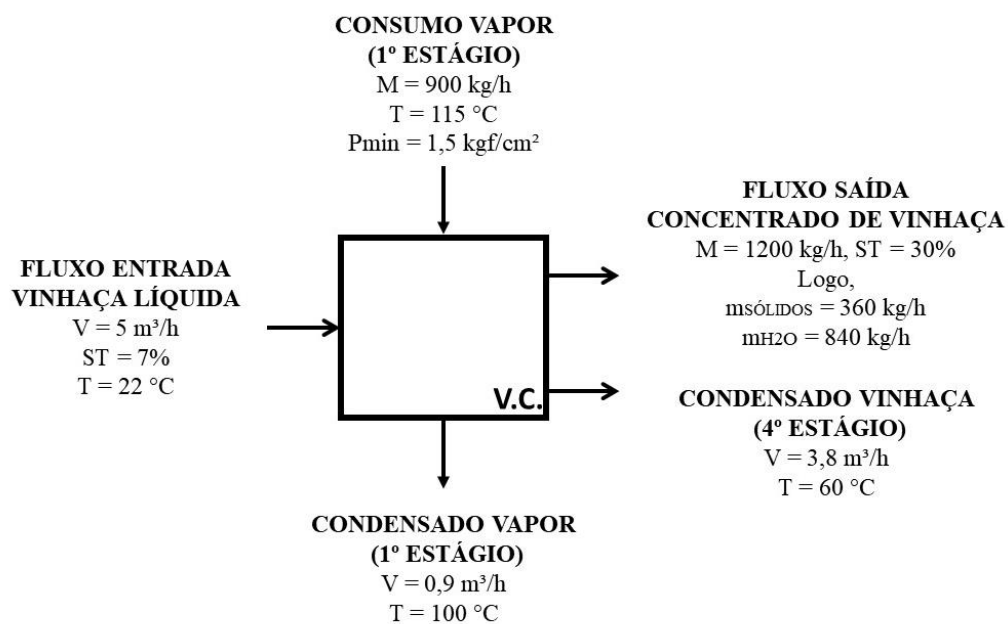
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Avaliação energética do sistema de secagem da vinhaça

6.1.1 Balanço de massa

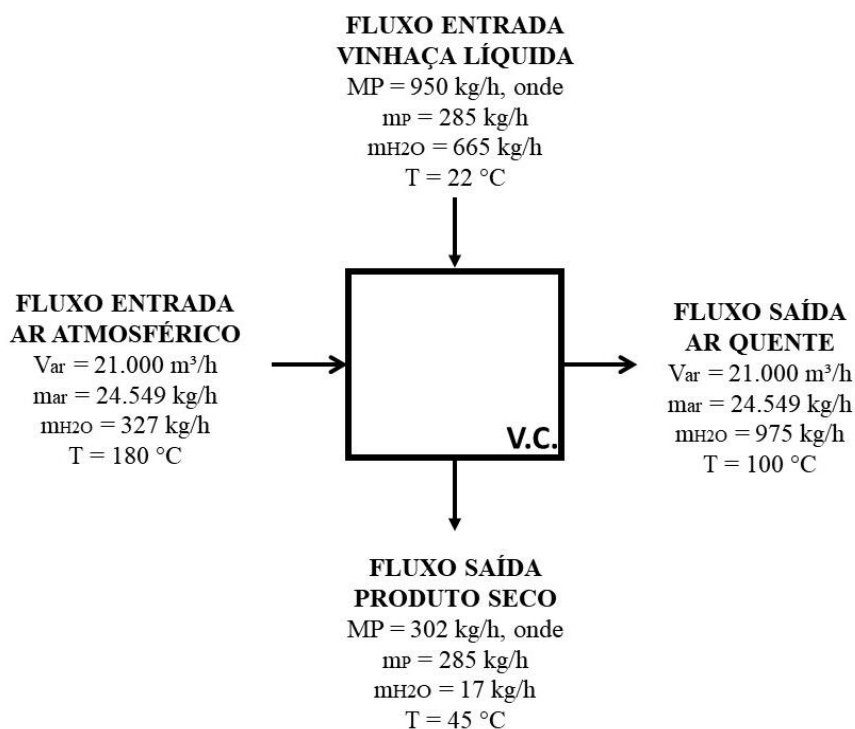
O balanço energético do evaporador que promove a concentração da vinhaça foi disposto na Figura 7. A vazão de entrada de produto a ser concentrado é de 5 m³/h, com teor de ST de cerca de 7%, resultando em uma vazão de saída de 1.200 kg/h de produto concentrado, com teor de ST de 30%. Segundo o fabricante, o consumo de vapor estimado para a alimentação do 1º efeito do concentrador é de 900 kg/h, sendo esse purgado ao final do 1º estágio, uma vez que o próprio vapor do produto a ser concentrado alimenta os próximos efeitos. Para promover a concentração de todo o volume de 90 m³ de vinhaça gerados diariamente, o evaporador deve operar por 18 h/dia, produzindo 21.600 kg/dia de concentrado de vinhaça.

Figura 7. Balanço de massa da etapa de concentração da vinhaça.



Os fluxos de massa de entrada e saída na câmara de secagem do secador *spray dryer* foram ilustrados na Figura 8. Com uma alimentação de 950 kg/h de vinhaça, a capacidade produtiva do sistema de secagem é de 302 kg/h de levedura seca, considerando umidade relativa final de cerca de 6%. Para processar os 21.600 kg/dia de concentrado, o secador deve operar por 22,7 h, quase ininterruptamente, produzindo assim 6.867 kg/dia de produto seco.

Figura 8. Balanço de massa da câmara de secagem por atomização.



6.1.2 Capacidade evaporativa

Segundo o fabricante, o evaporador concentrador possui capacidade de evaporação de 4 t/h de vapor. A capacidade evaporativa real do secador é dada pela massa de água evaporada no processo, obtida com a utilização da Equação 3 e dos dados apresentados na Figura 6, resultando em $\dot{m}_{H_2O} = 648 \text{ kg/h}$ de água, tal qual o valor apresentado no balanço de massa da Figura 8.

6.1.3 Demanda energética

Segundo o fabricante, a etapa de concentração tem consumo de 900 kg/h de vapor, à temperatura de 115 °C. Para esses valores, a taxa de calor requerida pelo evaporador é igual a 675 kW.

A demanda térmica do secador *spray dryer*, obtida pela Equação 4, é de 1.090 kW, representando um consumo de cerca de 1.405 kg/h de vapor.

Quanto à demanda elétrica dos componentes do sistema de secagem, os equipamentos operam com seus motores elétricos à tensão de 380 V e frequência de 60 Hz, com potência instalada total de aproximadamente 144 kW.

Os resultados obtidos quanto aos requisitos energéticos do sistema de secagem foram dispostos resumidamente na Tabela 3.

Tabela 3. Demanda energética das etapas de concentração de secagem da vinhaça.

	Concentração	Secagem	Total	Unidade
Capacidade de evaporação	4000	648	4648	kg/h
Consumo vapor	900	1405	2305	kg/h
Demanda energia térmica	675	1090	1765	kW
Demanda energia elétrica	44,5	99,2	143,7	kW

6.1.4 Custo energético estimado

Para os parâmetros descritos do evaporador e do secador, foi obtido um consumo de combustível de 672 kg/h de casca arroz para atender toda a demanda térmica do sistema de concentração e secagem. Para esse valor, estima-se que o custo total com a compra do combustível de alimentação do gerador de vapor é de R\$ 33,60/h.

O custo elétrico estimado da operação de secagem, utilizando o valor de potência total obtido na Tabela 3, é de R\$ 67,31/h.

O custo por fonte em etapa foi disposto na Tabela 4. Assim, o custo energético total estimado da concentração e secagem da vinhaça é de R\$ 2.132,32/dia, resultado em um custo energético agregado ao valor do produto em pó de R\$ 310,52/t produto seco.

Tabela 4. Custo energético estimado por etapa.

	Concentração		Secagem		Unidade
Custo térmico	R\$	12,85	R\$	20,76	/h
Custo elétrico	R\$	20,84	R\$	46,46	/h
Custo total	R\$	606,39	R\$	1.525,92	/dia

6.2 Caracterização do produto obtido a partir da secagem da vinhaça de arroz

Após a secagem a vinhaça de arroz seca, denominada levedura integral seca, obtida na etapa de testes do secador disponível na empresa objeto de estudo foi avaliada em laboratório, e os resultados foram dispostos na Tabela 5.

O estudo de cada um dos componentes descritos nas análises presentes na Tabela 5 não foi o objetivo deste trabalho. No entanto, destaca-se como a principal característica da levedura integral seca seu alto valor proteico, cerca de 34,9%. Comparando aos dados apresentados na Tabela 1, pode-se notar similaridade entre com o DDGS derivado do milho, inclusive, maior valor proteico atribuído à levedura integral seca, oriunda da vinhaça de arroz. Devido justamente a esse fato, o objetivo inicial

servir é aplicar a levedura integral seca como componente na formulação de ração animal.

Tabela 5. Resultados da caracterização da levedura integral seca.

Descrição do ensaio	Resultado	Unidade
Amilase	<0,50	U/mg
Lisina	1,26	g/100g
Metionina	1,04	g/100g
Beta glucanos	<0,10	g/100g
Resíduo mineral Exo (matéria mineral)	4,84	g/100g
Fibra Bruta	2,40	%
Glucose	1,97	%
Glucomanano (cálculo)	5,12	%
Mannose	3,15	%
Gordura total	7,57	g/100g
Proteína	34,90	g/100g
Umidade	16,80	g/100g
Cálcio (Ca)	161	mg/100g
Fósforo (P)	811	mg/100g
Potássio (K)	903	mg/100g
Sódio (Na)	125	mg/100g

Fonte: Laudo de análise emitido por empresa contratada pelo estudo de caso, laboratório Eurofins | ALAC.

Quanto ao teor de umidade, o resultado de 16,80% pode não refletir os valores reais. Ensaio de umidade mais recentes (descritos no tópico 5.1) em material coletado na saída do secador, realizados no local após ajustes de operação no *spray dryer*, indicam o produto final apresentou umidade relativa na faixa de 6%, valor utilizado nas estimativas de rendimento e gasto energético. Essa divergência nos valores de umidade pode se dar devido também às condições de armazenamento e transporte da amostra do momento de coleta até a determinação em laboratório contratado. Assim, com a redução do percentual da umidade, faz-se necessário uma nova análise do produto para certificação dos valores, uma vez que os parâmetros podem oscilar em função dessa redução da umidade final obtida.

6.3 Análise econômica

6.3.1 Receitas do projeto

O preço final de venda do produto foi estimado pela empresa por meio de uma pesquisa de mercado em cerca de R\$ 3.000,00/t. Para esse valor, a produção de 2.060 t/ano de levedura integral seca geraria uma receita bruta anual de R\$ 6.180.300,00. Com isso, o lucro bruto anual estimado, dado pela receita bruta diminuída dos custos, foi de R\$ 5.017.582,80. Por fim o lucro líquido anual, subtraídos os impostos, foi estimado em R\$ 3.600.440,01.

6.3.2 Custos de produção

Os custos de produção da secagem da levedura seca integral foram estimados e encontram-se dispostos na Tabela 6. Observa-se o impacto dos custos energéticos no custo de produção, cerca de 55%.

Tabela 6. Resumo dos custos de produção estimados para a produção da levedura integral seca.

Produção de levedura seca (t/ano)				2.060
Descrição		/t		%
1. Matéria-prima	R\$ -	R\$ -		0
1.1 Vinhaça	R\$ -	R\$ -		0
2. Custos fixos	R\$ 48.000,00	R\$ 23,30		4,13
2.1 Mão-de-obra e encargos	R\$ 48.000,00	R\$ 23,30		4,13
3. Custos variáveis	R\$ 674.717,20	R\$ 327,52		58,03
3.1 Vapor	R\$ 210.728,74	R\$ 102,29		18,12
3.2 Energia elétrica	R\$ 428.966,76	R\$ 208,23		36,89
3.3 Embalagem	R\$ 35.021,70	R\$ 17,00		3,01
4. Depreciação/Amortização	R\$ 440.000,00	R\$ 213,58		37,84
4.1 Depreciação (10 anos)	R\$ 440.000,00	R\$ 213,58		37,84
TOTAL	R\$ 1.162.717,20	R\$ 564,40		100

6.3.3 Avaliação financeira do projeto

Os valores obtidos para os indicadores considerados na avaliação financeira do projeto foram apresentados na Tabela 7. Conforme os critérios utilizados na avaliação, observa-se o VPL no valor positivo de R\$ 17.017.689,93 e a TIR de 81,84%, 5,5 vezes superior à taxa de juros considerada de 15% a.a., o que indica que o projeto é

economicamente viável. Para esses valores, o período de *payback* estimado foi de 1,22 anos.

Tabela 7. Avaliação econômica do projeto.

Indicadores	Valor
VPL	R\$17.017.689,93
TIR	81,84%
<i>Payback</i> (Anos)	1,22
TMA (a.a.)	15,00%

A avaliação de cenários com as mesmas condições, oscilando apenas o valor de venda do produto final, indica ainda que o projeto se mostra viável para valor de comercialização da levedura seca a partir de R\$ 1.170,00/ t, permitindo certa flexibilidade comercial para inserir o produto no mercado.

7 CONCLUSÕES

A estimativa de custo energético obtida neste trabalho auxilia na definição dos custos totais do produto e é decisivo no momento de definir o preço do produto para o mercado. Com base nos dados apresentados, pode-se observar o quanto o custo energético de operação do sistema de secagem é extremamente representativo para a viabilidade de operação do projeto. Com isso, devem-se buscar alternativas para reduzir tais custos. Há possibilidade de aumentar a eficiência do sistema de geração de vapor; de usar biomassas alternativas para a geração de vapor em função do preço de mercado do combustível utilizado atualmente, sem causar prejuízo à geração de vapor; e/ou e implementar um sistema de cogeração que reduza ou até mesmo dispense a demanda externa de energia elétrica.

O projeto de um sistema de cogeração com capacidade de 1 MW de energia elétrica está sendo implementado na empresa. Com esse sistema, toda a demanda de energia elétrica da empresa deve ser atendida com sobras, e o excedente deve ser distribuído na rede, tornando-se uma nova fonte de renda, sem afetar a geração de vapor. A utilização da casca de arroz como biomassa para queima na caldeira é viável uma vez que sua disponibilidade está associada à oferta da matéria-prima do etanol, o arroz, além da facilidade de obtenção junto aos fornecedores, as cerealistas da região.

Além do tocante energético e outros custos de produção, há que se considerar também os investimentos iniciais de compra e instalação do sistema na avaliação econômica da implantação desse tipo de tratamento para a vinhaça. A viabilidade econômica do produto, porém, se baseia essencialmente no fato de, além da matéria-prima não apresentar custos na obtenção, seu processamento também reduz os custos na disposição final de resíduos.

Ainda assim, embora a secagem por atomização da vinhaça demande um consumo energético considerável e determinante no preço comercial do produto final obtido, com base nas considerações dispostas na análise de viabilidade, conclui-se que a secagem da vinhaça se mostra uma alternativa para o tratamento do resíduo uma vez que se fecha o ciclo produtivo de forma eficiente e lucrativa para a empresa, além do grande ganho ambiental no reaproveitamento de resíduo, evitando eventual disposição ambiental inadequada.

Por fim, diante das características similares e em alguns casos superiores, entre a levedura integral seca obtida do processo de secagem da vinhaça de arroz em comparação com o DDGS proveniente da produção de etanol de milho, pode-se pressupor que ambos os produtos se encaixem no mesmo nicho de mercado e que o produto final pode ser utilizado no ramo de alimentação animal com alto valor agregado, embora ainda demande estudos quanto à utilização dessa matéria-prima na composição de ração animal.

8 REFERÊNCIAS

ABREU FILHO, José Carlos Franco de; CURY, Marcus Vinicius Quintella. Análise de projetos de investimento. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2018.

AFONSO JÚNIOR, P. C.; OLIVEIRA FILHO, D.; COSTA, D. R. Viabilidade econômica de produção de lenha de eucalipto para secagem de produtos agrícolas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 28-35, 2006.

ALMEIDA, Isabela Castro de. **ESTUDOS SOBRE O USO DO ARROZ BRS AG PARA A PRODUÇÃO DE ETANOL**. 2017. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Química, Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

ALVES, Ethene Baldissera. **ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA PRODUÇÃO DE ETANOL DE ARROZ COMO ALTERNATIVA DE MERCADO E SUSTENTABILIDADE NA FRONTEIRA OESTE DO RS.** 2014. 65 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Econômica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2014.

ANP – AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. **Biocombustíveis.** Disponível em: <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/>. Acesso em: 16 nov. 2019.

AO, Tianjie *et al.* Towards zero waste: A valorization route of washing separation and liquid hot water consecutive pretreatment to achieve solid vinasse based biorefinery. **Journal of Cleaner Production**, v. 248, p. 119253, 2020.

BNDES/CGEE (Org). **Bioetanol de cana-de-açúcar: energia para o desenvolvimento sustentável.** Rio de Janeiro: BNDES, 2008.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard Edwin. **Fundamentos da termodinâmica.** 7. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2009. 659 f.

BORTOLETTO, Aline Marques; ALCARDE, André Ricardo. Dominante nos EUA, etanol de milho é opção, no Brasil, para safra excedente. **Piracicaba: Visão Agrícola**, n. 13, p. 135-137, 2015.

BORZANI, Walter; SCHMIDELL NETTO, Willibaldo; LIMA, Urgel de Almeida; AQUARONE, Eugênio. **Biotecnologia industrial.** São Paulo: Edgard Blucher, 2001. 3 v.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio: Brasil 2017/18 a 2027/28 projeções de longo prazo /** Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Política Agrícola. – Brasília: MAPA/ACE, 2018. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/PROJECOES2018_FINALIZADA_web_05092018.pdf>. Acesso em: 17 mar. 2020.

BRASIL. **Lei nº 13.576, DE 26 DE DEZEMBRO DE 2017.** Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Brasília, DF:

Presidência da República, [2017a]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13576.htm. Acesso em: 16 outubro 2019.

BRASIL. **Instrução normativa RFB nº 1700, DE 14 DE MARÇO DE 2017**. Dispõe sobre a determinação e o pagamento do imposto sobre a renda e da contribuição social sobre o lucro líquido das pessoas jurídicas e disciplina o tratamento tributário da Contribuição para o PIS/Pasep e da Cofins no que se refere às alterações introduzidas pela Lei nº 12.973, de 13 de maio de 2014. Brasília, DF: Receita Federal, [2017b]. Disponível em: <http://normas.receita.fazenda.gov.br/sijut2consulta/link.action?visao=compilado&idAto=81268#1706802>. Acesso em: 02 jun. 2020.

CARVALHO, Webber Tavares de *et al.* Características físico-químicas de extratos de arroz integral, quirera de arroz e soja. **Pesqui. Agropecu. Trop.**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 422-429, Set. 2011.

CELESTINO, Sonia Maria Costa. Princípios de secagem de alimentos. **Embrapa Cerrados-Documentos (INFOTECA-E)**, 2010.

CITROTEC. **Soluções tecnológicas para Sucrenergia**. Disponível em: http://www.citrotec.com.br/Catalogo_Sucrenergia_2019.pdf/. Acesso em: 16 fev. 2020.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (Org.). **A cultura do arroz**. – Brasília: Conab, 2015.

CONAB – COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acomp. safra bras. grãos, v. 6 - Safra 2018/19 - Décimo segundo levantamento, Brasília, p. 1-126. Setembro 2019.

CRUZ, Luiz Felipe Lomanto Santa *et al.* Análise da viabilidade técnica, econômica e ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça: fertirrigação, concentração e biodigestão. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 29, p. 111-127, set. 2013.

CRUZ, Luiz Felipe Lomanto Santa. **VIABILIDADE TÉCNICA/ECONÔMICA/AMBIENTAL DAS ATUAIS FORMAS DE APROVEITAMENTO DA VINHAÇA PARA O SETOR SUCROENERGÉTICO DO ESTADO DE SÃO PAULO**. 2011. 138 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Balço energético Nacional 2019 / Ano Base 2018**: Relatório Síntese. Empresa de Pesquisa Energética – Rio de Janeiro: EPE, 2019a. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019%20Ano%20Base%202018.pdf>. Acesso em: 17 set. 2019.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (BRASIL). **Análise de conjuntura dos biocombustíveis / ano 2018**. Rio de Janeiro, jun. 2019b. Disponível em: http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-402/An%C3%A1lise_de_Conjuntura_Ano%202018.pdf. Acesso em: 19 out. 2019.

EPBR (org.). **O “novo capitalismo” de Davos**. 2020. Elaborada por Gustavo Gaudarde. Disponível em: <https://epbr.com.br/o-novo-capitalismo-de-davos/>. Acesso em: 21 jan. 2020.

FAO – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OS THE UNITED NATIONS. **FAO participa de painel sobre a agricultura brasileira durante conferência internacional sobre fertilizantes. 2016**. Disponível em: <http://www.fao.org/brasil/noticias/detail-events/en/c/1098805/>. Acesso em: 20 outubro 2019.

FUESS, Lucas Tadeu. **POTENCIAL CONTAMINANTE E ENERGÉTICO DA VINHAÇA**: riscos de contaminação ao solo e recursos hídricos e recuperação de energia a partir da digestão anaeróbia. 2013. 163 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2013.

FUKUSHIMA, Nilton Asao *et al.* Energy analysis of the ethanol industry considering vinasse concentration and incineration. **Renewable energy**, v. 142, p. 96-109, 2019.

GEHAKA. Manual de Instruções Analisador de umidade por infravermelho IV2500. Disponível em: https://www.gehaka.com.br/produtos/linha-pesagem/analizador-de-umidade/iv2500/manual_iv2500.pdf. Acesso em 14 mai. 2020.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em 17 mai. 2020.

JARDINE, José Gilberto; DISPATO, Ivanilde; PERES, Mariana Rodrigues. Indicações de aspecto tecnológico sobre o bioetanol de matéria-prima amilácea. **Embrapa Informática Agropecuária Documentos (INFOTECA-E)**, 2009.

KAJIYAMA, Tatumi; PARK, Kil Jin. Influência da umidade inicial da alimentação no tempo de secagem em secador atomizador. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 1, 2008.

LIMBERGER, Valéria Maria *et al.* Modificação química e física do amido de quireira de arroz para aproveitamento na indústria de alimentos. **Química Nova**, v. 31, n. 1, p. 84, 2008.

LOPES, Mario Lucio *et al.* Ethanol production in Brazil: a bridge between science and industry. **Brazilian journal of microbiology**, v. 47, p. 64-76, 2016.

LORA, Electo Eduardo Silva; VENTURINI, Osvaldo José (Coord.). **Biocombustíveis**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012. 2 v.

MANOCHIO, Carolina. **PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE CANA-DE-AÇÚCAR, MILHO E BETERRABA**: uma comparação dos indicadores tecnológicos, ambientais e econômicos. 2014. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Alfenas, Poços de Caldas, 2014.

MICHEL JUNIOR, Raul José dos Santos. **VIABILIDADE TÉCNICA DA PRODUÇÃO DE ETANOL A PARTIR DO FARELO DE ARROZ**. 2016. 74 f. Tese (Doutorado) - Curso de Doutorado do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2016.

NAKASHIMA, Rafael Nogueira; DE OLIVEIRA JUNIOR, S. Comparative exergy assessment of vinasse disposal alternatives: Concentration, anaerobic digestion and fertirrigation. **Renewable Energy**, v. 147, p. 1969-1978, 2020.

OLIVEIRA, Olivia Werner; PETROVICK, Pedro Ros. Secagem por aspersão (spray drying) de extratos vegetais: bases e aplicações. **Rev. bras. farmacogn.**, Curitiba , v. 20, n. 4, p. 641-650, Set. 2010.

PARANHOS, Ivete C. M. *et al.* Valor nutritivo da quirera de arroz para pintos de corte. **Ceres**, v. 37, n. 212, 2015.

PARSAEE, Mostafa; KIANI, Mostafa Kiani Deh; KARIMI, Keikhosro. A review of biogas production from sugarcane vinasse. **Biomass and bioenergy**, v. 122, p. 117-125, 2019.

PEITER, Fernanda S.; HANKINS, Nicholas P.; PIRES, Eduardo C. Evaluation of concentration technologies in the design of biorefineries for the recovery of resources from vinasse. **Water research**, v. 157, p. 483-497, 2019.

ROSA, E. D.; TSUKADA, M.; FREITAS, L. A. P. Secagem por atomização na indústria alimentícia: fundamentos e aplicações. **Jornada Científica da Fazu/Faculdades Associadas de Uberaba**, v. 5, 2006.

RENEWABLE FUELS ASSOCIATION. **Annual World Fuel Ethanol Production**. Disponível em: <https://ethanolrfa.org/statistics/annual-ethanol-production/>. Acesso em: 19 set. 2019.

SENICATO, Samira Duran; BASSO, Thalita Peixoto. **Temas de agronegócio: viabilidade econômica da implantação do sistema de secagem – *spray dry* – para levedura em usina na região centro-sul do Brasil**. Piracicaba: Linha Impressa Editora, 2014. 32 p.

SFEIR, Fabrizia Panicki. **RESÍDUOS DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA: vinhaça e torta de filtro**. 2013. 41 f. Monografia (Especialização) - Modalidade de Ensino à Distância, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

SILVA, Claudia Cassimira da. **AVALIAÇÃO DO USO DE LEVEDURAS (SACCHAROMYCES CEREVISIAE) INATIVAS E HIDROLISADAS NAS DIETAS INICIAIS DE LEITÕES**. 2009. 112 f. Dissertação (Mestrado). Faculdade de Zootecologia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2009.

SILVA, Gaspar Antonio da. **AVALIAÇÃO DAS TECNOLOGIAS DE DISPOSIÇÃO DE VINHAÇA DE CANA DE AÇÚCAR QUANTO AO ASPECTO DE DESENVOLVIMENTO AMBIENTAL E ECONÔMICO**. 2011. 208 f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SECAMAQ. **Eficiência térmica em caldeiras: saiba sobre a importância**. Abr. 2018. Disponível em: <https://www.secamaq.com.br/blog/eficiencia-termica-em-caldeiras/>. Acesso em: 01 mai. 2020.

SPEROTTO, Felipe Carlos Spneski. **ABORDAGEM MULTIPROCESSUAL E CARACTERIZAÇÃO DOS GRÃOS SECOS DE DESTILARIA COM SOLÚVEIS (DDGS) DE MILHO**. 2017. 91 f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2017.

STUANI, Jessika Lucia; CORASSA, Anderson; DA SILVA, Iziz Paula Anhon. Caracterização nutricional e uso de DDGS em dietas para suínos em crescimento e terminação - Abordagem analítica. **Revista Nativa**, Sinop, v. 4, n. 2, p. 116-120, mar/abr. 2016.

VIRMOND, Elaine. **UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS COMO FONTE ALTERNATIVA DE ENERGIA**. 2011. 272 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Florianópolis, 2011.

ZONIN, Valdecir. **Etanol de arroz cria alternativa de biocombustível e pode melhorar preço para produtores no RS**. Agência Brasil de Comunicação: 2012. Disponível em: <http://memoria.ebc.com.br/agenciabrasil/noticia/2012-03-11/etanol-de-arroz-cria-alternativa-de-biocombustivel-e-pode-melhorar-preco-para-produtores-no-rs>. Acesso em 14 mai. 2020.

Anexo A. Projeção da Demonstração do Resultado do Exercício (DRE) por ano.

PROJEÇÃO DRE	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2033	2034	2035
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Recebimentos (+)		R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00
Venda levedura		R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00	R\$ 6.180.300,00
Custo total (-)		R\$ 1.162.717,20	R\$ 1.162.717,20	R\$ 1.162.717,20	R\$ 1.162.717,20	R\$ 1.162.717,20	R\$ 1.162.717,20	R\$ 1.162.717,20	R\$ 1.162.717,20	R\$ 1.162.717,20	R\$ 1.162.717,20	R\$ 722.717,20	R\$ 722.717,20	R\$ 722.717,20	R\$ 722.717,20	R\$ 722.717,20
Custo fixo		R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00	R\$ 48.000,00
Custo variável		R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20	R\$ 674.717,20
Depreciação/Amortiz		R\$ 440.000,00	R\$ 440.000,00	R\$ 440.000,00	R\$ 440.000,00	R\$ 440.000,00	R\$ 440.000,00	R\$ 440.000,00	R\$ 440.000,00	R\$ 440.000,00	R\$ 440.000,00					
Impostos (-)		R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79	R\$ 1.417.142,79
Contribuição social		R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24	R\$ 66.747,24
IRPJ		R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60	R\$ 74.163,60
ICMS		R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00	R\$ 1.050.651,00
PIS		R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95	R\$ 40.171,95
COFINS		R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00	R\$ 185.409,00
Investimentos (-)	R\$ 4.400.000,00															
LUCRO LÍQUIDO	-R\$ 4.400.000,00	R\$ 3.600.440,01	R\$ 3.600.440,01	R\$ 3.600.440,01	R\$ 3.600.440,01	R\$ 3.600.440,01	R\$ 3.600.440,01	R\$ 3.600.440,01	R\$ 3.600.440,01	R\$ 3.600.440,01	R\$ 3.600.440,01	R\$ 4.040.440,01	R\$ 4.040.440,01	R\$ 4.040.440,01	R\$ 4.040.440,01	R\$ 4.040.440,01