



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALAGOAS  
CAMPUS PENEDO  
CURSO TÉCNICO DE NÍVEL MÉDIO INTEGRADO EM AÇÚCAR E ALCOOL**

**DANIEL RODRIGUES DE OLIVEIRA DA COSTA**

**IMPORTÂNCIA DA SIMULAÇÃO PARA A EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO NA  
INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

**PENEDO, AL**

**2022**

**DANIEL RODRIGUES DE OLIVEIRA DA COSTA**

**IMPORTÂNCIA DA SIMULAÇÃO PARA A EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO NA  
INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à  
Coordenação de Açúcar e Álcool como requisito  
parcial para a conclusão do Curso Técnico de Nível  
Médio Integrado em Açúcar e Álcool.

Professora Orientadora: Dra. Martha Suzana  
Rodrigues dos Santos Rocha.

**Penedo-AL**

**2022**



**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação**  
**Instituto Federal de Alagoas**  
**Campus Penedo**  
**Biblioteca**

C838i

Costa, Daniel Rodrigues de Oliveira da.

Importância da simulação para a eficiência de produção na indústria sucroalcooleira / Daniel Rodrigues de Oliveira da Costa. – 2022.  
30f. ; il.

Orientação: Prof.<sup>a</sup> Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha.  
Trabalho de Conclusão de curso (Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool) – Instituto Federal de Alagoas, Campus Penedo, Penedo, 2022.

Trabalho em formato digital.

1. Indústria sucroalcooleira. 2. Simulação. 3. Produtividade. I. Rocha, Martha Suzana Rodrigues dos Santos. II. Título.

CDD: 664.1

**Maria Luzia Alexandre de Oliveira**  
**Bibliotecária/Documentalista**  
**CRB-4/2159**

**DANIEL RODRIGUES DE OLIVEIRA DA COSTA**  
**IMPORTÂNCIA DA SIMULAÇÃO PARA A EFICIÊNCIA DE PRODUÇÃO NA**  
**INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Coordenação de Açúcar e Álcool como requisito parcial para a conclusão do Curso Técnico de Nível Médio Integrado em Açúcar e Álcool.

**Aprovado em:** 17/12/2021

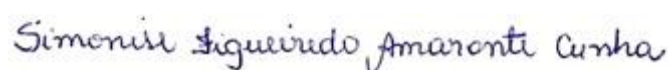
**Nota:** 9,0

**BANCA EXAMINADORA**




---

Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha  
Orientadora - Docente IFAL *Campus* Penedo



---

Simonise Figueiredo Amarante Cunha  
Docente IFAL *Campus* Penedo



---

Taciana do Nascimento Santos  
Docente IFAL *Campus* Penedo

## **Agradecimentos**

Eu agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades.

Agradeço a minha orientadora Martha Suzana Rodrigues dos Santos Rocha pelo auxílio na execução deste trabalho, e homenageando-a agradeço aos demais membros do corpo docente do Curso.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Agradeço a minha mãe Valdete Rodrigues de Oliveira da Costa, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai Edvaldo Vieira da Costa Filho, que apesar de todas as dificuldades me fortaleceu e que para mim foi muito importante.

A minha irmã Yasmin Rodrigues de Oliveira da Costa que esteve sempre ao meu lado nos momentos mais difíceis que só nós sabemos.

Agraço a minha namorada Iasmim Silva Oliveira, pelo apoio, amor, carinho e compreensão, além de me apoiar nos momentos mais difíceis.

Agradeço aos meus amigos Caio Vinícius Firmino Zumba e Lúcio Matheus por todos os momentos de descontração durante todo esse tempo.

## RESUMO

A simulação dentro da indústria consiste em definir, formular, validar, analisar e recomendar, fornecendo uma especificação funcional, possibilitando a criação de diversas situações que não podem ser simplesmente testadas na indústria. Este trabalho apresenta, através de uma revisão da literatura, a importância da simulação para a indústria sucroalcooleira e aborda pontos importantes para tal indústria, com competição cada vez mais acirrada enfrentada pelo setor produtivo no mercado globalizado. O método pode ser um poderoso aliado trazendo muitos benefícios como automação e controle de todos os setores em nível global visando os incrementos e expansões nos parâmetros de produtividade e eficiência. Um sistema automatizado completo gera um alto grau de investimento, porém viabiliza benefícios a longo prazo. Verifica-se com o estudo que a maioria das indústrias já adotaram o método, porém a indústria sucroalcooleira ainda necessita da implantação de alternativas de técnicas, equipamentos e recursos que beneficiem o planejamento e controle dos processos produtivos que almejam a otimização dos equipamentos e dos produtos. Espera-se que o método se formalize dentro da indústria sucroalcooleira, para que um conjunto de procedimentos e ações sistematizadas possibilitem a manipulação e transformação de informações, auxiliando no fortalecimento dos processos de tomadas de decisões no setor de planejamento da produção, fornecendo mais uma opção de ferramenta de trabalho.

**Palavras-chave:** Simulação. Indústria Sucroalcooleira. Automação. Controle. Produtividade.

## ABSTRACT

Simulation within the industry consists of defining, thinking about formulating, developing a functional specification, which cannot be applied in different situations. This work presents, through a literature review, the importance of simulation for the sugar and ethanol industry and addresses points for this industry, with an increasingly fierce confrontation by the productive sector in the globalized market. The method can be a powerful ally, including many automation and control benefits of all methods of global leveling up and expansion in efficiency parameters. A complete automated system generates a high degree of investment, but provides long-term benefits. It appears that most of the tools produced have already adopted alternative methods of using resources, equipment and planning and process control needs aimed at optimizing processes and products. It is expected that the method will be formalized within the sugar-alcohol industry, so that the procedures and processes are systematized in the manipulation and transformation of, helping to strengthen the production planning manipulation methods, decisions in the information manipulation process work tool option.

**Keywords:** Simulation. Sugarcane Industry. Automation. Control. Productivity.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1 - PIRÂMIDE INVERTIDA: ESTRUTURA E FLUXO DE INFORMAÇÕES DO PLANEJAMENTO NA USINA.....</b>	<b>18</b>
<b>FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DA PLANTA DE POTIRENDABA EM <i>ASPEN PLUS</i>. ....</b>	<b>21</b>
<b>FIGURA 3 – EIXO DIFUSOR NO SOFTWARE ANSYS .....</b>	<b>25</b>
<b>FIGURA 4 – TRANFERÊNCIA DE CALOR NO SOFTWARE ANSYS .....</b>	<b>26</b>
<b>FIGURA 5 - DIAGRAMA DO PROCESSO DE MODERNIZAÇÃO DE SISTEMA AGRÍCOLA E AGROINDUSTRIAL.....</b>	<b>27</b>

## **LISTA DE TABELAS**

<b>TABELA 1 - HISTÓRICO DE PRODUÇÃO E MOAGEM NO BRASIL - SAFRA 2019/2020..</b>	<b>15</b>
<b>TABELA 2 - PRODUÇÃO TOTAL - SAFRA 2020-2021.....</b>	<b>16</b>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>10</b>
<b>2 DESENVOLVIMENTO</b> .....	<b>12</b>
2.1 HISTÓRICO DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA .....	12
2.2 IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO E CONTROLE EM USINAS SUCROALCOOLEIRAS.....	17
2.3 SISTEMA DE SIMULAÇÃO NO SETOR DE AÇÚCAR E ÁLCOOL.....	20
2.4 INTRODUÇÃO DO SISTEMA DE SIMULAÇÃO NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA .....	24
2.4.1 Moagem .....	25
2.4.2 Combustão de Biomassa .....	26
<b>3 CONCLUSÕES</b> .....	<b>28</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>29</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, que é utilizada na produção de açúcar e etanol. Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB (2021), A primeira estimativa da safra 2021/22, aponta para redução na produção de cana-de-açúcar em comparação à temporada passada. A estimativa é que sejam colhidos 628,1 milhões de toneladas, representando um volume 4% menor em relação à safra 2020/21.

A produção de etanol, ao longo do tempo, aumentou significativamente na tentativa de atuar como um substituto dos combustíveis derivados do petróleo, que são ainda uma das maiores bases energéticas mundiais, porém não renováveis, que possuem limitações como a elevada liberação de gases atmosféricos causadores do efeito estufa (GNANSOUNOU; DAURIAT, 2005).

A cana-de-açúcar tem sido uma grande alternativa para o setor de biocombustíveis, devido ao grande potencial na produção de etanol e subprodutos, além disso, as unidades produtoras têm buscado aprimorar seus processos, afim de otimizar a eficiência de seus processos operacionais (CONAB, 2018).

As leveduras atualmente prioritárias responsáveis pela fermentação alcoólica são as *Saccharomyces cerevisiae* (DIAS, 2021). Ainda sendo um processo bastante conhecido e estudado há décadas, a aplicação de tecnologias mais avançadas vem se tornando importantes nos últimos 20 anos, devido ao aumento da produção e consumo de etanol. As tecnologias utilizadas por grande parte das usinas e, sobretudo, na região nordeste é bastante rudimentar e assemelha-se à utilizada no século XX. Tecnologias que necessitam de um alto grau de controle e automação, ainda são pouco utilizadas levando a operações empíricas e consequentes descontroles e despadronização dos produtos. Em países desenvolvidos a otimização de processo é algo bastante consolidado. Neste sentido devido a estas limitações, estudos sobre este processo são necessários como simulação de soluções para problemas científicos, analisando os fenômenos, desenvolvendo modelos matemáticos para sua descrição e conhecimento da cinética, proporcionando melhorias no controle, qualidade de operação e retorno financeiro. Para a realização de uma simulação existem vários *softwares* que podem auxiliar no desenvolvimento e geração do modelo, para simplificar o problema encontrado ou aperfeiçoar o processo (BECKER *et al.*, 2010).

Engenharia da simulação é uma ciência que serve para dizer todo o comportamento de um sistema, desde um sistema sólido onde o objetivo do estudo seria a estrutura do equipamento, comportamento do fluido, eletromagnetismo, transferência de calor, reações

químicas e bioquímicas, e outros fenômenos associados. A simulação é realizada através das resoluções matemáticas que governam o processo, com o principal meio calculista sendo o computador, por meio de volumes finitos e elementos finitos.

Kwiatkowski *et al.* (2006) implementaram no simulador de processos SuperPro Designer uma usina de etanol de milho com moagem a seco para criar uma ferramenta de pesquisa útil à avaliação de novas tecnologias de processo e produtos derivados de amido. O simulador dimensiona e quantifica automaticamente as demandas energéticas dos principais equipamentos do processo, uma vez especificada a condição de operação. Com isso os autores puderam fazer a análise dos custos de capital e operacionais além de estimativas de lucratividade e testes de sensibilidade a fatores econômicos importantes. Os modelos de processo e de custos foram deixados disponíveis para pesquisa não comercial e fins educacionais mediante requisição aos autores.

Wukovits *et al.* (2007) simularam uma planta de produção de etanol a partir do trigo com o simulador de processos IPSEpro visando projetar um processo integrado energeticamente através do aproveitamento de resíduos de biomassa vegetal pela combustão da palha do trigo e de biogás produzido a partir da fermentação da vinhaça. Sua implementação inclui as etapas de moagem, maceração, liquefação, sacarificação, fermentação (com modelo de conversão estequiométrica), destilação e digestão anaeróbia da vinhaça. Uma câmara de combustão simples e um ciclo de potência com turbina a gás foram modelados e usados como rotas alternativas. Os autores concluíram que a queima do biogás pode suprir as necessidades energéticas de uma unidade com capacidade de produção superior a 100 Mt/ano. Quando usado para cogeração de eletricidade, embora gere menos calor, o biogás produz uma quantidade considerável de eletricidade e a queima de parte da palha do trigo é suficiente para cobrir as demandas térmicas mesmo de uma unidade pequena.

Dias *et al.* (2010) simularam a produção de etanol anidro a partir de cana-de-açúcar em uma usina autônoma usando SuperPro Designer e uma planilha eletrônica para os modelos não disponíveis no simulador. Fizeram análises dos custos de produção do etanol em vários cenários visando avaliar a influência da cogeração de energia elétrica pela queima de bagaço e palha de cana na redução dos custos de produção do álcool. A fermentação foi implementada através de um modelo de conversão estequiométrica.

Dias (2008) usou o software Hysys para simular a produção de etanol a partir de cana-de-açúcar (E1G) e de bagaço (E2G) com pré-tratamento organosolv em uma destilaria autônoma visando analisar o consumo de energia de cada processo e investigar oportunidades

de melhoria nos mesmos. A simulação do processo de produção de álcool 1G abrange os processos de limpeza da cana, extração dos açúcares, tratamento, concentração e esterilização do caldo, fermentação (com modelo de conversão estequiométrica), destilação e desidratação. Entre as melhorias propostas pela autora para o processo 1G estão o uso de um sistema de limpeza a seco para a cana, uso de evaporadores de múltiplo efeito, esterilização do caldo e fermentação à temperatura de 28 °C, mais baixa do que as temperaturas usadas comumente.

Furlan *et al.* (2012) simularam uma planta de produção de etanol a partir do bagaço de cana-de-açúcar usando o simulador de processos EMSO. Os autores tiveram como objetivo otimizar a utilização de bagaço de cana tendo a opção de direcionar diferentes frações do mesmo para hidrólise, venda ou cogeração em função dos preços do álcool e da energia no mercado em quatro diferentes cenários. A simulação inclui também uma unidade autônoma de produção de etanol 1G e contém modelos de limpeza da cana, moagem, tratamento do caldo, concentração, fermentação (com modelo de conversão estequiométrica) e destilação, além de todo o aparato para cogeração de energia.

Dias *et al.* (2012) propuseram melhorias ao processo de produção de etanol de cana-de-açúcar 1G com o objetivo de minimizar o consumo de energia e assim reduzir a quantidade de bagaço e palha necessários como combustível, deixando mais biomassa disponível para hidrólise e produção de etanol 2G. O simulador Aspen Plus foi usado para estudar os vários aperfeiçoamentos testados pela equipe (por exemplo, recuperação de palha, concentração de caldo em evaporadores de múltiplo efeito, desidratação do álcool usando peneiras moleculares, etc.) e o processo de segunda geração foi integrado aos cenários aperfeiçoados, cujos resultados mostraram que a quantidade de material lignocelulósico disponível para hidrólise podia ser aumentado significativamente com as melhorias recomendadas. Os modelos dos fermentadores são do tipo estequiométrico.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

### **2.1 HISTÓRICO DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA**

A história da agricultura da cana-de-açúcar tem o seu início importante e consistente no Brasil Colonial, por volta do ano 1500. Ficando atrás apenas da exportação de produtos, se tornando a segunda grande atividade econômica da história do país, mas a primeira rentável, a responsável pelo início da ocupação/colonização (SILVA, 2021).

O agronegócio sucroalcooleiro é um dos setores que mais empregam no país, reunindo mais de 72.000 agricultores, faturando por ano, direta e indiretamente, cerca de R\$

40 bilhões, correspondendo aproximadamente 2,35% do PIB nacional. O Brasil é o maior exportador mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool (atualmente), também exercendo o lugar de maior produtor mundial de cana, sendo o principal país, em larga escala, um combustível renovável alternativo ao petróleo, o açúcar brasileiro já movimentou 70% dos contratos na bolsa de mercadorias de Nova York (BRITO; MARQUES; KARAM, 2007).

De acordo com Faostat (2001):

Cana-de-açúcar é um grupo de espécies de gramíneas perenes altas do gênero *Saccharum*, tribo *Andropogoneae*, nativas das regiões tropicais do sul da Ásia e da Melanésia e utilizadas principalmente para a produção de açúcar e etanol. Tem caules robustos, fibrosos e articulados que são ricos em sacarose. A planta tem entre dois e seis metros de altura. Todas as espécies de cana-de-açúcar mestiças e as principais cultivares comerciais são híbridos complexos. A cana pertence à família *Poaceae*, uma família de plantas economicamente importantes, como milho, trigo, arroz e sorgo e muitas culturas forrageiras (FAOSTAT, 2001).

Segundo Melo (1975, p.273) apud Rodrigues (2020) “Entre 1996 e 1973, o consumo mundial de açúcar centrifugado aumentou de 61,1 milhões para 78,1 milhões de toneladas, ao passo que a produção mundial passou de 64,1 milhões para 77,3, acarretando na redução dos estoques mundiais de açúcar”. Na década de 1930 houve um crescimento vegetativo da população, aumentando o consumo de açúcar no Brasil. O consumo médio do açúcar era de 15 kg por habitante/ano; nos anos 1940, 22 kg/hab/ano; em 1970, de 40 kg/hab/ano; e, em 1990, o índice se estabilizou em 50 kg/hab/ano (RODRIGUES, 2020).

Após anos tendo a agroindústria canavieira como uma das principais fontes econômicas do país, somente no século XX o Brasil evidencia no álcool uma opção energética atraente. Em 1927 foi produzido álcool-motores e em 20 de fevereiro de 1931, o governo brasileiro implementou o decreto nº 19.717, que obrigatoriamente intimava a mistura de 5% de álcool na gasolina importada consumida pelo país. Entre 1942 e 1946, o mundo passava por dificuldades em geral por conta da grande Segunda Guerra Mundial, uma das áreas mais afetadas foi o abastecimento de petróleo e derivados, provocando a mistura do álcool chegar a 42%. Com o fim da Segunda Guerra Mundial, o álcool foi se tornando menos interessante como combustível nos anos seguintes, assim reduzindo o percentual da mistura por todo o país (BIODIESELBR, 2006).

O Brasil fazia parte dos países dependentes de combustível fóssil, não renovável, assim tendo baixas em seu grau de desenvolvimento por conta de conflitos entre países que se localizam no oriente médio, fazendo o barril de petróleo aumentar extremamente o preço (MENEZES, 1980).

Não era de se esperar que algo impactaria tão negativamente, até bem mais, que a Segunda Guerra Mundial na produção de combustível, sendo necessária a utilização de biocombustível em números expressivos, introduzindo com exclusividade o uso do etanol como carburante e tendo o lançamento do Programa Nacional Do Álcool (Proálcool).

#### Segundo Valio:

O Proálcool gerou centenas de destilarias e usinas a partir do final dos anos 70 e, principalmente na primeira metade dos anos 80. Por ser estratégico, o Governo Federal criou um sofisticado sistema de planejamento setorial, através do Instituto do Açúcar e do Álcool (IAA) e fomentou iniciativas que atuavam de forma privada na coordenação técnica e difusão tecnológica tal como a Copersucar, muito presente neste período, principalmente com o seu braço denominado Centro de Tecnologia Copersucar (CTC). Como a locomotiva deste processo de produção alcooleira se deu principalmente no Estado de São Paulo, o governo paulista também suportou fortemente o desenvolvimento da agroindústria canavieira, tendo como principais expoentes a ESALQ/USP no desenvolvimento de tecnologias industriais de extração, fermentação e destilação e o Instituto Agrônomo de Campinas (IAC) no desenvolvimento de novas variedades de cana e de tecnologia agrônoma. Os profissionais destas instituições eram altamente qualificados, boa parte com mestrados e doutorados (alguns inclusive no exterior) e com grande conhecimento em produção sucroalcooleira (VALIO, 2014).

No período 1980-94, a produção de álcool cresceu 250%, com destaque para o álcool hidratado que apresentou crescimento de 1.370% e responde, atualmente, por 73% da produção total e no ano 2000, passou a ser usado o álcool anidro e o álcool hidratado. O álcool anidro é adicionado à gasolina pura, em teores da ordem de 22% de álcool anidro, a 99,6 Gay-Lussac (GL) e 0,4% de água, aumentando a octanagem da gasolina de veículos com motores flex. O álcool hidratado, a 95,5 GL, utilizado em veículos com motores desenvolvidos para o uso exclusivo de álcool hidratado como combustível, tendo resultados significantes e bem-sucedidos e produzindo cerca de 5,6 milhões de veículos a álcool hidratado. Para a ascensão do Proálcool funcionar como funcionou, o governo precisou adotar implementações, tais como, a criação do Conselho Nacional do Álcool - CNAL e a Comissão Executiva Nacional do Álcool – CENAL para auxiliar e agilizar o programa. (BIODIESELBR, 2006).

Pesquisas apontam que em torno de 1991-94, a quantidade total de usinas e destilarias no estado não sofreu redução em grande escala, porém, as destilarias autônomas tiveram uma redução absoluta maior, tendo uma queda de 62 para 57 unidades. O possível motivo foi a crise presenciada pelo PROÁLCOOL, que afetou tais unidades com maior intensidade do que as usinas que tiveram o açúcar como válvula de escape em função dos bons preços internacionais desta commodity nos anos 90 (BALSADI; FARIA; FILHO, 1996).

Por conta da pandemia e do isolamento social, houve baixa na indústria sucroenergética junto com a desvalorização do real perante o dólar que tiveram grande influência na produção das usinas. No ano de 2019 houve um acréscimo de 1,6%, com queda de 0,3% na área destinada à colheita e aumento de 1,9% no rendimento médio. Já a produção de cana-de-açúcar em 2020 foi estimada em 677,9 milhões de toneladas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no terceiro prognóstico para a safra. Uma queda de 1,8% em relação ao levantamento do mês anterior, com o rendimento médio dos canaviais tendo uma queda de 1,2% (SIMIÃO, 2021).

A Tabela 1 a seguir, apresenta os dados totais da produção e moagem de cana-de-açúcar e dos seus subprodutos no ano de 2019/2020 no Brasil.

**Tabela 1** – Histórico de produção e moagem no Brasil - safra 2019/2020.

<b>Produto</b>	<b>Produção</b>
<b>Cana-de-açúcar</b> <b>(mil toneladas)</b>	642.677
<b>Açúcar (mil toneladas)</b>	29.606
<b>Etanol Total (mil m<sup>3</sup>)</b>	35.595

Fonte: Observatório da cana (2021).

De acordo com a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2020), a área total de cana-de-açúcar colhida nessa safra foi de 8.442 mil hectares, representando uma redução de 1,7% em relação à última temporada. O açúcar teve uma produção de 29,6 milhões de toneladas, representando incremento de 2,6% em relação à safra passada, e o etanol apresentou uma evolução de 5,1% em relação à safra passada.

A indústria sucroalcooleira tem um potencial enorme, visto como 50 mil empresas brasileiras sofrem o impacto do elevado volume de capital destinado a investimentos que ultrapassam os R\$ 4 bilhões/ano, como contratação de serviço, equipamentos e insumos. O mercado gera em torno de R\$ 12 bilhões/ano de impostos aos cofres públicos, sendo um forte indicador da importância social do agronegócio sucroalcooleiro. O consumo do álcool combustível reduz em 80% a emissão de gases de efeito estufa. Além disso, o custo dessa cultura em comparação com outras é bem inferior devido à sua alta produtividade, produzindo cerca de 6.800 litros por hectare, já o de beterraba europeu produz no máximo 5.500 litros por hectare e o de milho americano, aproximadamente 3.100 litros por hectare (BRITO; MARQUES; KARAM, 2007).

A Tabela 2 a seguir, apresenta dados da safra 2020/2021, produção de cana-de-açúcar e seus subprodutos.

**Tabela 2** – Histórico de produção e moagem no Brasil - safra 2020/2021.

<b>Produto</b>	<b>Produção</b>
<b>Cana-de-açúcar (mil toneladas)</b>	658.209
<b>Açúcar (mil toneladas)</b>	41.231
<b>Etanol (mil m<sup>3</sup>)</b>	32.500

Fonte: SAPCANA - Sistema de Acompanhamento da Produção Canavieira (2021).

Em fevereiro de 2020, o preço do açúcar nas usinas de São Paulo encerrou com a cotação média de R\$78,35/50 kg, o que representa uma alta de 5,4% em relação ao mês anterior e correspondendo ao sétimo aumento consecutivo dos preços médios mensais. Apesar dessa recuperação dos preços internos, a expectativa que mantinha para o mercado doméstico é de que esse movimento de alta encontrasse fortes limitações entre março e abril, em razão do recuo dos preços internacionais, geraria queda das cotações do petróleo e aproximação da temporada 2020/21. A Conab divulgou o 4º Levantamento da Safra 2019/20 da cana-de-açúcar no dia 23 de abril, com as informações de fechamento desta temporada que se encerrou no mês de março de 2020. Apesar da chegada da pandemia do Covid-19 e da queda dos preços do petróleo no final da temporada, o quadro geral da Safra 2019/20 não sofreu alterações expressivas, destacando-se a demanda elevada por etanol na maior parte do ciclo, fator que contribuiu para que o país alcançasse uma produção recorde do biocombustível. O maior impacto da recente crise de consumo do etanol, gerada pela pandemia do Covid-19 e pela guerra comercial dos países produtores de petróleo, deverá ser sentido na Safra 2020/21, que iniciou no mês de abril do ano passado com uma perspectiva de que a demanda do biocombustível apresentasse expressiva redução ao longo da temporada (COSTA, 2020).

No dia 05 de maio de 2020, a Conab divulgou o 1º Levantamento da Safra 2020/21 da cana-de-açúcar, com estimativa de ampliação da produção de açúcar em 18,5%, na comparação com o ciclo anterior, em detrimento da produção de etanol, que apresentava recuo estimado em 10,3%. Esta mudança decorria basicamente da alteração do mix de produção das usinas em resposta às expectativas de mercado para a temporada 2020/21 no

Brasil, com retração do consumo de etanol e ampliação das exportações de açúcar. Tendo um aumento de 55,0% das exportações brasileiras de açúcar no primeiro bimestre da Safra 2020/21, quando comparado com igual período da temporada abril/maio, a expectativa é de que ao final da safra de maio/junho de 2020 o país supere com folga a exportação total da Safra 2019/20. A expectativa de aumento da exportação de açúcar da safra maio/junho é sustentada pela venda antecipada de parcela expressiva da produção, redução dos estoques mundiais na Safra 2019/20, recuperação dos preços do petróleo após a forte queda entre março e abril, recuperação das cotações do açúcar na bolsa de Nova Iorque e desvalorização do Real em relação ao Dólar. O segundo levantamento da Safra 2020/21 da cana-de-açúcar, divulgado pela Conab no dia 20 de agosto de 2020, apresentou a estimativa de aumento de 32,0% da produção de açúcar e de queda de 14,3% na produção de etanol, em relação a temporada anterior com um crescimento expressivo de 77,2% nas exportações de açúcar nos primeiros cinco meses da Safra 2020/21, em relação a igual período da temporada anterior, mantendo os preços internos em alta mesmo no período de maior produção sazonal, no terceiro trimestre do ano (COSTA, 2020).

Na Safra de 2016/17 ocorreu um recorde de exportação brasileira de açúcar, quando o país exportou cerca de 28,3 milhões de toneladas, no acumulado da Safra entre abril e outubro do ano de 2020, o Brasil exportou cerca de 20,8 milhões de toneladas de açúcar, quase atingindo um novo recorde final da temporada que se encerrou em março de 2021 (COSTA, 2021).

## 2.2 IMPORTÂNCIA DO PLANEJAMENTO E CONTROLE EM USINAS SUCROALCOOLEIRAS

Segundo Francisco (2021), sendo composta de 25 usinas de açúcar e álcool a agropecuária, desenvolvida numa região que se estende do litoral à Zona da Mata, é um componente essencial para a economia do estado de Alagoas, em 2008, atingindo a marca de 17,8 bilhões de reais, contribuindo com apenas 0,7% para o PIB brasileiro; no âmbito regional, sua participação foi de 5,1%. Conforme dados do IBGE, a composição do PIB de Alagoas é a seguinte: agropecuária 6,8%, indústria 24,5% e serviços 68,7%.

O planejamento e controle da produção em uma usina sucroalcooleira se mostra muito complexo e variável, já que o produto não é seriado, e apresenta produção sazonal, tornando o planejamento dependente do cenário agrícola (fatores climáticos, índices de qualidade produtiva, etc.), o qual é extremamente dinâmico e, muitas vezes, intangível,

havendo uma grande margem de erro nesse planejamento, sendo facilitado pelos modelos de simulação para o processo produtivo, o qual apresenta diversas opções de planejamento da data de início e da duração de safra, permitindo análise conjunta da influência de diversos fatores que influenciam a produtividade e a eficiência de moagem, entre eles: teor de sacarose, paradas por chuvas, por falha operacional e por quebra de equipamentos gerando a maximização da produção e qualidade, e a minimização de custos e tempos (ABEPRO, 1998).

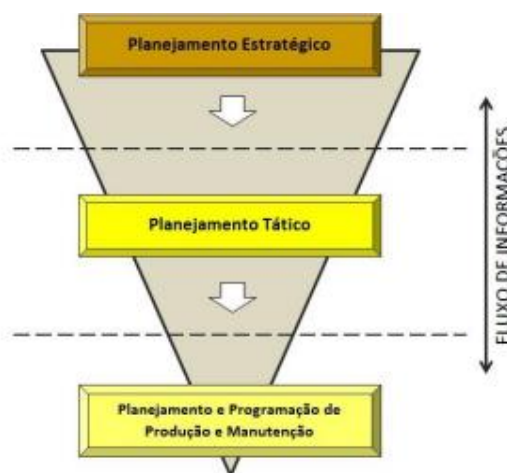
Segundo Beauclair (2004, p. 25) “como são muitos os fatores envolvidos e suas interações, torna-se praticamente impossível determinar as melhores alternativas sem a elaboração de cenários bem fundamentados”.

O planejamento e controle da produção (PCP) é responsável pela coordenação e aplicação dos recursos produtivos de forma a atender da melhor maneira os planos estabelecidos nos níveis estratégico, tático e operacional da organização. Para atingir seus objetivos, o PCP administra informações advindas de diversas áreas do sistema produtivo. Como desempenha uma função de coordenação de apoio ao sistema produtivo, o PCP se relaciona com todas as funções de uma empresa (TUBINO, 2000).

Para alguns autores, uma das maiores preocupações da indústria é alinhar o fluxo de produção com a demanda. A teoria das restrições, nesse sentido, busca gerenciar a linha produtiva por meio da melhoria constante desse processo, focando nos seus maiores gargalos e restrições.

A Figura 1 apresenta uma pirâmide invertida que é uma técnica de estruturação de texto jornalístico baseada em técnicas pós-modernas.

**Figura 1** – Pirâmide Invertida: Estrutura e fluxo de informações do planejamento na usina.



Fonte: GIOVANNI et. al. (2019).

A pirâmide invertida contribui para o alcance de foco estratégico, evitando retrabalhos (GIOVANI *et al.*, 2019).

Segundo Giovani:

O planejamento estratégico é de responsabilidade dos diretores e gestores da usina, os quais discutem aspectos de macro abrangência, como a quantidade de cana a ser colhida durante toda a safra, a projeção de geração de valor, e o mix de produção, por exemplo;

O planejamento tático sendo de responsabilidade dos supervisores e dos líderes de setores, os quais trabalham na capacidade produtiva, programação e quantidades dos fornecedores de cana, planejamento da manutenção de entressafra, etc.;

O planejamento, programação de produção e manutenção são de responsabilidade dos demais colaboradores. Este nível abrange desde a agrícola (planejamento de reforma, plantio, tratos e colheita) até a indústria, a qual se dedica a responder a perguntas como “qual o tipo de organização da produção? Qual o tamanho dos lotes e quando deve ser produzido? Quais máquinas e qual sequenciamento a produção irá seguir?”. Portanto, a partir dessa estrutura, se desenvolve todo o processo de planejamento da usina (GIOVANI *et al.*, 2019).

O planejamento é de extrema importância na produtividade, sendo possível impedir paradas, falhas operacionais e quebras de equipamentos, além da manutenção da estrutura adicional de safra (mão-de-obra, equipamentos, etc.) por um tempo maior, junto com a diminuição da duração da safra tem como limitantes a capacidade de produção do setor agrícola e do industrial, mas pode proporcionar ganhos com a diminuição de tempos ociosos e custos adicionais. A falta da metodologia consistente e sistemática acaba que não garante, necessariamente, a obtenção dos melhores resultados (ABEPRO 1998).

É nítido o esforço crescente em desenvolver e aplicar modelos e métodos quantitativos para auxiliar nas principais operações do setor sucroalcooleiro, não só para a etapa agrícola, etapa de corte carregamento e transporte (CCT) e estoque de produtos finais como também na produção de açúcar, álcool e subprodutos da engenharia química, engenharia de alimentos, engenharia elétrica, engenharia de processo açucareiro e alcooleiro. O destaque é para os modelos de planejamento da colheita, modelos de programação do transporte de cana, de distribuição e armazenagem de açúcar e álcool, de seleção de variedades e de programação da reforma do canavial, sendo criado o modelo do processo produtivo, no qual poderão ser simuladas diversas opções de início e duração de safra, poderá ser uma ferramenta útil ao planejador na busca da melhor solução para se obter o máximo desempenho (ABEPRO 1998).

### 2.3 SISTEMA DE SIMULAÇÃO NO SETOR DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

Segundo Kato *et al.*:

A simulação possibilita a criação do modelo de um sistema real, com o propósito de avaliar o comportamento deste sistema sob várias condições. Permite ao analista tirar conclusões sobre novos sistemas sem precisar construí-los, ou fazer alterações em sistemas já existentes sem perturbá-los.

A simulação é a única ferramenta que permite a análise de interações entre sistemas (integração de sistemas), entende como vários componentes interagem entre si e como estes afetam todo o desempenho do sistema, proporcionando um total discernimento sobre a natureza de um processo para identificar problemas específicos ou áreas problemáticas dentro de um sistema. Além de desenvolver políticas ou planos específicos para um processo, testando novos conceitos e/ou sistemas antes de sua implementação (KATO *et al.* 2021).

O processo de simulação incide em definir, formular, validar, analisar e recomendar. Uma especificação funcional é composta de objetivos, suposições, entradas, saídas. É detalhada a nível de lógica de controle, visando flexibilidade e análise. A especificação funcional é um modelo de simulação e uma avaliação estatística, após isso é feita uma análise dos resultados direcionada aos objetivos do processo, auxilia através de um processo iterativo os analistas a entender os resultados estabelecendo com precisão os resultados para que os gerentes dos sistemas simulados tomem as iniciativas e decisões (KATO *et al.* 2021).

A simulação, consiste na utilização de certas técnicas matemáticas, empregadas em computadores, as quais permitem imitar o funcionamento de praticamente qualquer tipo de operação ou processo do mundo real, sendo o estudo do comportamento de sistemas reais através do exercício de modelos (PARAGON, 2021).

O ASPEN Plus é o principal simulador de processos químicos disponível no mercado. Foi desenvolvido pelo Instituto de Tecnologia de Massachusetts para o departamento de energia dos Estados Unidos, no início da década de 80. Nestes anos tem sido amplamente utilizado, em diferentes setores da indústria química, com excelentes resultados (IGLESIAS, 2009).

A Figura 2 ilustra o esquema de simulação construído em ASPEN Plus. É possível analisar o fluxo de cana-de-açúcar ingressando ao sistema (1CANA), e os diferentes módulos de produção: moagem (MOENDA), tratamento do caldo (TRATCAL), evaporação (EVAP), cozimento (COZMTO), fermentação (FERMENT), destilação (DESTIL), duas caldeiras (CALD1 e CALD2) e o módulo de geração elétrica (COGER). Estes módulos estão interligados pelos fluxos de massa correspondentes aos fluxos de material próprio do processo produtivo, aos vapores utilizados em cada módulo e aos condensados dos vapores de processos (IGLESIAS, 2009).



A competição cada vez mais acirrada enfrentada pelo setor produtivo no mercado globalizado transformou a automação industrial em um dos principais requisitos para o desenvolvimento econômico do país e para uma participação mais eficiente da indústria brasileira no mercado internacional. Com essa expansão o setor sucroalcooleiro esboçou mais interesse e reconhecimento aos benefícios proporcionados pelos sistemas de automatização completo (RODEGHER, 2011).

O Brasil sofreu forte influência nesse mercado, porém com a limitação das importações de hardware e software pela Secretaria Especial de Informática, às empresas brasileiras passaram por um considerável atraso tecnológico, só mais tarde surgiram os primeiros sistemas de supervisão e controle de processo desenvolvido em uma plataforma nacional (RODEGHER, 2011).

Após a convergência de plataformas e a Microsoft se tornar uma força dominante no mercado em sistemas operacionais de computadores, houve uma profusão de caminhos, alguns fornecedores utilizaram a Internet para alavancar o crescimento, outros o desenvolvimento de uma camada de gerenciamento de informações industriais, outro grupo migrou para sistemas supervisórios com plataformas portáteis e também um grupo partiu para ferramentas de otimização de processos e controles avançados, aplicando à infraestrutura dos supervisórios. Assim surgiram diferentes categorias para software de supervisão (RODEGHER, 2011).

Nos últimos anos a ideia é de tornar os supervisórios em uma solução que agrega mais valor ao empreendimento, os fabricantes de hardware acabaram criando empresas que fornecia todos os componentes de um sistema de automação (RODEGHER, 2011).

Atualmente os sistemas de supervisão são modernos, de fácil entendimento, aprendizagem e manuseio. Esses sistemas são fundamentais para complementar o sistema de automação industrial, pois são responsáveis pelo gerenciamento dos dados e das informações gerados nos dispositivos de campo (RODEGHER, 2011).

A simulação é uma ferramenta de apoio para a tomada de decisão da implantação da instrumentação e supervisão no processo de fabricação, sendo de extrema importância a implantação da instrumentação e do controle. Observando que a implantação do método está em ritmo acelerado devido as pressões de mercado, onde usinas buscam por incrementos na produtividade, na melhoria da qualidade dos produtos e na segurança, sendo adotadas como uma estratégia para manter sua competitividade no setor. Assim, ferramentas de apoio a

decisão como as de simulação podem ser de grande ajuda da escolha da melhor implantação da automação nos setores da usina, fornecendo um completo relatório de todas as atividades relacionadas com o equipamento durante a safra. Proporcionando ao produtor um completo acompanhamento dos resultados do seu equipamento de produção (KATO *et al.* 2021).

Muitas plantas industriais do setor sucroalcooleiro encontram-se em um processo de planejamento estratégico para implantação de um sistema integrado de controle de processo, com a enorme facilidade para aquisição de softwares e hardwares de alta performance e de alta confiabilidade é cada vez mais crescente a opção de controles baseados em sistema cliente/servidor (RODEGHER, 2011).

Através de programas de supervisão atuando em microcomputadores industriais e equipamentos de controle de processo como o Controlador Lógico Programável que é um dos dispositivos de controle digitais mais utilizados na indústria, gerando um total controle do processo da transformação da cana de açúcar pode fornecer uma grande vantagem competitiva e tecnológica ao produtor gerando altas taxas de produção. A supervisão da qualidade de produto é feita pela regulagem das condições operacionais tais como temperatura, pressão ou fluxo de utilidades. Quando estiver completo, o sistema de instrumentação fornecerá também informações suficientes para fechar os balanços de material e energético da unidade (KATO *et al.* 2021).

#### 2.4 INTRODUÇÃO DO SISTEMA DE SIMULAÇÃO NA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA

A simulação permite entender o processo em um nível global de forma completamente detalhada. É possível obter detalhes profundos dos equipamentos que através de medidas experimentais não é possível (TEXEIRA; BONIATO; DIESEL, 2021).

Com a simulação, a empresa pode, com pouco tempo, realizar diversas configurações de maneira a otimizar seus processos e produtos através da construção de protótipos. Essa construção de protótipos possibilita a empresa reduzir drasticamente os custos das práticas no decorrer do tempo, pelos testes serem cada vez mais certos um após o outro (TEXEIRA; BONIATO; DIESEL, 2021).

Na indústria sucroalcooleira existem alguns processos críticos e perigosos, por ser uma ferramenta virtual, a simulação permite testar configurações usuais (condições de operação normal) e configurações de condições extremas (condições anormais, acidentes etc.) podendo avaliar o que pode acontecer caso uma situação anormal aconteça (TEXEIRA; BONIATO; DIESEL, 2021).

O processo de simulação consiste em definir, formular, validar, analisar e recomendar, fornecendo uma especificação funcional, um modelo de simulação e uma avaliação estatística para que os gerentes dos sistemas simulados possam tomar as iniciativas e decisões (TEXEIRA; BONIATO; DIESEL, 2021).

Durante o processo de modelagem das atividades produtivas, algumas das principais questões de tomada de decisão que irão influenciar no planejamento da produção sucroalcooleira podem ser simuladas:

- Qual é o melhor período de moagem?
- Qual é a melhor alocação de mão-de-obra no período?
- Qual é o tipo de colheita mais conveniente a ser realizada?

A automação do setor canavieiro deve ocorrer de forma gradual e contínua nos parques industriais já instalados, sendo imprescindível para se manter na competitividade que o setor propõe. As novas usinas já estão sendo implantadas com recursos de planejamentos e controle automatizados modernos, que permitem o controle de todo o processo. Porém os equipamentos são de custo alto e sendo mal operado, podem causar grandes prejuízos (VIAN, 2021).

Segundo Vian (2021), a maioria das etapas de produção em uma usina de álcool e açúcar ocorre em dutos fechados. Sempre havendo a necessidade de meios técnicos para observar, medir e controlar o que ocorre dentro das colunas e tubulações.

Atualmente, é possível controlar operações a partir de computadores, que gerenciam todas as etapas e equipamentos da usina. O programa chamado de Controlador Lógico Programável, centraliza os controles de processos e seus operadores, o que facilita a comunicação e possibilita, ainda, o ajuste e a correção de qualquer operação, com rapidez. Esse programa em particular permite ter um relatório das atividades dos equipamentos durante a safra e o acompanhamento da produção em tempo real (VIAN, 2021).

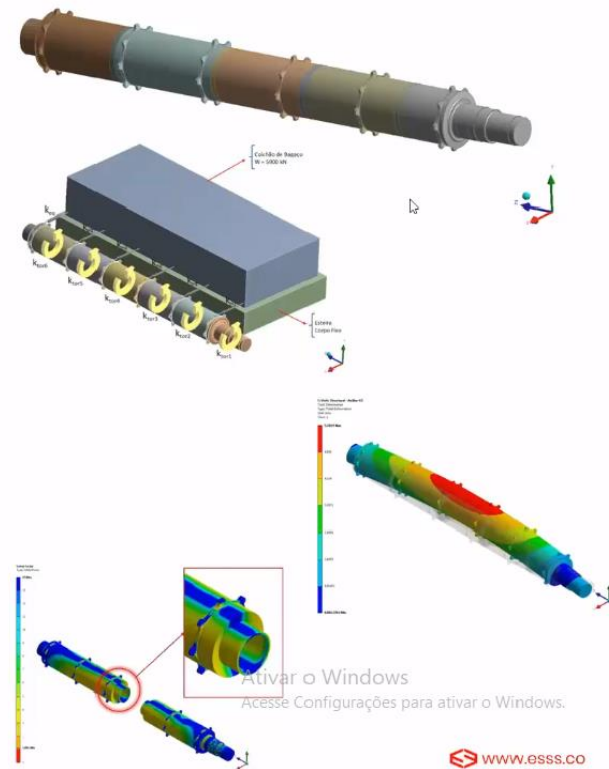
De acordo com Vian:

A automação é uma questão de tempo. Ela não será implantada pela modernidade do sistema, mas por proporcionar retorno financeiro ao usineiro. O retorno econômico é quantificado por ferramentas de simulação e podem determinar quais unidades de uma usina de álcool podem ser automatizadas com êxito, além de identificar áreas problemáticas.

#### 2.4.1 Moagem

A Figura 3 a seguir demonstra o eixo difusor que pertence ao processo de moagem e como ele seria apresentado por um software de simulação.

**Figura 3** – Eixo difusor no software Ansys.



Fonte: ESSS (2021).

Dentro do processo de moagem, existem equipamentos bastante robustos, sendo capaz de acarretar na parada da usina se houver alguma falha.

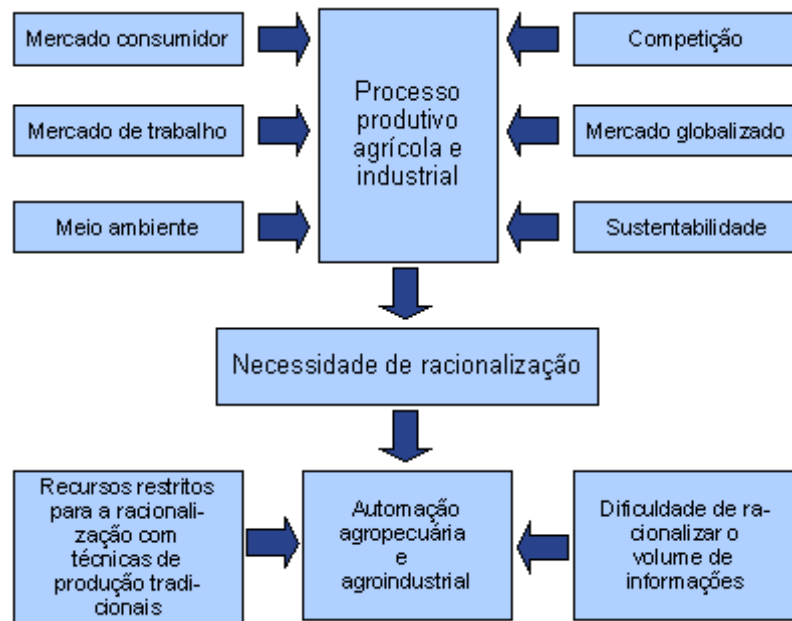
O eixo difusor tem um entre eixo muito grande, ele acaba sofrendo deformações promovendo forças diferentes em cada uma das correntes levando tensões que não estaria sendo esperada no projeto, podendo determinar quando poderia existir uma falha por fadiga desse eixo, prevendo um plano de manutenção preciso.

#### 2.4.2 Combustão de biomassa

A Figura 4 faz a demonstração do software Ansys do processo de transferência de calor.



**Figura 5** - Diagrama do processo de modernização de sistema agrícola e agroindustrial.



Fonte: VIAN (2021).

Através da Figura 5, verifica-se a necessidade da implantação de alternativas de técnicas, equipamentos e recursos que beneficiem o planejamento e controle dos processos produtivos presentes devido às pressões de mercado, onde a busca por incrementos na produtividade e na melhoria da qualidade dos produtos foi adotada pelas usinas como uma estratégia para manter sua competitividade no setor (VIAN 2021).

Finalmente, o modelo do sistema, abrangendo a integração do processo agrícola com o processo industrial pode ser “corrido” para várias situações que podem ser contrastadas, fornecendo subsídios para a tomada de decisão no planejamento, desde o plantio até a expedição de uma usina sucroalcooleira (TEXEIRA; BONIATO; DIESEL, 2021).

### 3 CONCLUSÕES

O setor sucroalcooleiro nacional, mostra-se, historicamente, altamente competitivo, sempre em busca de alternativas, inovações e melhorias, tanto em relação à produtividade quanto à qualidade dos produtos e a concorrência por mercados cada vez mais exigentes.

Sendo a simulação um método extremamente promissor, que usa a tecnologia computacional para a otimização dos processos, ainda não se sabe ao certo o porquê de a indústria sucroalcooleira ser tão arcaica em relação a simulação, que se mostra essencial para a indústria automotiva e aeroespacial.

A implantação pela indústria de um sistema automatizado completo gera um alto grau de investimento, porém viabiliza benefícios a longo prazo, implementando a simulação onde se possa modelar o sistema atual e o sistema futuro, fazendo-se uma análise de seus benefícios.

Com a evolução tecnológica, a indústria tem se favorecido grandemente, um exemplo disso são os sensores e atuadores dos equipamentos que foram sendo reduzidos e agrupando-se, até se transformarem em painéis de controle central, diminuindo a necessidade de empregados andarem pela usina e melhorando o tempo de reação em caso de problemas.

Para a total automação das etapas de produção de açúcar e álcool é necessário, ainda, transformar em produtos muitos dos conjuntos de conhecimento do campo da ciência e da tecnologia, que aguardam, ainda, novas soluções para viabilizar sua incorporação nas indústrias.

Este trabalho visa contribuir com esta tendência do setor, buscando aliar a grande competência e experiência dos seus profissionais aos recursos modernos de computação e simulação.

Assim, com a utilização da ferramenta da simulação e da metodologia a ser desenvolvida, espera-se formalizar um conjunto de procedimentos e ações sistematizadas que possibilitem a manipulação e transformação de informações, auxiliando no fortalecimento dos processos de tomadas de decisões no setor de planejamento da produção, fornecendo mais uma opção de ferramenta de trabalho na busca por incrementos nos parâmetros de produtividade e eficiência, visando novas possibilidades de pesquisas para a continuidade do atual processo de melhoria.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. **Estudo da produtividade e da eficiência de produção na indústria sucroalcooleira, com o uso de simulação de sistemas.** Gerência de Produção - Gestão de Sistemas Agroindustriais, [S. l.], p. 1-7, 31 maio 2021. DOI T014E012. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/enegep1998\\_art293](http://www.abepro.org.br/enegep1998_art293). Acesso em: 31 maio 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: informação e documentação: referências: apresentação.** Rio de Janeiro: ABNT, 2002.
- BALSADI, Otavio Valentim; FARIA, César Augusto Cardoso; FILHO, Roberto Novaes. **Considerações sobre a dinâmica recente do complexo sucroalcooleiro no estado de São Paulo.** Complexo sucroalcooleiro, São Paulo, v. 26, ed. 4, 18 mar. 1996. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/ie/1996/tec2-0496.pdf>. Acesso em: 4 maio 2021.
- BEAUCLAIR, Edgar Gomes Ferreira de. **Planejamento e estimativa na produção de cana.** *Visão Agrícola*, Piracicaba, v. 1, n. ja/ju, p. 24-27, 2004.
- BECKER, A. J.; SILVA, D. M. I.; DIAS, F. H. S.; PINHEIRO, L. K. **Noções Básicas de programação.**
- BEM, A. J. D.; KOIKE, G. H.; PASSARINI, L. C. **Modelagem e simulação para o processo industrial de fabricação de açúcar e álcool.** *Minerva*, v. 3, n. 1, p. 33–46, 2003. Acesso em: 27 maio 2021.
- BIODIESELBR. **ProÁlcool - História da indústria sucroalcooleira.** [S. l.]: BiodieselBR, 29 mar. 2006. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/proalcool/historia/proalcool-industria-sucroalcooleira#:~:text=Entre%201905%20e%20meados%20da,promover%20o%20álcool%20como%20combustível.&text=Em%2023%20de%20setembro%20de,primeira%20refinaria%20nacional%20de%20petróleo>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- BIODIESELBR. **PróAlcool - Programa Brasileiro de Álcool.** [S. l.]: BiodieselBR, 29 mar. 2006. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/proalcool/pro-alcool/programa-etanol#:~:text=EVOLUÇÃO%20DO%20PROGRAMA%20NACIONAL%20DO,da%20política%20de%20combustíveis%20automotivos>. Acesso em: 30 abr. 2021.
- BRITO, Leila; MARQUES, Lílian Arruda; KARAM, Nelson de Chueri. **Desempenho do setor sucroalcooleiro brasileiro e os trabalhadores.** *Estudos e pesquisas*, [s. l.], ano 3, n. 30, p. 2-3, fev. 2007. Disponível em: <https://www.dieese.org.br/estudosepesquisas/2007/estpesq30setorSucroalcooleiro.pdf>. Acesso em: 4 maio 2021.
- CARDONA, C.; QUINTERO, J.; PAZ, I. **Production of bioethanol from sugarcane bagasse: Status and perspectives.** *Bioresource Technology*, v. 101, n. 13, p. 4754 – 4766, 2010. Special Issue on Lignocellulosic Bioethanol: Current Status and Perspectives. Acesso em: 5 jun. 2021.
- COSTA, Fábio Silva. **HISTÓRICO MENSAL CANA-DE-AÇÚCAR: Análise Mensal.** CONAB (ed.). [S. l.], 16 abr. 2021. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-cana-de-acucar?limitstart=0>. Acesso em: 19 maio 2021.
- DIAS, Diogo Lopes. **O que é fermentação?** *Brasil Escola*, 13 ago. 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/quimica/o-que-e-fermentacao.htm>. Acesso em: 13 ago. 2021.

DIAS, M. O. S. **Simulação do processo de produção de etanol a partir do açúcar e do bagaço visando a integração do processo e a maximização da produção de energia e excedentes do bagaço.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008. Acesso em: 5 jun. 2021.

DIAS, M. O.; CUNHA, M. P.; JESUS, C. D. F.; SCANDIFFIO, M. I. G.; ROSSELL, C. E. V.; MACIEL FILHO, R.; BONOMI, A. **Simulation of ethanol production from sugarcane in Brazil: economic study of an autonomous distillery.** In: PIERUCCI, S.; FERRARIS, G. B. (Ed.). 20th European Symposium on Computer Aided Process Engineering. Nápolis: Elsevier, 2010, (Computer Aided Chemical Engineering, v. 28). p. 733 – 738. Acesso em: 5 jun. 2021.

DIAS, M. O.; JUNQUEIRA, T. L.; JESUS, C. D. F. ROSSELL, C. E. V.; MACIEL FILHO, R.; BONOMI, A. **Improving second generation ethanol production through optimization of first generation production process from sugarcane.** Energy, v. 43, n. 1, p. 246 – 252, 2012. Acesso em: 5 jun. 2021.

FRANCISCO, Wagner de Cerqueira. **A economia de Alagoas.** In: Gerência de Produção - Gestão de Sistemas Agroindustriais. [S. l.]: Brasil Escola, 31 maio 2021. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-economia-alagoas.htm>. Acesso em: 31 maio 2021.

FURLAN, F. F. **Desenvolvimento de ambiente integrado para simulação e otimização estática da produção de etanol a partir de bagaço de cana-de-açúcar por rota bioquímica.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2012. Acesso em: 13 ago. 2021.

GIOVANI, Daniel H. Di *et al.* **O planejamento e controle da produção em uma usina de açúcar e álcool.** Engenharia de Produção, São Paulo, 23 maio 2019. VII Simpósio de Engenharia de Produção (SIMEP), p. 1-16. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/333149516\\_O\\_planejamento\\_e\\_controle\\_da\\_producao\\_e\\_m\\_uma\\_usina\\_de\\_acucar\\_e\\_alcool](https://www.researchgate.net/publication/333149516_O_planejamento_e_controle_da_producao_e_m_uma_usina_de_acucar_e_alcool). Acesso em: 27 maio 2021.

GNANSOUNOU, E.; DAURIAT, A. **Ethanol fuel from biomass: A review.** Journal of Scientific and Industrial Research, v. 64, p. 809-822, 2005.

IGLESIAS, JOSE MIGUEL CARDEMIL. **SIMULAÇÃO DE SISTEMAS TÉRMICOS PARA GERENCIAMENTO ENERGÉTICO DE USINA SUCROALCOOLEIRA.** Orientador: Sergio Colle. 2009. 130 f. Dissertação (MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA, Florianópolis, 2009. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/92362/266539.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 5 jun. 2021.

KATO, Edilson Reis Rodrigues *et al.* **A SIMULAÇÃO NO APOIO DA IMPLANTAÇÃO DE INSTRUMENTAÇÃO E AUTOMAÇÃO NO SETOR DE ÁLCOOL E AÇUCAR.** Simulation Agroindustry, [S. l.], p. 1-8, 5 jun. 2021. Disponível em: [http://www.abepro.org.br/ENEGEP1997\\_T1108](http://www.abepro.org.br/ENEGEP1997_T1108). Acesso em: 5 jun. 2021.

KWIATKOWSKI, J. R.; MCALOON, A. J.; TAYLOR, F.; JOHNSTON, D. B. **Modeling the process and costs of fuel ethanol production by the corn dry-grind process.** Industrial Crops and Products, v. 23, n. 3, p. 288 – 296, 2006. Acesso em: 27 maio 2021.

OBSERVATÓRIO DA CANA. **HISTÓRICO DE PRODUÇÃO E MOAGEM: Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol.** [S. l.]. Disponível em: <https://observatoriodacana.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4&acao=visualizar&idTabela=2449&safra=2019%2F2020&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF%2>

CBA%2CSE%2CAL%2CPE%2CPB%2CRN%2CCE%2CPI%2CMA%2CTO%2CPA%2CAP%2CRO%2CAM%2CAC%2CRR. Acesso em: 12 maio 2021.

**Programação em MATLAB.** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria – RS, 2010.

RODRIGUES, Gelze Serrat de Souza Campos; ROSS, Jurandyr Luciano Sanches Ross. **A trajetória da cana-de açúcar no Brasil: A agroindústria sucroalcooleira e o proálcool.** 4. ed. [S. l.]: EDUFU, 2020. 45 p. ISBN 978-65-86084-00-9.

SIMIÃO, Jhonatas. **Produção de cana-de-açúcar no Brasil em 2020 é revisada para 677,9 mil toneladas pelo IBGE: O rendimento médio dos canaviais caiu 1,2%, informou o instituto em divulgação nesta quarta-feira.** [S. l.], 13 jan. 2021. Disponível em: <https://www.novacana.com/n/cana/safra/producao-cana-acucar-brasil-2020-revisada-677-9-mi-t-ibge-130121#:~:text=A%20produção%20de%20cana-de,ao%20levantamento%20do%20mês%20anterior>. Acesso em: 12 maio 2021.

TEXEIRA, Bianca; BONIATO, Daniel; DIESEL, Fabiano N. **Simulation for the Sugar and Alcohol Industry.** [S. l.]: Engineering Simulation And Scientific Software, Webinar. Disponível em: <https://www.esss.co/typ/lihflkashvdg98w75987wdhfvoizhvdiy89023yugs/>. Acesso em: 31 ago. 2021.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e Controle da Produção.** [S. l.]: Atlas, 2007. 190 p. ISBN 978-85-224-4845-6. Disponível em: [https://www.academia.edu/9537003/Livro\\_Planejamento\\_e\\_Controle\\_da\\_Producao\\_Dalvio\\_Ferrari\\_Tubino](https://www.academia.edu/9537003/Livro_Planejamento_e_Controle_da_Producao_Dalvio_Ferrari_Tubino). Acesso em: 13 ago. 2021.

VALIO, ANDRE MARQUES. **A história moderna da indústria sucroalcooleira no Brasil.** [S. l.], 25 mar. 2014. Disponível em: [https://www.agrolink.com.br/colunistas/a-historia-moderna-da-industria-sucroalcooleira-no-brasil\\_387345.html](https://www.agrolink.com.br/colunistas/a-historia-moderna-da-industria-sucroalcooleira-no-brasil_387345.html). Acesso em: 30 abr. 2021.

VIAN, Carlos Eduardo Freitas. **ÁRVORE DO CONHECIMENTO Cana-de-Açúcar: Automação e controle.** [S. l.], 11 ago. 2021. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01\\_135\\_22122006154842.html](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_135_22122006154842.html). Acesso em: 11 ago. 2021.

WUKOVITS, W.; PFEFFER, M.; LIEBMANN, B.; FRIEDL, A. **Integration of the bio-ethanol process in a network of facilities for heat and power production from renewable sources using process simulation.** In: PLEȘU, V.; AGACHI, P. Ș. (Ed.). 17th Acesso em: 27 maio 2021.