

**UNICESUMAR - UNIVERSIDADE DE MARINGÁ**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS TECNOLÓGICAS E AGRÁRIAS**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**ANÁLISE DO BALANÇO FINANCEIRO DE UMA USINA QUE PODERIA  
UTILIZAR A VINHAÇA E A TORTA DE FILTRO PARA FINS GERACIONAIS AO  
INVÉS DA ADUBAÇÃO**

**João Vitor Queiroz Lima Tavares**

MARINGÁ – PR

2021

João Vitor Queiroz Lima Tavares

**ANÁLISE DO BALANÇO FINANCEIRO DE UMA USINA QUE PODERIA  
UTILIZAR A VINHAÇA E A TORTA DE FILTRO PARA FINS GERACIONAIS AO  
INVÉS DA ADUBAÇÃO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Fernando Pereira Calderaro.

MARINGÁ – PR

2021

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

João Vitor Queiroz Lima Tavares

### **ANÁLISE DO BALANÇO FINANCEIRO DE UMA USINA QUE PODERIA UTILIZAR A VINHAÇA E A TORTA DE FILTRO PARA FINS GERACIONAIS AO INVÉS DA ADUBAÇÃO**

Artigo apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da UNICESUMAR – Universidade de Maringá como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Engenharia Mecânica, sob a orientação do Prof. Dr. Fernando Pereira Calderaro.

Aprovado em: 26 de novembro de 2021.

#### **BANCA EXAMINADORA**

Fernando Pereira Calderaro

Nome do professor – (Dr., Fernando, UEM)

Fernando Moro

Nome do professor - (Mestre, Fernando, UEM)

Camila Galo

Nome do professor - (Mestre, Camila, UEL)

# **ANÁLISE DO BALANÇO FINANCEIRO DE UMA USINA QUE PODERIA UTILIZAR A VINHAÇA E A TORTA DE FILTRO PARA FINS GERACIONAIS AO INVÉS DA ADUBAÇÃO**

João Vitor Queiroz Lima Tavares

## **RESUMO**

Otimizar ao máximo seus lucros e ao mesmo tempo ser sustentável é o grande desafio das grandes empresas em nossa época, a indústria sucroalcooleira talvez seja o melhor exemplo que se possa citar, praticamente tudo é aproveitado e reaproveitado em seus processos. A implantação de uma biodigestora pode contribuir ainda mais com estes valores contemporâneos, utilizando a vinhaça e a torta de filtro para gerar energia através de biogás ou biometano, ao passo que se usa a matéria decomposta na fertilização. O objetivo deste trabalho é avaliar o balanço financeira de uma indústria que poderia utilizar sua vinhaça e sua torta de filtro para produção energética e não somente para a fertilização. Desta maneira, foi feito um estudo de caso com a Usina Alto Alegre, calculando a geração de biogás ou ainda biometano para a cogeração e sua comercialização, analisando o investimento para tal e o tempo esperado para se ter lucro.

**Palavras-chave:** Biogás. Biometano. Produção Energética.

## **ANALYSIS OF THE FINANCIAL BALANCE OF A PLANT WHICH COULD USE VINEYARD AND FILTER PIE FOR GENERATIONAL PURPOSES INSTEAD OF FERTILIZATION**

### **ABSTRACT**

Optimizing their profits to the maximum and at the same time being sustainable is the great challenge of large companies in our time, the sugar and alcohol industry is perhaps the best example that can be cited, practically everything is used and reused in its processes. The implementation of a biodigester can further contribute to these contemporary values, using vinasse and filter cake to generate energy through biogas or biomethane, while using decomposed matter in fertilization. The objective of this work is to evaluate the financial balance of an industry that could use its vinasse and filter cake for energy production and not just for fertilization. Thus, a case study was carried out with Usina Alto Alegre, calculating the generation of biogas or even biomethane for cogeneration and its commercialization, analyzing the investment for this, the expected time to make a profit.

**Keywords:** Biogas. Biomethane. Energy Production.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Yara Brasil (2020) o Brasil é o maior produtor de cana-de-açúcar do mundo com 720 milhões de toneladas ou 40% do cultivo mundial, devido à grande oferta da cana-de-açúcar em nosso país, são gerados muitos resíduos, como o bagaço da cana-de-açúcar, a vinhaça e o lodo ou torta de filtro juntamente com suas sedimentações que são obtidas na filtração do caldo (que fora logrado anteriormente na moção da cana-de-açúcar) para a recuperação do açúcar, o bagaço possibilita um grande potencial para a geração de energia elétrica através de seu uso para aquecer a água e gerar vapor para mover as turbinas, a vinhaça é usada como biofertilizante durante o plantio, e o lodo ou torta de filtro e suas sedimentações são utilizadas para serem depositadas em valas rasas para a adubação do solo, pois são ricas em micronutrientes; todo esse processo de aproveitamento energético de uma indústria sucroalcooleira é autossustentável, e portanto ao final de cada safra as indústrias do setor terão um balanço financeiro maximizado, sem desperdiçar nenhum recurso, trazendo maiores lucros, tornando seus produtos e serviços mais atrativos no mercado interno e internacional e revertendo o impacto causado pela emissão de carbono em doações, projetos sociais e principalmente ambientais, e há também um grande potencial de marketing, visto que todo o processo é autônomo e independente, e vivemos numa época em que se verifica o aumento da preocupação social com as questões ambientais, toda essa descrição se apresenta em muitas indústrias do setor sucroalcooleiro, como é o caso da Usina Alto Alegre.

A Usina Alto Alegre, que é composta por 3 unidades fabris no extremo norte do estado do Paraná e uma na região oeste do estado de São Paulo, produziu em 2019, segundo dados do seu relatório, 9,6 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 889 mil toneladas de açúcar, 650.000 MWh de energia elétrica dos quais 426.000 MWh foram vendidas no mercado interno, além de 280.000 m<sup>3</sup> de etanol, 4,3 bilhões de litros de vinhaça, 323 mil toneladas de torta de filtro mais a sedimentação que são destinadas na lavoura, e 2,8 milhões de toneladas de bagaço.

A intenção deste trabalho é averiguar a viabilização de uma possível melhora em toda eficiência do aproveitamento energético assim como nos balanços financeiros da usina mencionada, isto se daria com ênfase em outra destinação para a torta de filtro, seus sedimentos e a vinhaça, como dito anteriormente, esta usina utiliza a torta de filtro e a vinhaça para adubação, mas e se a usina as utilizasse para decomposição em biodigestor afim de se obter biogás? Qual seria o impacto? Não, a princípio, a usina não estaria perdendo todo o adubo, isto porque, também sobraria os resíduos sólidos que foram decompostos, e estes poderão ser remanejados para a fertilização do próximo plantio, e a usina estaria produzindo biogás, que

poderia ser utilizado para geração de energia elétrica e esta ser vendida, ou ainda purificar o biogás para obter biometano que possui maior poder calorífico, a eletricidade gerada seria utilizada pela usina porque parte da geração a partir do bagaço da cana-de-açúcar já tem utilização pela própria usina, e obviamente, o excedente seria comercializado.

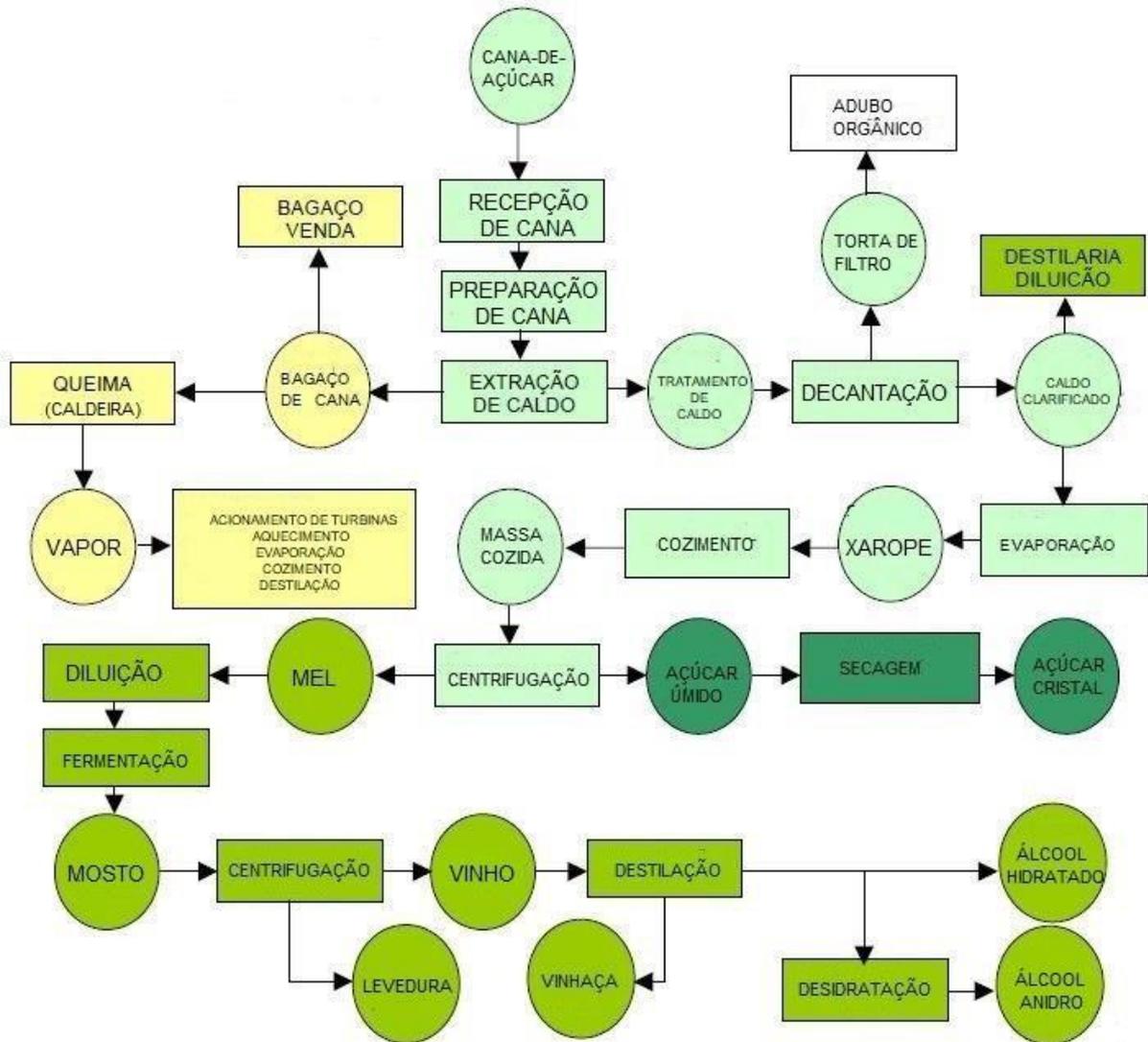
## **2. DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 FUNCIONAMENTO DA USINA DE CANA-DE-AÇÚCAR ATÉ A OBTENÇÃO DO CALDO CLARIFICADO**

Após a recepção da cana-de-açúcar, esta é preparada através da limpeza com uso da água, segundo relatório (2019) da Usina Alto Alegre, a água também é utilizada para a limpeza de equipamentos e instalações, e isto gera um efluente chamado água residuária que pode ser tratada com a vinhaça (num processo de decantação para obter mais lodo) que tem origem de um resíduo pastoso chamado de mosto, que segundo a Piracicaba Engenharia (2015) precisa passar pela centrifugação e destilação para então obter-se a vinhaça, que por sua vez é utilizada na fertilização da plantação, assim como parte da água residuária, já que a outra parte volta pro processo.

Após a limpeza da cana, ela é picada e desfibrada em um equipamento com martelos e uma placa desfibradora para se ter melhor eficiência na extração, segundo a Novacana (2013) 82% dos bambus de cana-de-açúcar devem passar por esse processo para melhor obtenção de açúcares na moenda, é no processo de moção, no qual a cana é espremida por dois rolos, em que cada par de rolo constitui um terno, e geralmente a moenda é composta de entre 4 a 7 ternos, também segundo a Novacana (2013) ao passar pelo primeiro terno a eficiência na extração gira em torno de 94% e 97,5%, segundo dados da mesma organização, após passar no primeiro terno, parte do caldo já pode ser levado para a fábrica por ter melhor qualidade, o restante da cana ainda precisa passar pelos demais ternos onde é obtido mais caldo e agora sim, é levado à fábrica junto ao restante do caldo, segundo Alcarde (2019) num processo de peneiramento, calagem, aquecimento, decantação, concentração, e resfriamento; da moção também sobra o bagaço, que é mandado para as caldeiras que irão gerar vapor e acionar as turbinas para gerar eletricidade; segundo a revista Super interessante (2008) 70% da cana vira caldo e 30% é bagaço.

**Figura 1** – Processo de uma usina de cana-de-açúcar



Fonte: Cirino et al. (2018).

No peneiramento, segundo Alcarde (2019), o caldo passa por peneiras rotativas e hidrociclones com eficiência entre 70% e 85%, no qual ocorre a redução de bagacilhos, areias e terra, este processo também ajuda a reduzir entupimentos e avariações em equipamentos posteriores; do peneiramento o caldo passa para a calagem em que é tratado com leite de cal para a floculação e separação de impurezas, a caleação deve almejar um índice de pH entre 5,6 e 5,8, que é o ideal; o caldo ainda passa pelo aquecimento, por volta de 104° C, isto serve para descontaminar o caldo de micróbios, ou seja, uma esterilização; na decantação o caldo fica descansando até que o lodo fique depositado no fundo e haja a separação entre caldo e lodo, este lodo é também chamado de torta de filtro e por fim o caldo é concentrado e resfriado, onde

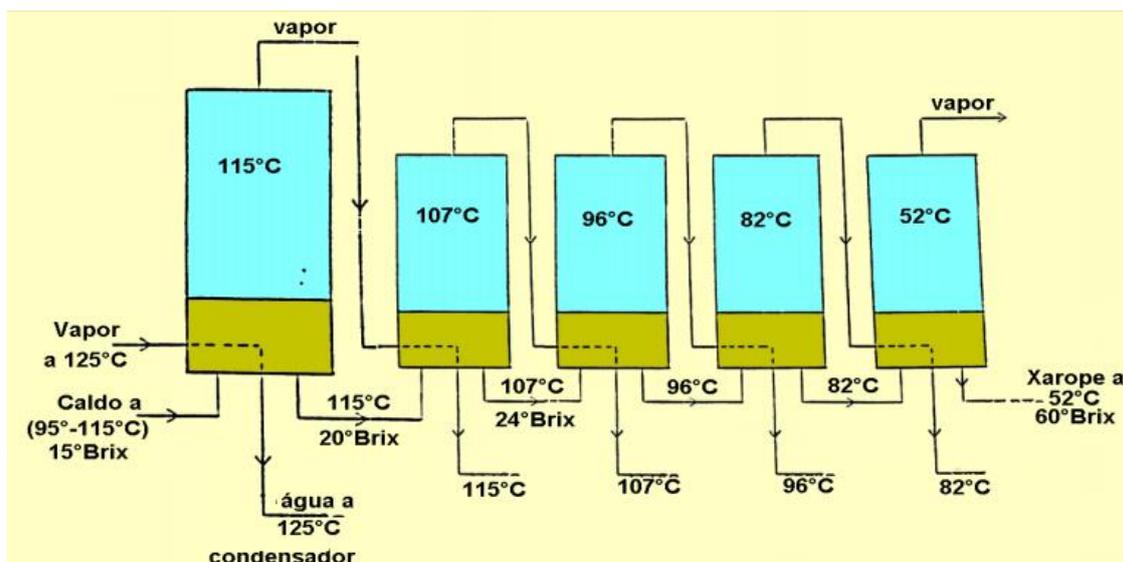
o temos de forma clarificada, uma parte deste caldo clarificado, é levado para destilaria, afim de produzir etanol, e a outra parte para produção de açúcar, vinhaça e mais etanol; a definição de quantos por cento de caldo clarificado vai para a destilaria para a produção de etanol e quantos por cento vai para a produção de açúcar dependerá do preço de ambos os produtos naquele momento.

### 2.1.1 DESTILAÇÃO DO CALDO CLARIFICADO E PRODUÇÃO DE ETANOL

Parte do caldo clarificado que foi enviado para a produção de álcool precisa passar por um processo de concentração afim de se formar o xarope que é enviado para a fermentação e finalmente a destilaria onde é produzido o álcool.

Para o processo de concentração, parte do caldo precisa ser evaporado para que assim o seu teor alcoólico seja aumentado no processo de fermentação, segundo Bortolotti (2016) é evaporado 750 kg de água para cada 1000 kg de caldo, a evaporação faz com que muito açúcar se acumule nesta solução que passa então a ser chamada de xarope, o grau Brix mede a quantidade de compostos solúveis numa solução, o caldo clarificado entra na evaporação com um grau em torno de 15° Brix e ao sair o xarope tem de 60° a 70° Brix, como mostrado na figura abaixo.

**Figura 2** – Evaporação do caldo clarificado



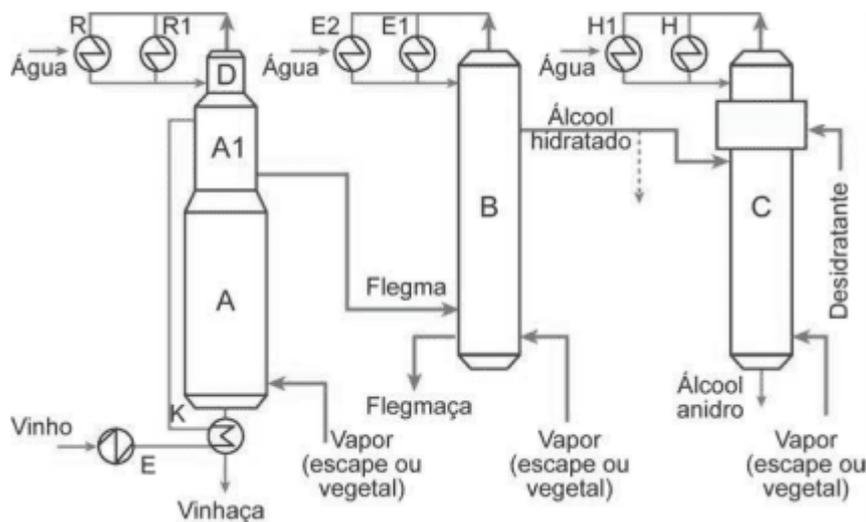
Fonte: USP/ESALQ (2018)

Depois da obtenção do xarope, ele se junta ao restante do caldo clarificado que fora destinado a produção do álcool, agora todo esse líquido é fermentado por leveduras que consomem o açúcar que fora concentrado no processo anterior, ao consumir o açúcar, as leveduras liberam gás carbônico e álcool, segundo a revista Super interessante (2008) todo esse processo de fermentação dura de 4 a 12 horas, quanto então é gerado um novo produto chamado de vinho fermentado.

Durante a fermentação também é liberado calor que aquece o vinho fermentado, por isso água é circulada ao redor dos tanques onde o vinho fermentado está contido, quanto então o vinho fermentado vai para a centrifugação, onde ele é separado das leveduras, que vão para tratamento e que podem ser utilizadas novamente, o vinho deslevedurado então chega para ser destilado, em sua entrada ele está com algo entre 7 ° GL a 16 ° GL, o grau GL ou grau Lussac, segundo a Wikipedia (2020) mede a quantidade em mililitro de álcool contida em 100 mililitros de solução hidroalcoólica, isto significa que o vinho possui de 7% a 16% de álcool e algo entre 84% a 93% de água.

Segundo Alcarde (2019), a primeira etapa da destilação é a purificação, na purificação se elimina principalmente ésteres e aldeídos, no entanto são quantidades ínfimas, como já dito o vinho é composto basicamente de água e álcool, neste processo é que há a separação entre o vinho depurado e o álcool bruto (que pode ser vendido ou continuar na linha de destilação), o vinho depurado é então submetido a uma nova destilação que pode ser observado na imagem abaixo.

**Figura 3 – Destilação e desidratação**



Fonte: Lopes (2011)

Conforme a figura 3 o vinho é passado por uma nova destilação onde é obtido o flegma (que é o produto principal da destilação, composto também de água e álcool) e a vinhaça (que geralmente é enviada para utilização no plantio como biofertilizante).

O flegma é então levado para retificação, que é também uma espécie de destilação onde ele é separado em álcool hidratado e flegmaça, a flegmaça é composto de água e óleo de fúsel (o óleo de fúsel segundo a fermentec (2019) possui diversas utilizações industriais, como: reagentes em sínteses orgânicas, indústria de plástico e perfumaria (ésteres), carburante junto ao etanol e diesel), segundo Azania, Marques, Pavani e Azania (2003) para cada litro de álcool hidratado é obtido 2,8 L de flegmaça.

Segundo o G1 (2021), o álcool hidratado mais conhecido como etanol é agora composto de 92% de álcool e 8% de água após todos esses processos, para a obtenção do álcool anidro é necessário desidratar o álcool hidratado, ou melhor, parte do álcool hidratado, pois o quanto de álcool hidratado (etanol) e o quanto de álcool anidro (é utilizado em refinarias para a produção de gasolina) a Usina quer produzir vai depender do preço de ambos naquele momento; como visto, os dois combustíveis são utilizados para abastecer automóveis.

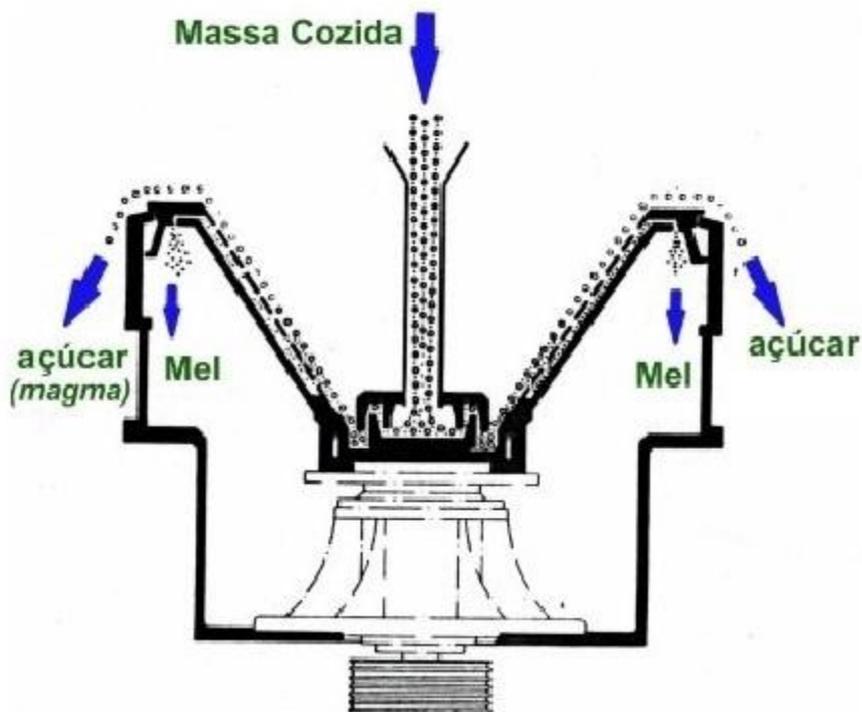
## 2.2 A PRODUÇÃO DE AÇÚCAR E DE MAIS ÁLCOOL E VINHAÇA

No final da seção 2.1 foi dito que a depender do preço dos produtos naquele momento, parte do caldo clarificado era enviado já para a produção de álcool e a outra parte para a produção de açúcar, de mais vinhaça e de mais álcool, é a produção dessa segunda parte que veremos a seguir.

O caldo clarificado na produção de açúcar também é submetido a evaporação, segundo Castro (2011) a concentração de água no caldo é reduzida de 80% para a 40%, resultando assim no xarope, que por sua vez passa para o processo de cozimento, em cada vaso cozedor o xarope recebe um quantidade de vapor, isto torna o xarope mais consistente e concentrado, como um mel, os cristais de açúcar começam então a aumentar de tamanho, e para ficar ainda mais cristalizado, é preciso resfriar o xarope que está quente devido a evaporação, no processo de cristalização por resfriamento, segundo a Brumazi (2011), lentamente ocorre a recuperação de sacarose que estava ainda dissolvida no xarope, deste modo se completa a cristalização do xarope, o nome do subproduto que agora se obtém é massa cozida, que deverá passar para a próxima etapa da fabricação, a centrifugação.

Na centrifugação do açúcar a massa cozida é jogada nas centrífugas que através de sua força centrífuga faz com que o mel que compõe a massa cozida perpassa as perfurações e deste modo os cristais de sacarose ficam separados, daqui podem sair o açúcar demerara, VHP ou VVHP, isto dependerá do controle do tamanho do grão de açúcar que a usina fará no processo de centrifugação, já o mel será levado para diluição, fermentação, obtenção do mosto, e aí é centrifugado para se produzir mais vinhaça e álcool num processo que já vimos antes.

**Figura 4** – A centrifugação do açúcar



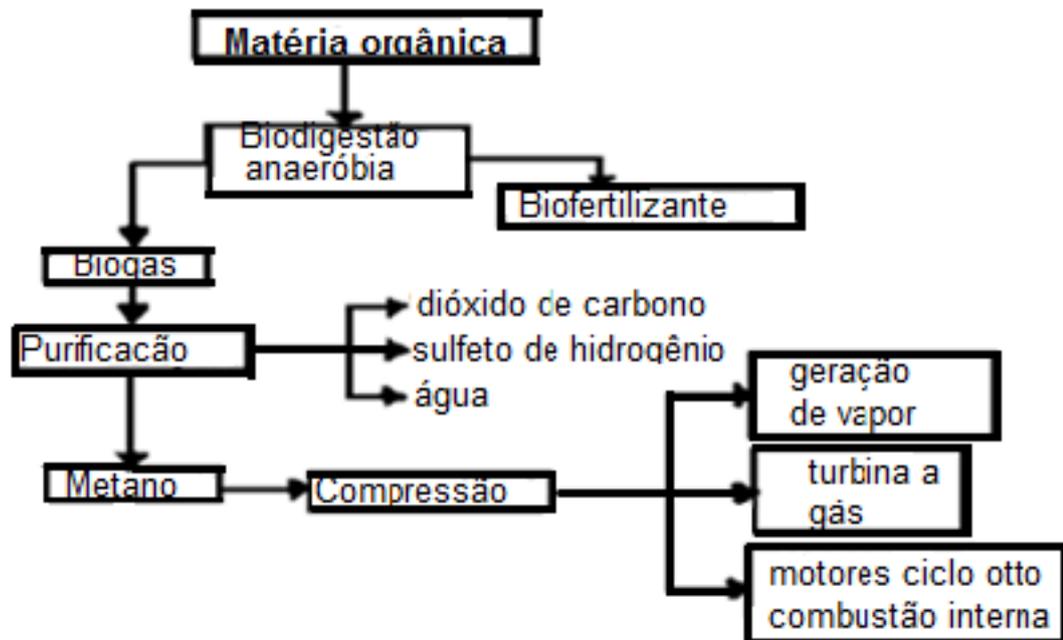
Fonte: Alcarde (2017)

Os açúcares passam por um processo de secagem, segundo a Brumazi (2011), em um secador de tambor rotativo com um fluxo de ar succionado contracorrente por um exaustor, então esses diferentes tipos de açúcar já podem ser ensacados e transportados para os compradores, segundo a Alpha Brasil 19 (2016), o açúcar VHP é principalmente comprado por refinarias para produzir o açúcar refinado, mas também pode ser destinado para a produção de outros tipos de açúcar, o VVHP também pode ser transformado em outros tipos de açúcar.

### 2.3 BIODIGESTOR, BIOGÁS E BIOMETANO

A biodigestão anaeróbia é simples, a matéria orgânica é depositada no biodigestor que fica fechado, neste caso as matérias orgânicas são a vinhaça e a torta de filtro, segundo Costa (2015) a mistura de 50% v/v apresenta maior produção de biogás, onde estas ficam na ausência de oxigênio, quando agitadores começam a movimentar a matéria para ocorrer a facilitação das reações químicas, que nada mais são que bactérias decompondo a matéria, portanto, se alimentando dela e liberando biogás que é composto de 75% de metano e 25% de CO<sub>2</sub>. O biogás pode ser comercializado, mas é mais prático sua conversão em eletricidade, e a matéria que fora decomposta se torna mais concentrada e mais rica em nutrientes que poderá ser utilizada como fertilizante, para cada m<sup>3</sup> de vinhaça são gerados de 28 a 32 kWh de eletricidade, e para cada tonelada de torta de filtro são gerados 180kWh de eletricidade.

**Figura 5** – Fluxograma do processo de biodigestão anaeróbia



Fonte: Granato (2003)

Dutos e esteiras levam a vinhaça e a torta de filtro para os biodigestores, o gás produzido no biodigestor por ser menos denso, sobe para a superfície do tanque onde estão mais dutos que o levam para a purificação e refino do biogás com o objetivo de aumentar seu valor energético e econômico, bem como, preservar a vida útil dos motogeradores, pois serão retirados gases corrosivos, a purificação simplesmente retira gases como o gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), vapor de água (H<sub>2</sub>O), Ar Atmosférico (N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>) e Dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), segundo a Cibiogás/Embrapa (2015) esses gases representam cerca de 34% do biogás, os outros 66% são de biometano (CH<sub>4</sub>), este sim é que parte para os motogeradores para a produção de

eletricidade, mas não necessariamente o biogás precisa ser transformado em biometano para produzir eletricidade, o biogás pode ir diretamente para os moto geradores, não precisando de purificação ou ainda parte do biogás pode ser utilizada para produção do biometano para ser comprimido em cilindros para serem utilizados como combustível (GNV) para abastecimento de automóveis com essa tecnologia.

Após a produção de biogás cair, retira-se a matéria decomposta para ser usada como biofertilizante, e se deposita mais vinhaça e torta de filtro no biodigestor para a produção se manter constante durante o ano todo.

#### 2.4 CÁLCULO DO POTENCIAL GERACIONAL DA USINA ALTO ALEGRE (SAFRA 2019) ATRAVÉS DO BIOGÁS OBTIDO DA BIODIGESTÃO SEPARADA DA VINHAÇA E DA TORTA DE FILTRO

A Usina Alto Alegre produziu em 2019, 4,3 bilhões de litros de vinhaça e 323 mil toneladas de torta de filtro e sabe-se que segundo a Bazico tecnologia e consultoria (2017) para cada m<sup>3</sup> de vinhaça são produzidos de 14 a 16 m<sup>3</sup> de biogás, e também, segundo a mesma Bazico tecnologia e consultoria (2017) cada m<sup>3</sup> de biogás gera 2 kWh, portanto cada m<sup>3</sup> de vinhaça gera de 28 a 32 kWh, e para cada tonelada de torta de filtro, também segundo a Bazico tecnologia e consultoria (2017) são produzidos 90 m<sup>3</sup> de biogás, bem sabemos que para cada m<sup>3</sup> de biogás são gerados 2 kWh, portanto, cada tonelada de torta de filtro gera 180 kWh, calculemos primeiro o potencial da vinhaça, a capacidade de produção de energia elétrica da Usina Alto Alegre na safra de 2019 através do uso da vinhaça transformada em biogás é de:

$$\frac{(4,3 \times 10^9 L_{vinhaça}) \times (28 kWh)}{1000 L} = 120,4 \text{ mil MW} \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{(4,3 \times 10^9 L_{vinhaça}) \times (32kWh)}{1000 L} = 137,3 \text{ mil MWh} \dots\dots\dots (2)$$

Com a vinhaça que fora obtida na safra 2019, a Usina Alto Alegre consegue gerar de 120,4 mil MWh a 137,3 mil MWh, uma média de 128,85 mil MWh, e com a torta de filtro se consegue produzir:

$$\frac{(323 \times 10^3 t_{torta}) \times (180kWh)}{1 t} = 58,14 \text{ mil MWh} \dots\dots\dots (3)$$

## 2.5 CÁLCULO DO POTENCIAL GERACIONAL DA USINA ALTO ALEGRE (SAFRA 2019) ATRAVÉS DO BIOMETANO OBTIDO DO BIOGÁS DA BIODIGESTÃO SEPARADA DA VINHAÇA E DA TORTA DE FILTRO

Os cálculos anteriores foram com o biogás, que possui um poder calorífico de 4660 kcal/kg, se o biogás fosse transformado em biometano através da purificação, teríamos um poder calorífico de algo em torno de 12000 kcal/kg, segundo o Portal do Biogás (2021) com 1 m<sup>3</sup>, isto é, 1000 L de biometano é possível gerar 9,97 kWh, ou seja, quase 5x mais que o biogás, e sabe-se que 1000 L de biogás gera 666 L de biometano, e que 1000 L de vinhaça gera de 14000 L a 16000 L de biogás, logo:

$$\frac{(4,3 \times 10^9 L_{vinhaça}) \times (14 \times 10^3 L_{biogás})}{1000 L_{vinhaça}} = 60,2 \times 10^9 L_{biogás} \dots\dots\dots (4)$$

$$\frac{(4,3 \times 10^9 L_{vinhaça}) \times (16 \times 10^3 L_{biogás})}{1000 L_{vinhaça}} = 68,8 \times 10^9 L_{biogás} \dots\dots\dots (5)$$

Teríamos entre 60,2 bilhões a 68,8 bilhões de litros de biogás, portanto uma média de 64,5 bilhões de litros de biogás, e com isso se obteria quanto de biometano?

$$\frac{(64,5 \times 10^9 L_{biogás}) \times (666 L_{biometano})}{1000 L_{biogás}} = 42,9 \times 10^9 L_{biometano} \dots\dots\dots (6)$$

Assim, temos que através dos 4,3 bilhões de litros de vinhaça se consegue obter 42,9 bilhões de litros de biometano, e quanta energia se consegue gerar com isto? Sabendo que com 1000 litros de biometano se gera 9,97 kWh, temos que:

$$\frac{(42,9 \times 10^9 L_{\text{biometano}}) \times (9,97 \text{ kWh})}{1000 L_{\text{biometano}}} = 427 \text{ mil MWh} \dots\dots\dots (7)$$

Então o biometano obtido por meio do biogás que veio da vinhaça, geraria 427 mil MWh, mas e o biometano também pode ser obtido através do biogás da torta de filtro, tendo em vista que 1 tonelada de torta de filtro gera 90000 litros de biogás, calcula- se que:

$$\frac{(323 \times 10^3 t_{\text{torta}}) \times (90 \times 10^3 L_{\text{biogás}})}{1 t_{\text{torta}}} = 29,07 \times 10^9 L_{\text{biogás}} \dots\dots\dots (8)$$

Fazendo o cálculo de obtenção de biometano através dos  $29,07 \times 10^9 L_{\text{biogás}}$ , chegaremos na seguinte quantidade de biometano:

$$\frac{(29,07 \times 10^9 L_{\text{biogás}}) \times (666 L_{\text{biometano}})}{1000 L_{\text{biogás}}} = 19,36 \times 10^9 L_{\text{biometano}} \dots\dots\dots (9)$$

Por conseguinte, convertendo este valor de biometano em eletricidade, teremos o valor de:

$$\frac{(19,36 \times 10^9 L_{\text{biometano}}) \times (9,97 \text{ kWh})}{1000 L_{\text{biometano}}} = 193 \text{ mil MWh} \dots\dots\dots (10)$$

Nesta subseção fora calculado o potencial de geração do biogás obtido da vinhaça e da torta de filtro, ambos de maneira isolada, isto é, como se num biodigestor fosse decomposto só a vinhaça ou só a torta; e também foi realizado o cálculo do potencial de geração do biometano obtido através do biogás da vinhaça e da torta, também de maneira isolada.

## 2.6 CÁLCULO DO POTENCIAL GERACIONAL DA MISTURA DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO (OBTIDOS NA SAFRA 2019 DA USINA ALTO ALEGRE) CONVERTIDA EM BIOGÁS NUMA PLANTA DA RAÍZEN EM GUARIBA-SP

Nesta subseção veremos o cálculo da geração de energia a partir da mistura da vinhaça e da torta de filtro no biodigestor, será utilizado para isso os dados da safra 2019 da Usina Alto Alegre, no entanto, será calculado como se estivesse sendo utilizado numa planta de biogás da Raízen, localizada em Guariba-SP, ou seja, um exemplo de projeto em que a Usina Alto Alegre poderia se inspirar.

Segundo a Raízen (2020) o potencial instalado na planta é de 21 MW, ou seja, o máximo de energia que se pode gerar em um ano nesta planta, é de:

$$21 \text{ MW} \times 8760 \text{ h} = 183 \text{ mil MWh} \dots\dots\dots (11)$$

No entanto, a Raízen diz que tem a expectativa de gerar anualmente somente 138 mil MWh, portanto, diariamente a quantidade de energia efetivamente gerada é de:

$$\frac{(138 \times 10^3 \text{ MWh})}{365 \text{ dias}} = 378 \text{ MWh/dia} \dots\dots\dots (12)$$

Ainda segundo a Raízen (2020) com 9 mil toneladas de torta de filtro + 100 milhões de litros de vinhaça geram nesta planta, 1 MW de potencial, apenas 1 MW dos 21 MW que há de potencial, isto seria 1 MW de potencial a cada:

$$\frac{51 \text{ semanas}}{21 \text{ MW}} = 2,42 \text{ semanas} = 17 \text{ dias} \dots\dots\dots (13)$$

Ou seja:

$$17 \text{ dias} \times 378 \text{ MWh} = 6426 \text{ MWh} \dots\dots\dots (14)$$

Segundo o Autor (2021) 9 mil toneladas de torta biodigeridas produzem 1620 MWh e 100 milhões de litros de vinhaça biodigeridas geram 3200 MWh, daria uma soma de 4820 MWh, esta diferença em relação ao cálculo acima se deve ao fato de que fora considerado que a torta sofreu biodigestão com água quando calculado seu potencial isolado, enquanto que no cálculo acima, fora misturada com vinhaça, a maneira como a torta de filtro é biodigerida faz total diferença, visto que se sabe que a torta tem 6x mais capacidade geracional que a vinhaça.

1 MW convertido em MWh são 8760 MWh, esse valor seria a capacidade máxima que poderiam gerar em 17 dias, desses só geram 6426 MWh.

Com estes dados, vejamos o potencial geracional da Usina Alto Alegre se tivesse uma planta como a da Raízen. Sabe-se que a Usina Alto Alegre produziu na safra de 2019,  $4,3 \times 10^9 L_{vinhaça}$  e  $323 \times 10^3 t_{torta}$ , e são necessárias 9 mil toneladas de torta a cada 100 milhões de litros de vinhaça para gerar 6426 MWh, (vamos chamar essa mistura nessas quantidades de 1 processo) obviamente que a torta de filtro acabaria primeiro, veja:

$$\frac{323 \times 10^3 t_{torta}}{9 \times 10^3 t_{torta}} = 35 \text{ processos} \dots\dots\dots (15)$$

$$\frac{4,3 \times 10^9 L_{vinhaça}}{1 \times 10^8 L_{vinhaça}} = 43 \text{ processos} \dots\dots\dots (16)$$

Então, percebe-se que se poderia misturar 9 mil toneladas de torta com 100 milhões de litros de vinhaça por 35x, e quanto de vinhaça sobraria:

$$(1 \times 10^8 L_{vinhaça}) \times 35 \text{ processos} = 3,5 \times 10^9 L_{vinhaça} \dots\dots\dots (17)$$

$$(4,3 \times 10^9 L_{vinhaça}) - (3,5 \times 10^9 L_{vinhaça}) = 800 \times 10^6 L_{vinhaça} \dots\dots\dots (18)$$

Sobrarão de vinhaça  $800 \times 10^6 L_{vinhaça}$ , e podem ser utilizados como biofertilizante já que o biodigestor será utilizado o ano todo com mistura de vinhaça e torta de filtro.

Agora, se são necessários 35 processos de misturas em que cada um desses processos contém 9 mil toneladas de torta de filtro e 100 milhões de litros de vinhaça e geram 6426 MWh, 35 processos gerariam:

$$35 \text{ processos} \times 6426 \text{ MWh} = 224 \text{ mil MWh} \dots\dots\dots (19)$$

Portanto com o biogás obtido da vinhaça e da torta de filtro que fora produzida na safra 2019 da Usina Alto Alegre se conseguiria gerar 224 mil MWh e ainda sobraria  $800 \times 10^6 L_{vinhaça}$ , no entanto, em 1 ano caberia fazer nessa planta somente 21 processos, veja:

$$21 \times 6426 \text{ MWh} = 134 \text{ mil MWh} \dots\dots\dots (20)$$

A Usina Alto Alegre, portanto, tem vinhaça e torta para gerar quase que o dobro de energia que a planta de biogás da Raízen gera em um ano, se a Usina Alto Alegre se inspirasse no projeto da Raízen, teria que fazê-lo com dimensões ampliadas para poder realizar 35 processos gerando 224 mil MWh em um ano.

## 2.7 CÁLCULO DO POTENCIAL GERACIONAL DO BIOMETANO OBTIDO DO BIOGÁS DA MISTURA DE VINHAÇA E TORTA DE FILTRO (OBTIDOS NA SAFRA 2019 DA USINA ALTO ALEGRE)

Vimos que a mistura de vinhaça e torta de filtro da safra de 2019 da Usina Alto Alegre convertida em biogás e este por sua vez convertido em eletricidade geraria 224 mil MWh, mas e se convertêssemos o biogás em biometano e com este produzir eletricidade? Quanta energia seria gerada? Sabe-se que 2 kWh ou 0,002 MWh são gerados a partir de 1000  $L_{biogás}$ , logo:

$$\frac{(224 \times 10^3 \text{ MWh}) \times 1000 L_{biogás}}{0,002 \text{ MWh}} = 112 \times 10^9 L_{biogás} \dots\dots\dots (21)$$

$$\frac{(112 \times 10^9 L_{biogás}) \times 666 L_{biometano}}{1000 L_{biogás}} = 74,59 \times 10^9 L_{biometano} \dots\dots\dots (22)$$

Portanto a mistura de vinhaça e torta de filtro quando biodigeridas produzem  $112 \times 10^9 L_{biogás}$ , e a partir dessa quantidade de biogás se obtém  $74,59 \times 10^9 L_{biometano}$ , e quanto de eletricidade de obtém dessa quantidade de biometano? sabendo que 1000 L de biometano geram 9,97 kWh, temos que:

$$\frac{(74,59 \times 10^9 L_{biometano}) \times 9,97 \text{ kWh}}{1000 L_{biometano}} = 743,66 \text{ mil MWh} \dots\dots\dots (23)$$

## 2.8 INVESTIMENTO

Ora a Usina Alto Alegre tem potencial para gerar 743,66 mil MWh/ano com seus insumos, isto é, a vinhaça e a torta, os utilizando tudo em um ano e para obter biometano (lembrando que já produzem 650 mil MWh/ano através do bagaço), já a Raízen produz 138 mil MWh/ano, e seu custo de investimento fora de R\$ 153 milhões, então a Usina Alto Alegre teria que desembolsar algo em torno dos R\$ 850 milhões para investimento, afim de desenvolver todo o seu potencial geracional proporcionado pela vinhaça e torta de filtro.

Esses 743,66 mil MWh gerariam um faturamento anual de R\$ 133,85 milhões, começariam a ter algum lucro em torno de 7 anos após a conclusão das obras.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fica claríssimo que do ponto de vista geracional e financeiro compensaria a Usina Alto Alegre não usar o biogás para gerar eletricidade, mas utilizá-lo para obter biometano e aí sim produzir energia elétrica. Veja:

**Tabela 1:** Resultados calculados.

	<b>Biogás obtido da vinhaça biodigeri da</b>	<b>Biogás obtido da torta biodigeri da</b>	<b>Biometa no obtido através do biogás da vinhaça biodigeri da</b>	<b>Biometa no obtido através do biogás da torta biodigeri da</b>	<b>Biogás obtido da mistura biodigeri da</b>	<b>Biometa no obtido do biogás da mistura biodigeri da</b>
<b>MWh</b>	128,85 mil	58,14 mil	427 mil	193 mil	224 mil	743,66 mil
<b>Quantidade (L)</b>	64,5 bilhões	29,07 bilhões	42,9 bilhões	19,36 bilhões	112 bilhões	74,59 bilhões

<b>Faturamento</b> <b>(R\$0,18=0,001M</b> <b>Wh)</b>	23,193 milhões	10,46 milhões	76,86 milhões	34,74 milhões	40,32 milhões	133,85 milhões
--	-------------------	------------------	------------------	------------------	------------------	-------------------

Fonte: Autor (2021).

Veja que se somássemos a energia produzida a partir do biogás da vinhaça biodigerida sozinha (128,85 mil MWh) e a energia produzida a partir do biogás da torta biodigerida sozinha (58,14 mil MWh) teríamos um total de 186,99 mil MWh, comparando isto com a soma do biometano obtido do biogás da vinhaça biodigerida sozinha (427 mil MWh) e o biometano obtido do biogás da torta biodigerida sozinha (193 mil MWh) teríamos um total de 620 mil MWh, ou seja um aumento de 231% na geração de energia elétrica, já aqui percebe-se que é mais eficiente obter o biometano para geração elétrica. E em questão de faturamento, a soma do faturamento a partir do biogás da vinhaça biodigerida sozinha (R\$ 23,193 milhões) mais o faturamento a partir do biogás da torta biodigerida sozinha (R\$ 10,49 milhões) seria de um total de R\$ 33,683 milhões, comparando isto com a soma do faturamento a partir do biometano que fora adquirido do biogás da vinhaça biodigerida sozinha (R\$ 76,86 milhões) com o faturamento a partir do biometano que fora conseguido do biogás da torta biodigerida sozinha (R\$ 34,74 milhões) teríamos um total de R\$ 111,60 milhões, isto é também um aumento de 231%, portanto realmente chegamos à conclusão de que seria muito melhor obter o biometano para geração elétrica ao invés de usar o biogás, afinal se produziria mais eletricidade e se faturaria muito mais, no entanto, e se não biodigeríssemos a vinhaça e a torta separadamente, e sim misturássemos ambas, juntas, quais efeitos comparativos teríamos?

Se compararmos a geração elétrica do biogás obtido a partir da mistura de vinhaça e torta com a soma do biogás obtido da biodigestão da vinhaça e do biogás obtido da biodigestão da torta, chegamos ao seguinte arremate, a mistura produz 19% mais energia elétrica do que a soma do biogás da vinhaça biodigerida sozinha e o biogás da torta biodigerida sozinha, ou seja 224 mil MWh contra 186,99 mil MWh, a resposta para isso é que para biodigerir só a torta é necessário também acrescentar água para que haja fermentação, no caso da mistura não há água, pois é a vinhaça que é utilizada para a fermentação, quanto ao faturamento, a soma dos faturamentos obtidos do biogás da vinhaça biodigerida sozinha e do biogás da torta biodigerida sozinha é de R\$ 33,653 milhões, comparando com os R\$ 40,32 milhões faturados da mistura de vinhaça e torta que dera origem ao biogás, vemos que há um aumento também de 19%.

Agora vejamos a comparação que mais interessa a este trabalho, a soma da produção de energia elétrica do biometano obtido do biogás da vinhaça (427 mil MWh) e do biometano

obtido do biogás da torta (193 mil MWh) daria um total de 620 mil MWh contra os 743,66 mil MWh da mistura de torta e vinhaça para obter biometano, e no faturamento seria R\$ 111,60 milhões contra R\$ 133,85 milhões. A mistura aumentaria em 19%, tanto na produção quanto no faturamento.

#### **4. CONCLUSÃO**

Para a Usina Alto Alegre, portanto, o melhor seria adotar uma planta de biogás inspirada na da Raízen, porém, maior, especificamente o dobro da instalação da Raízen, para que se possa consumir todos os seus insumos, e focada no biometano, por ser mais eficiente e rentável, o lucro seria obtido em torno dos 10 anos, e após o balanço financeiro se tornar saudável, a empresa pode aumentar seus projetos sociais e ambientais, para compensar um maior impacto no meio ambiente, visto que o biogás utilizado para produzir biometano é 20x mais poluente que o gás carbônico (CO<sub>2</sub>).

O investimento é bastante pesado, girando em torno de R\$ 1 bilhão, seria muito difícil encontrar alguém, pessoas dispostas a investir em um projeto como esse, o projeto da Raízen por exemplo é o maior do Brasil, gerando 138 mil MWh/ano, e teve o custo de R\$ 153 milhões, além de ser o maior, é também na verdade o primeiro a produzir o biogás para geração aqui no Brasil, desse modo se percebe que estamos num atraso gigantesco visto que, o Brasil é o maior gerador de insumos de cana-de-açúcar, há inúmeras burocracias para qualquer etapa de projeto que se queira fazer, impostos altos e difíceis de contabilizar, pouca liberdade para se fazer negócios e inovar, instabilidade jurídica e política, estado agindo como interventor econômico, etc.

Por mais satisfatório que seja demonstrar através deste trabalho o enorme potencial que tem esta Usina e também o Brasil, também o é desanimador, imagine quantas Usinas tem o mesmo potencial, e poderiam estar também fazendo um projeto para gerar energia através do biogás/biometano, mas nem se atrevem a isso, visto que os obstáculos econômicos, tributários, contábeis, jurídicos, etc. são tantos que torna esta tarefa quase que impossível.

Que este trabalho inspire outros tantos com temas parecidos, e que todos juntos atinam a imaginação de seus leitores, para lutar não só por um futuro mais sustentável, mas também pelo desenvolvimento do nosso amado Brasil.

## 5. REFERÊNCIAS

A.A.P.M. AZANIA; M.O. MARQUES; M.C.M.D. PAVANI; C.A.M. AZANIA. Germinação de sementes de *Sida rhombifolia* e *Brachiaria decumbens* influenciada por vinhaça, flegmaça e óleo de fúsel, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - FCAV/Unesp, Jaboticabal, 2003. Disponível: <<https://www.scielo.br/j/pd/a/RSkcpDyFq86qRmWcvNQhqtN/?lang=pt#>>. Acesso em: 27 out. 2021.

Alpha Brasil 19. Tipos de Açúcar. Disponível: <<https://noticiasalphabrasil19.wordpress.com/2016/01/18/tipos-de-acucar/>>. Acesso em: 25 out. 2021.

ALCARDE, A. R. Destilação. Embrapa. Disponível: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_106\\_22122006154841.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_106_22122006154841.html)>. Acesso em: 26 out. 2021.

ALCARDE, A. R. Tratamento do Caldo. Embrapa. Disponível: <[https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_104\\_22122006154841.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_104_22122006154841.html)>. Acesso em: 23 out. 2021.

Bazico Tecnologia e Consultoria. Embrapa. Como obter lucros com a Vinhaça e Torta de Filtro extraíndo Biogás para gerar Energia Limpa e outros usos. Disponível <[http://www.bazico.com.br/arquivos/00\\_palestraFSC2017YTB.pdf](http://www.bazico.com.br/arquivos/00_palestraFSC2017YTB.pdf)>. Acesso em: 27 out. 2021.

BORTOLOTTI, D. B. Evaporação do Caldo. LinkedIn. Disponível: <<https://pt.linkedin.com/pulse/evapora%C3%A7%C3%A3o-do-caldo-diogo-brasileiro-bortolotti>>. Acesso em: 21 out. 2021.

Brumazi. Sistema de Fabricação de Açúcar. Disponível: <<http://www.brumazi.com.br/produtos/sistema-de-fabricacao-de-acucar-12/>>. Acesso em: 28 out. 2021.

CASTRO, H. F. Processos Químicos Industriais II. Apostila 1. INDÚSTRIA AÇUCAREIRA. Escola de Engenharia de Lorena - EEL - USP. 2011. Disponível: <[https://www.feagri.unicamp.br/gitap/images/teses\\_e\\_dissertacoes/TESE\\_Sergio-Gustavo-Quassi-de-Castro.pdf](https://www.feagri.unicamp.br/gitap/images/teses_e_dissertacoes/TESE_Sergio-Gustavo-Quassi-de-Castro.pdf)>. Acesso em: 28 out. 2021.

Cibiogás Energias Renováveis. Embrapa. Purificação de Biogás e Identificação de Equipamentos para Geração de Energia Elétrica, Térmica e Veicular. Disponível: <<https://www.embrapa.br/documents/1355242/1529323/Biog%C3%A1sFert+6.pdf/4383a60c-6ac8-4496-99e8-998326c0aa62>>. Acesso em: 27 out. 2021.

Fermentec News. O que é o óleo fusel e impacto na usina. Disponível: <<https://fermentecnews.com.br/2019/06/04/o-que-e-o-oleo-fusel/>>. Acesso em: 27 out. 2021.

G1. Conheça a 1ª usina do Brasil a gerar energia elétrica em escala comercial com resíduos da cana. Disponível: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/globorural/noticia/2021/07/04/conheca-a-1a-usina-do-brasil-a-gerar-energia-eletrica-em-escala-comercial-com-residuos-da-cana.ghtml>>. Acesso em: 27 out. 2021.

G1. Entenda as diferenças entre etanol hidratado e anidro. Disponível: <<https://g1.globo.com/sp/sorocaba-jundiai/nosso-campo/noticia/2021/06/20/entenda-as-diferencas-entre-etanol-hidratado-e-anidro.ghtml>>. Acesso em: 27 out. 2021.

Novacana. Como é feito o Processamento da Cana-De-Açúcar nas Usinas. Disponível: <<https://www.novacana.com/usina/como-e-feito-processamento-cana-de-acucar>>. Acesso em: 21 out. 2021.

Novacana. Funcionamento de uma Usina (Destilaria) de Etanol. Disponível: <<https://www.novacana.com/etanol/funcionamento-usina-destilaria>>. Acesso em: 27 out. 2021.

Novacana. Uso da vinhaça na cultura da cana-de-açúcar. Disponível: <<https://www.novacana.com/cana/uso-vinhaca-cultura>>. Acesso em: 21 out. 2021.

Piracicaba Engenharia. Vinhaça – Principais Técnicas de Utilização. Disponível: <<https://www.piracicabaengenharia.com.br/vinhaca-principais-tecnicas-de-utilizacao/>>. Acesso em: 25 out. 2021.

Portal do Biogas. Biogas. Disponível: <<https://www.portaldobiogas.com/biogas/>>. Acesso em: 29 out. 2021.

Raízen. Raízen inaugura planta de biogás e consolida portfólio de energias renováveis. Disponível: <<https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/raizen-inaugura-planta-de-biogas-e-consolida-portfolio-de-energias-renovaveis>>. Acesso em: 29 out. 2021.

SANTOS COSTA L. F. Resíduos do Setor Sucroenergetico de Goiás e Seu Potencial Metanogênico e Como Biofertilizante. Pós-Graduação em Agronomia(dissertação). Universidade Federal de Goiás. Goiânia. 2015. Disponível: <[https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/70/o/Disserta%C3%A7%C3%A3o\\_LAYS\\_FABIANA\\_DOS\\_SANTOS\\_COSTA.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/70/o/Disserta%C3%A7%C3%A3o_LAYS_FABIANA_DOS_SANTOS_COSTA.pdf)>. Acesso em: 29 out. 2021.

Super Interessante. Como é produzido o etanol?. Disponível: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-e-produzido-o-etanol/>>. Acesso em: 25 out. 2021.

Raízen. Raízen inaugura planta de biogás e consolida portfólio de energias renováveis. Disponível: <<https://www.raizen.com.br/sala-de-imprensa/raizen-inaugura-planta-de-biogas-e-consolida-portfolio-de-energias-renovaveis>>. Acesso em: 29 out. 2021.

Usina Alto Alegre. Relatório de Sustentabilidade 2019. Disponível: <<https://www.altoalegre.com.br/upload/sustpublicacoes/c7f26cddbcbf1872f44fb09dd114ca599a3d973.pdf>>. Acesso em: 23 out. 2021.

Wikipedia. Grau GL. Disponível: <[https://pt.wikipedia.org/wiki/Grau\\_GL](https://pt.wikipedia.org/wiki/Grau_GL)>. Acesso em: 27 out. 2021.

Yara Brasil. Produção Mundial de Cana-de-Açúcar. Disponível: <<https://www.yarabrasil.com.br/conteudo-agronomico/blog/producao-mundial-de-cana-de-acucar/>>. Acesso em: 23 out. 2021.