



## **PROPOSTA DE REDUÇÃO DO TEMPO FERMENTATIVO EM DORNAS DO SETOR SUCROALCOOLEIRO**

Darlan Marques da Silva <sup>1</sup>  
Naytiara Dias Andrade <sup>2</sup>

**RESUMO:** A crise econômica generalizada no mundo vem fazendo com que as organizações busquem alternativas e intervenções para que os indicadores do processo produtivo não declinem, tanto no que tange a rentabilidade como a economicidade. Visto isso, o objetivo deste trabalho é verificar a possibilidade de redução do tempo no ciclo da fermentação a partir de análises dos açúcares redutores residuais totais por cromatografia iônica, buscando assim, maior disponibilidade de equipamentos ou melhor redistribuição das demais etapas do processo fermentativo. Realizando um estudo de caso em uma indústria produtora de álcool, foi desenvolvida uma análise observando o processo de produção na parte de fermentação, sob duas técnicas: Brix (°Bx) e Cromatografia Iônica (IC). Os resultados apontaram que nos testes de correlação, nas análises de regressão linear e na ANOVA não há interferências entre os fatores de forma significativa, e, nem mesmo, variação das médias dos resultados avaliados. Foi possível identificar, com aproximadamente 60 minutos após o enchimento, que 83,33% das dornas possuem quantidade menor ou igual a 0,07 IC de ARRT, com uma rejeição de 16,67%, podendo ter um aproveitamento do tempo ganho em disponibilidade de equipamentos (dornas) ou melhor redistribuição do tempo das etapas de CIP (Cleaning in Place – Limpeza no local), tratamento de fermento e pós-fermentação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Melhoria de Processo, Fermentação Alcoólica, Cromatografia Iônica.

---

<sup>1</sup> darlan@unirv.edu.br

<sup>2</sup> Universidade de Rio Verde. naytiaradias@hotmail.com

## 1 INTRODUÇÃO

As indústrias brasileiras estão se deparando com grandes dificuldades financeiras devido à crise econômica em que o país se encontra. As quedas de produção e a exportação diminuem estimativas de desenvolvimento. Analisando a economia global, as indústrias brasileiras contam, cada vez menos, com o auxílio da economia internacional para se reerguer. (DANTAS et al., 2017)

Mesmo diante das dificuldades empregadas, o setor sucroalcooleiro nacional se destaca, correspondendo a 20% de produção global e a 40% da exportação mundial, aproximadamente (USDA, 2018). O Brasil detém a segunda maior produção de etanol (principal matéria-prima a cana-de-açúcar) e os Estados Unidos ocupam o topo do ranking (principal matéria-prima o milho). (MARRIN et al., 2016). Os maiores estados produtores brasileiros na atualidade são: São Paulo, Goiás e Minas Gerais (USDA, 2018).

O cultivo de cana-de-açúcar e a produção de etanol vêm, naturalmente, se tornando um mercado gradualmente competitivo, o que pode ser percebido desde o período colonial até os dias atuais, sendo assim, responsável por grande parte de desenvolvimento econômico brasileiro (MARRIN et al., 2016).

Na tentativa de reduzir os custos, as indústrias sucroalcooleiras buscam a otimização da produção de etanol (ROY et al., 2015). Ainda que se utilizem de equipamentos modernos e automatizados, o objetivo destas é produzir mais com custo e tempo menores e maior qualidade (KIM; CHO, 2017). Com isso, as melhorias do processo associadas ao dispêndio, ao tempo e a qualidade na produção de cana-de-açúcar (agricultura), podem gerar uma redução em mais de 20% nos gastos da produção (ROY et al., 2015).

Deste modo, a redução de custos e a melhor utilização do tempo são ações ligadas ao planejamento e controle de produção (DANTAS et al., 2017) e podem ser aplicadas em todas as etapas da fabricação do etanol, desde a colheita da cana no campo, passando pelo seu processamento na indústria e até sua distribuição.

A qualidade da cana-de-açúcar é uma importante premissa para um bom rendimento fermentativo, assim, as indústrias estão monitorando fatores da quantidade de açúcar, pureza, bactéria, terra, fibra, entre outros, buscando um melhor produtividade industrial (SOROL et al., 2010; MARRIN et al., 2016).

Em destilarias, a maior perda do procedimento está na fermentação. Destarte, o desafio atual é minimizar este estravio e otimizar recursos para esta importante etapa do processo industrial. Entre as metodologias aplicadas para acompanhamento do processo fermentativo, a cromatografia vem se destacando, nos últimos anos, por possuir alta sensibilidade e precisão, bem como ser capaz de caracterizar melhor o ponto final de fermentação (SOROL et al., 2010).

Diante do exposto, objetiva-se verificar a possibilidade de redução do tempo no ciclo da fermentação a partir de análises dos açúcares redutores residuais totais por cromatografia iônica, buscando, desta forma, maior disponibilidade de equipamentos ou melhor redistribuição das demais etapas do processo fermentativo.

Quanto à estruturação da pesquisa, tem-se: a Seção 2 que apresenta materiais e métodos adotados para a construção do estudo; a Seção 3 que destaca o processo da produção de etanol e a importância do controle da qualidade; a Seção 4 que relata um tratamento estatístico dos dados e o estudo da viabilidade da redução de tempo do processamento do etanol; por fim, a Seção 5 que encerra o trabalho apontando algumas considerações finais.

## 2 MATERIAS E MÉTODOS

Este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso, pois foi realizada uma análise do tempo

de fermentação das dornas em uma usina sucroalcooleira localizada na região do sudoeste goiano. Os dados foram coletados (in loco) em 8 dornas (de números 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 e 9, fora excluída da coleta a de número 5 devido ao seu não funcionamento) durante o processo fermentativo, entre abril e agosto de 2016, com um total de 75 amostragens.

Iniciou-se a coleta do vinho bruto após o término do enchimento das dornas, as demais coletas foram realizadas com intervalos de, no máximo, uma hora após a primeira coleta, até o início da centrifugação, onde ocorreram análises de ARRT por cromatografia iônica (IC – ‘ion chromatography’) para avaliar os açúcares redutores residuais totais e Brix por desímetria. Atualmente, utiliza-se o método de repetição da leitura do Brix do vinho bruto para monitorar o processo final fermentativo.

Houve, também, a coleta de dados sobre o Brix ( $^{\circ}\text{Bx}$ ), volume final (metros cúbicos -  $\text{m}^3$ ), vazão (metros cúbicos por minuto -  $\text{m}^3/\text{min}$ ), tempo (min) e temperatura sobre a alimentação das dornas (graus Celcius -  $^{\circ}\text{C}$ ), início da centrifugação (min), pureza (porcentagem - %) e acidez (potencial hidrogeniônico - pH) da matéria-prima para análises de correlação e testes da ANOVA para avaliar possíveis interferências no processo.

Para a realização dos experimentos e suas respectivas análises, obteve-se a partir do cromatógrafo de íons capilar - Dionex™ ICS – 5000, o modelo da coluna foi o CarboPAC-PA1 (150 milímetros - mm), a velocidade do fluxo de 1,0 (mililitros por minuto - ml/min), a metodologia de diluição foi de 10 vezes com uma concentração da curva analítica: 60, 120, 180 e 240 (partes por milhão – ppm), com uma concentração do eluente representando 100 (mm), a marca da centrífuga foi a Fanem/modelo 206BL, com a velocidade de 3.600 (rotações por minutos – rpm), o tempo da centrifugação de 5 (min), a filtração da membrana expressando um valor de 0,45 (micrómetros -  $\mu\text{m}$ ) e ambas as temperaturas, do forno e da coluna, foram de 25 ( $^{\circ}\text{C}$ ).

Os valores e os resultados obtidos foram comparados com uso de ferramentas gráficas e estatísticas, empregou-se como suporte o Microsoft Excel16® e o Minitab17® para a identificação do melhor ponto de corte na fermentação e envio para a centrifugação. O que viabilizou como suporte a tomada de decisão aos gestores em relação a quantidade de tempo do processo fermentativo das dornas, atendendo aos padrões de um ARRT com um IC < 0,07 e um tempo proposto de 60 min, no entanto, atualmente, a empresa adota 120 min.

Logo, é essencial conhecer o processamento e como se dá o controle da qualidade da cana-de-açúcar, sendo aqui considerado o fator chave da investigação.

### 3 PROCESSAMENTO E CONTROLE DA QUALIDADE

Uma vez que o etanol deve ser produzido a partir de uma fonte viva, sujeita a interferências ambientais, fazem-se necessárias algumas considerações a respeito de suas características. Alguns fatores podem influenciar a qualidade da cana. Durante seu crescimento, pode sofrer influências do meio que está sendo cultivada. Isso se deve à radiação solar, à temperatura, à umidade e fertilizantes do solo e à maturação da planta, dentre outros (MARRIN et al., 2016; ARODUDU et al., 2017).

As características principais de qualidade da cana-de-açúcar são determinadas pelas análises de POL (de forma sucinta, é a porcentagem aparente de massa de sacarose contido em uma mistura açúcarada), pureza, açúcares redutores, pH e acidez total. A eficiência do processo depende da qualidade da matéria-prima entregue nas indústrias. Quanto maior a POL da matéria-prima, melhor o rendimento na etapa de fermentação (ZHONG et al., 2015).

O processo tem início no campo, pela escolha das espécies a serem plantadas, a condução da cultura e o momento da colheita da cana-de-açúcar. Após a colheita, a cana segue para a indústria, onde acontece a extração de seu caldo e a separação do bagaço, o tratamento do caldo, a produção do etanol pela fermentação, e, finalmente, a separação na destilaria

(ZHONG et al., 2015; ARODUDU et al., 2017). A Figura 1 apresenta o fluxograma do processo de fabricação de etanol.

**Figura 1:** Fluxograma do Processo de Etanol orias ABC



Fonte: Adaptada da empresa em estudo (2018)

Desde o monitoramento do canavial, a extração do caldo, o tratamento e sua chegada aos biorreatores (dornas) onde ocorre a fermentação e o bagaço que é enviado para a caldeira

existem pontos de coleta de amostras e parâmetros de controle a serem seguidos (SOROL et al., 2010).

A etapa de fermentação é crítica e a correta determinação das quantidades iniciais (alimentação das dornas) e finais (ponto de envio para a centrifugação) do açúcar define a viabilidade ou não do processo (ZHONG et al., 2015). Dada a importância, são utilizadas no laboratório diversas técnicas para a determinação dos açúcares existentes. E, logo após a fermentação, é feita a desidratação para obtenção do etanol anidro e a retificação para obter o etanol hidratado isento de impurezas.

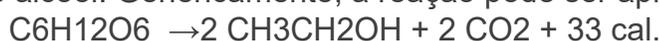
Numa unidade industrial, o tempo de cada etapa possui um custo de produção, o que torna importante determinar em cada etapa, um tempo mínimo. Este corresponde a menos horas de funcionários, menos tempo de motores ligados, entre outros (MITRA et al., 2013).

Verma e Sharma (2016) desenvolveram um programa de otimização do processo de produção de etanol, onde as variáveis qualidade e tempo possuem forte peso no sistema de otimização. Para este tipo de indústria, a qualidade da matéria-prima pode variar de acordo com época do ano, condições ambientais, entre outros fatores. Esta qualidade está diretamente relacionada com a quantidade e a condição dos açúcares presentes no mosto (caldo da cana). Inclusive, o pagamento feito aos produtores de cana-de-açúcar, sofrem ou não, descontos conforme a POL é apresentada em cada carregamento (MARRIN et al., 2016). Portanto, o processo fermentativo é bastante crítico dentro deste tipo de indústria.

### 3.1 PROCESSO FERMENTATIVO

A levedura *S. Cerevisiae* possui uma relevância significativa nas indústrias de alimentos e de bebidas com teores alcoólicos no contexto mundial, assim como, na produção de biocombustíveis oriundos de fontes renováveis (NARAZAKI et al., 2018). No Brasil, os estudos sobre esse microrganismo difundiu-se abundantemente, o que proporciona uma vasta fonte de informações, tornando seu metabolismo bastante notório, tornando-se vastamente empregado no processo de fermentação alcoólica (MENEZES et al., 2016).

De acordo com Mitra et al. (2017), a fermentação consiste em uma sequência de reações enzimáticas em que a glicose é quebrada em moléculas de açúcares simples, nesse processo ocorre a liberação de energia. O procedimento de degradação da glicose ocasiona a liberação do álcool. Genericamente, a reação pode ser apresentada como:



Os processos fermentativos, baseando-se no substrato e no produto retirado, podem ser discriminados em três tipos de processos básicos: batelada, contínuo e batelada alimentada – também conhecida Melle-Boinot (VASCOCELOS, 2015).

Andrietta (2009) realizando teste do tempo de espera para fermentação, afirma que esse pode ter duração de duas a quatro horas. Porém, ressaltou que o tempo total pode variar de seis a oito horas e o ciclo fermentativo pode chegar até 12 horas, em que se inclui o processo de centrifugação e da CIP (Cleaning in Place – Limpeza no local).

### 3.2 MÉTODOS DE ANÁLISE

As análises têm uma grande importância nas indústrias sucroalcooleiras, pelo fato de ser por elas que se acompanham os processos (ROY et al., 2015). Uma das premissas são as determinações dos açúcares contidos na cana-de-açúcar que estão entrando na indústria, cuja qualidade dessa cana é um ponto abordado para se saber quais métodos e parâmetros serão utilizados em todas as etapas da produção (MARRIN et al., 2016; MITRA et al., 2017). É importante também para a determinação das perdas ocorridas em cada etapa do processo, possibilitando ajustes quando necessário (ROY et al., 2015).

São utilizadas diversas rotinas e princípios analíticos em um laboratório de processo sucroalcooleiro. O uso de reações de oxirredução é corriqueiro, mas também são empregadas as análises polarimétricas e refratométricas, os cromatógrafos e equipamentos de espectrometria e espectrofotometria são também relatados (ANDRIETTA, 2009).

A determinação do teor aparente de sacarose é dada pela POL, já a porcentagem aparente de sólidos solúveis pelo BRIX. Outro método para determinação de açúcares, é a análise por cromatografia iônica (IC) voltada para o processo fermentativo (ZHONG et al., 2015). As definições dos métodos estão descritas a seguir:

- O teor de BRIX se refere à porcentagem de sólidos solúveis (açúcares e sais) contidos em uma solução. Pode ser determinado via densimetria ou refratometria. Esta análise utiliza o princípio de que soluções açucaradas possuem a mesma densidade na mesma concentração, mesmo que o açúcar seja diferente. (SOROL et al., 2010)

- O método de determinação de açúcar BRIX considera todos os sólidos dissolvidos numa amostra e pode indicar falsos positivos para teores de açúcar. Apesar de ser um procedimento fácil aplicação em campo, seus resultados podem dar margem a possíveis ganhos, quando comparados ao potencial das análises cromatográficas (ZHONG et al., 2015).

Cromatografia é uma tecnologia analítica recente e em constante aperfeiçoamento. Exige cuidados especiais na preparação dos eluentes (gases ou líquidos), necessitando de reagentes com um alto grau de pureza e profissionais qualificados para o manuseio do equipamento. Entretanto, eficiência de análise, maior confiabilidade e seletividade dos resultados devido à alta sensibilidade e precisão, pesam mais quando comparada com outras técnicas (FRENZEL e MARKEVICIUTE, 2017).

De acordo com Ross et al. (2016), a cromatografia é uma técnica que possibilita a separação dos componentes de uma mistura pela diferença que são transportadas pela fase móvel (líquida ou gasosa) por meio da fase estacionária.

## 4 ANÁLISES DOS DADOS E DISCUSSÕES

Foram realizados testes de Correlação e ANOVA dos dados coletados e analisados, buscando identificar as possíveis interferências entre as variáveis, descrevendo como elas variam conjuntamente e realizando análises de variância entre aquelas que são mais críticas ao processo, conforme a empresa em estudo.

Segundo os conceitos dos testes de correlação ( $-1 \leq R \leq 1$ ), quanto mais próximo de zero, maior a possibilidade de interferência se anular, aumentando possíveis correlações ao se aproximar de 1, ou seja, quanto maior o valor de uma variável, proporcional será o da outra variável também, descrevendo-se como correlação positiva. Tem-se ainda, a correlação negativa, quanto mais próximo de -1, significando que quando uma variável aumenta o valor, a outra decresce.

Na Tabela 1, de uma forma geral, não existem grandes relações entre as variáveis, sejam elas de correlações positivas ou negativas. Entretanto, vale destacar algumas correlações que apresentaram uma maior intensidade positiva para o ARRT e Brix (0,4237), Temperatura e Brix (0,4139), levando-se a concluir que quanto maior a Temperatura e IC, o Brix tende a aumentar juntamente com estas variáveis. O mesmo serve para o Brix de Alimentação e Vazão (0,4411), apesar de não apresentarem valores expressivos.

**TABLA 1 - TESTE DE CORRELAÇÃO DE TODAS AS VARIÁVEIS.**

	ARRT (IC)	BRIX (°Bx)	TEMPERATURA (°C)	PUREZA (%)	ACIDEZ (pH)	VAZÃO (m³/min)	TEMPO DE FERMENTEÇÃO (min)	TEMPO DE ENCHIMENTO (min)	BRIX DE ALIMENTAÇÃO (°Bx)
<b>ARRT (IC)</b>	1								
<b>BRIX (°Bx)</b>	0,4237	1							
<b>TEMPERATURA (°C)</b>	0,3581	0,4139	1						
<b>PUREZA (%)</b>	-0,1548	-0,0995	-0,1691	1					
<b>ACIDEZ (pH)</b>	0,339	0,0335	0,0807	-0,74	1				
<b>VAZÃO (m³/min)</b>	-0,0748	-0,0468	0,0144	0,04	-0,085	1			
<b>TEMPO DE FERMENTEÇÃO (min)</b>	-0,1748	-0,1345	-0,1055	0,103	-0,175	-0,264	1		
<b>TEMPO DE ENCHIMENTO (min)</b>	-0,0223	0,0404	-0,0573	0,073	-0,004	-0,095	-0,2072	1	
<b>BRIX DE ALIMENTAÇÃO (°Bx)</b>	-0,1136	0,0775	0,0234	0,284	-0,32	0,4411	-0,3116	0,1693	1

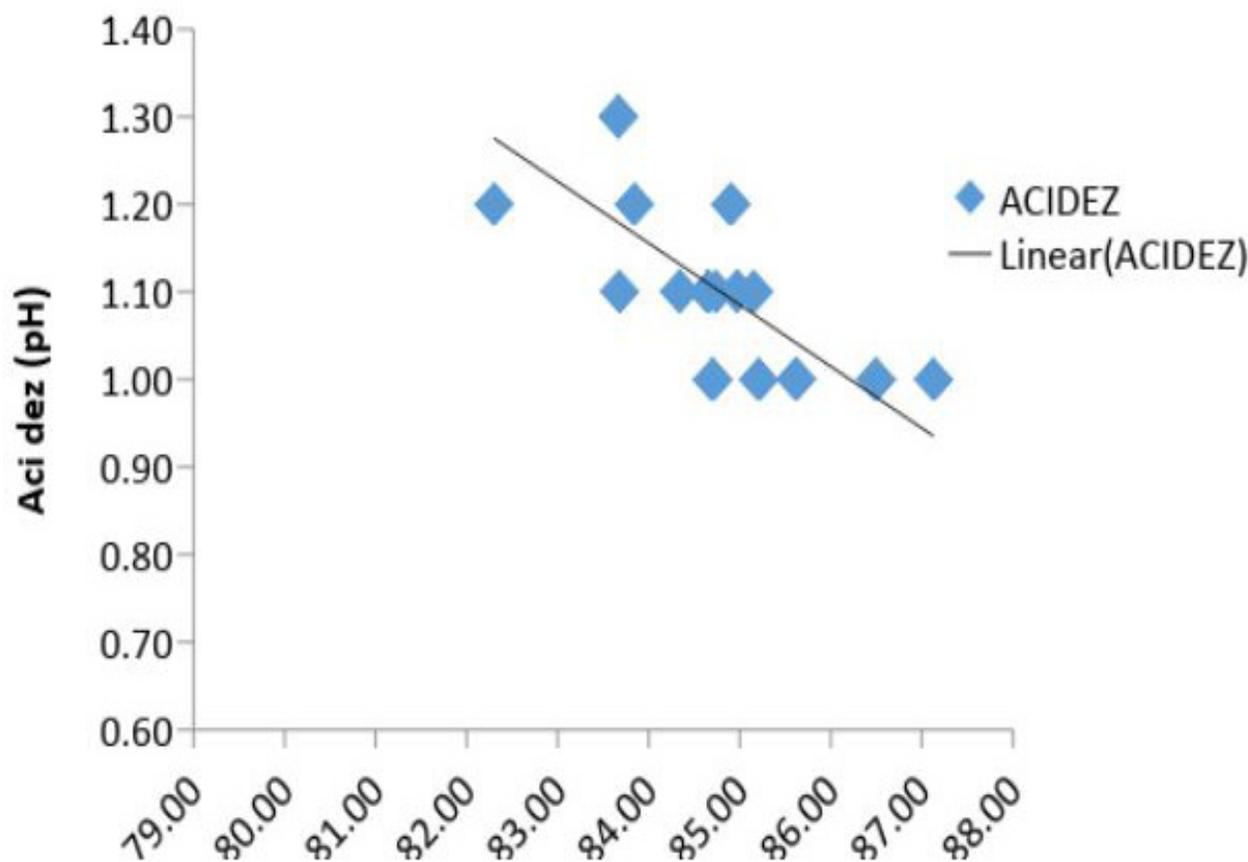
Fonte: Saída do Excel16® (2018)

Masson et. al. (2015) realizando análises de parâmetros similares a estes, excluindo a vazão, denota que todos estes fatores destacados estão, intrinsecamente, relacionados às propriedades químico-tecnológicas e apresentam influência da temperatura. A correlação negativa, se expressou de forma mais contundente entre a Acidez e a Pureza (-0,7386). Para Valsechi (1944), a acidez deve ser de até 1,8 pH, mas as amostras revelaram esses valores entre 1 à 1,3 de pH e maiores purezas levam a proteger o caldo contra riscos de infecções e acidentes, resultando em um maior rendimento do álcool.

Com a relação mais expressiva (Acidez e Pureza), foi viável realizar uma visualização gráfica (Figura 2) da sua reta de regressão, que segundo Montgomery (2009), a análise de regressão é uma técnica estatística para modelar e investigar a relação entre duas ou mais variáveis. Vale destacar que além da regressão linear para a linha de tendência, a não linearidade também foi testada, mas apresentaram valores bastante similares.

Na figura 2, pode-se observar o R<sup>2</sup> que é o quadrado do coeficiente de correlação entre duas variáveis, estando este valor entre 0 ≤ R<sup>2</sup> ≤ 1, informando a quantidade de variabilidade nos dados, explicada ou considerada no modelo de regressão, com isso, quanto mais próximo de 1, melhor, pois maior porcentagem de explicação da variabilidade é representada. Concluindo-se que o modelo  $Y = -0,0704x + 7,0691$ , da reta ajustada para esta situação, entre a Acidez e a Pureza é (0,5456), podendo ser considerada moderada.

**Figura 2:** Gráfico de Regressão da Acidez (pH) x Pureza (%)

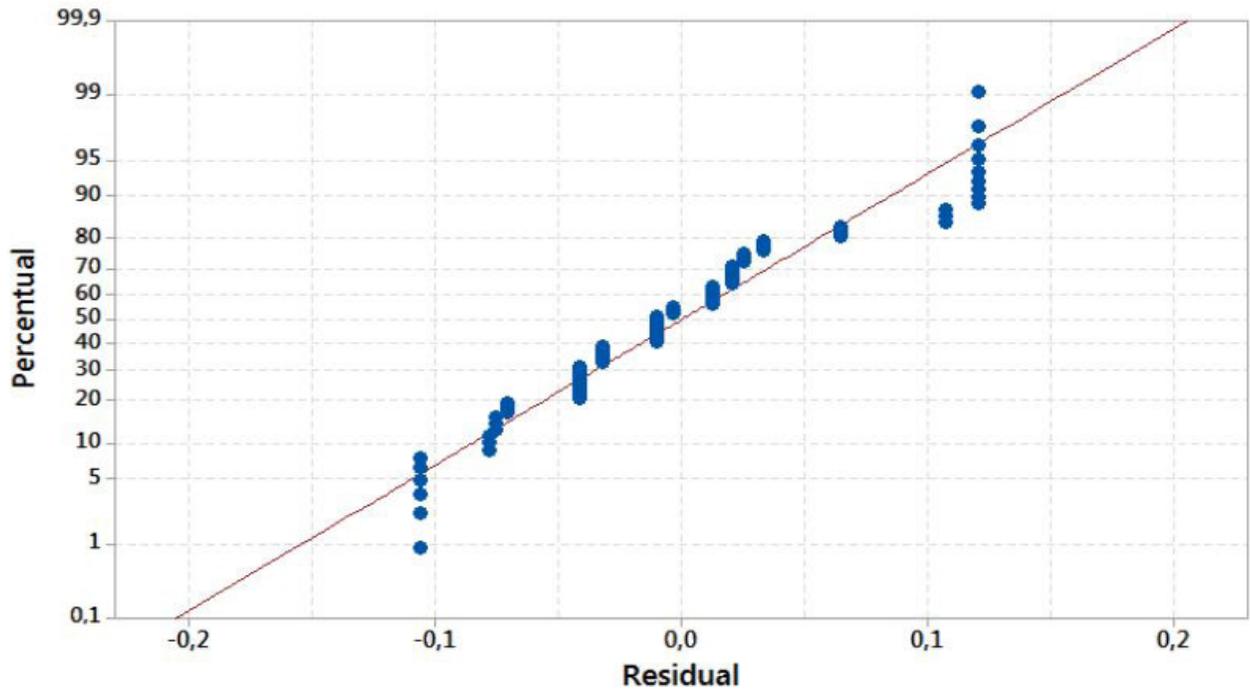


Fonte: Saída do Excel16® (2018)

Peng et. al. (2016) relata que o  $R^2$  é uma técnica simples, rápida e confiável para verificar relações entre variáveis de processos fermentativos, utilizando-a para realizar uma investigação em processo fermentativo do vinho que tem como matéria-prima a maçã. Andrietta et al. (2012) destaca que o rendimento fermentativo está associado à qualidade da matéria-prima, podendo esta ser a pureza dos seus insumos. Por outro lado, Maroun e Rovere (2014) demonstram evidências no processo fermentativo do álcool que começa a apresentar uma elevação das espumas e aumento da Acidez, diminuindo, deste modo, a fermentação ao longo do tempo pelo acúmulo de resíduos e pelo esgotamento dos carboidratos.

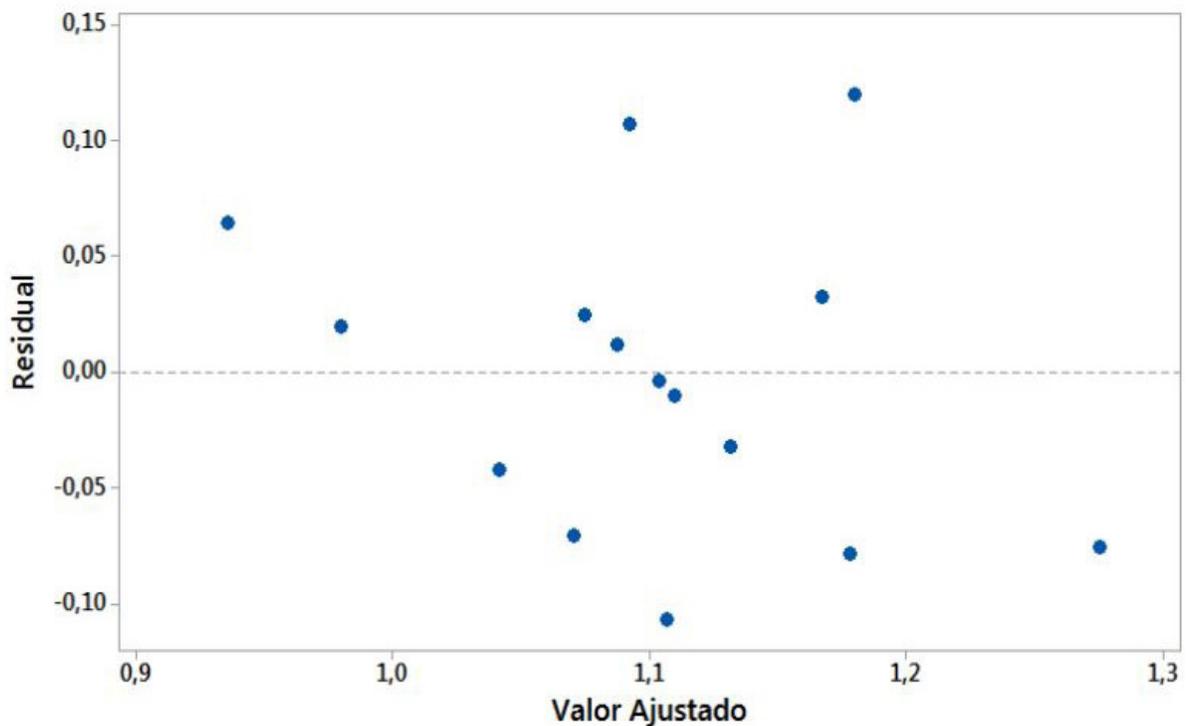
A adequação do modelo ajustado pode ser verificada por meio dos resíduos, exibidos nos gráficos nas Figuras 3 e 4, bem como pelo Gráfico da Análise Residual da Probabilidade Normal e pela Versus Fit. Pois, o Minitab (2017) destaca que tais métodos servem para validar modelos que, possivelmente, seguem uma Distribuição de Probabilidade Normal.

**Figura 3:** Gráfico da Análise Residual da Probabilidade Normal



Fonte: Saída do @Minitab17 (2018)

**Figura 4:** Gráfico da Análise Residual Versus Fits.



Fonte: Saída do Minitab17® (2018)

Gráfico da Análise Residual da Probabilidade Normal - Os pontos do gráfico de probabilidade normal estão seguindo aproximadamente uma linha reta, podendo assumir que os resíduos não se desviam significativamente da distribuição normal.

Versus Fits - A verificação da variância constante não parece ser violada, visto que os resíduos estão aleatoriamente dispersos em torno de zero e têm aproximadamente a mesma dispersão para todos os valores ajustados (Minitab®), um indicativo de que a suposição de homocedasticidade dos resíduos é satisfatória.

As comparações entre as médias das informações adquiridas nas coletas de dados e por análises, foram realizadas por testes da ANOVA, considerando 5% (0,05) como margem de erro, com a finalidade de verificar se o Brix do vinho bruto (°Bx) e as análises de ARRT (IC) apresentavam variação em relação as dornas em estudo. Como pode ser observado nas Tabelas 2 e 3.

**TABLA 2 - TESTE DE ANOVA BRIX DO VINHO BRUTO**

<b>FONTE DE VARIÇÃO</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>F CRITICO</b>
Entre grupos	2,7347	7	0,390671	1,00086	0,438596	2,149653
Dentro dos grupos	26,1525	67	0,390336			
Total	28,8872	74				

Fonte: Saída do Excel16® (2018)

**TABLA 3 - TABELA BRIX DO VINHO BRUTO (°BX)**

<b>GRUPO</b>	<b>CONTAGEM</b>	<b>SOMA</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
<b>DORNA 1</b>	12	15,1	1,258333	0,328106
<b>DORNA 2</b>	6	7,4	1,233333	0,150667
<b>DORNA 3</b>	6	9	1,5	0,396
<b>DORNA 4</b>	6	9	1,5	0,396
<b>DORNA 6</b>	6	10,2	1,7	0,316
<b>DORNA 7</b>	12	13,8	1,15	0,226364
<b>DORNA 8</b>	12	13,6	1,133333	0,300606
<b>DORNA 9</b>	15	23	1,533333	0,746667

Fonte: Saída do Excel16® (2018)

Para estas Tabelas 2 e 3, as hipóteses levantadas foram:

H0: O Brix do Vinho bruto (°Bx) não apresenta variação em relação às Dornas,

H1: O Brix do Vinho bruto (°Bx) apresenta variação em relação a Dornas, pelo P-valor (0,4386), maior que 0,05, não se rejeita a hipótese nula, ou seja, o Brix do Vinho bruto (°Bx) apresenta a mesma variação em cada dorna. A maior variância se concentrou na Dorna 9 (0,746) e o valor médio foi de maior intensidade na Dorna 6 (1,7 °Bx).

Arshad et. al. (2017) em seus experimentos com diferentes níveis de Brix e vazão de ar no processo fermentativo, consegue chegar a uma ótima produção de etanol aos níveis de 40 °Bx e 12,2%, respectivamente.

O mesmo foi feito para a ARRT (IC), como se pode notar nas Tabelas 4 e 5.

Para estas Tabelas 4 e 5, as hipóteses levantadas foram:

H0: O ARRT (IC) não apresenta variação em relação às Dornas,

H1: O ARRT (IC) apresenta variação em relação às Dornas, pelo P-valor (0,50616), maior que 0,05, não se rejeita a hipótese nula, ou seja, ARRT apresenta a mesma variação em relação as Dornas estudadas. A maior variância foi vista na Dorna 8 (1,2) e o maior valor médio também foi dado na mesma Dorna (0,58 IC). Os resultados foram confiáveis em relação à cromatografia iônica, visto que Hashizume e Sasaki (1966) afirmam que esta técnica é relativamente simples e apresenta resultados satisfatórios.

**TABLA 4 - TESTE DE ANOVA ARRT (IC) POR CROMATOGRÁFIA**

<b>GRUPO</b>	<b>CONTAGEM</b>	<b>SOMA</b>	<b>MÉDIA</b>	<b>VARIÂNCIA</b>
<b>DORNA 1</b>	12	1,531326	0,127611	0,024379
<b>DORNA 2</b>	6	1,66907	0,278178	0,243865
<b>DORNA 3</b>	6	0,508039	0,084673	0,014865
<b>DORNA 4</b>	6	0,379337	0,063223	0,00758
<b>DORNA 6</b>	6	1,327763	0,221294	0,084127
<b>DORNA 7</b>	12	1,003945	0,083662	0,019739
<b>DORNA 8</b>	12	7,045411	0,587118	1,207728
<b>DORNA 9</b>	15	5,376874	0,358458	0,725602

Fonte: Saída do Excel16® (2018)

**TABLA 5 - TESTE DE ANOVA ARRT (IC) POR CROMATOGRÁFIA**

<b>FONTE DE VARIÇÃO</b>	<b>SQ</b>	<b>GL</b>	<b>MQ</b>	<b>F</b>	<b>P-VALOR</b>	<b>F CRITICO</b>
Entre grupos	2,434905	7	0,347844	0,907503	0,50616	2,149653
Dentro dos grupos	25,68093	67	0,383297			
Total	28,11583	74				

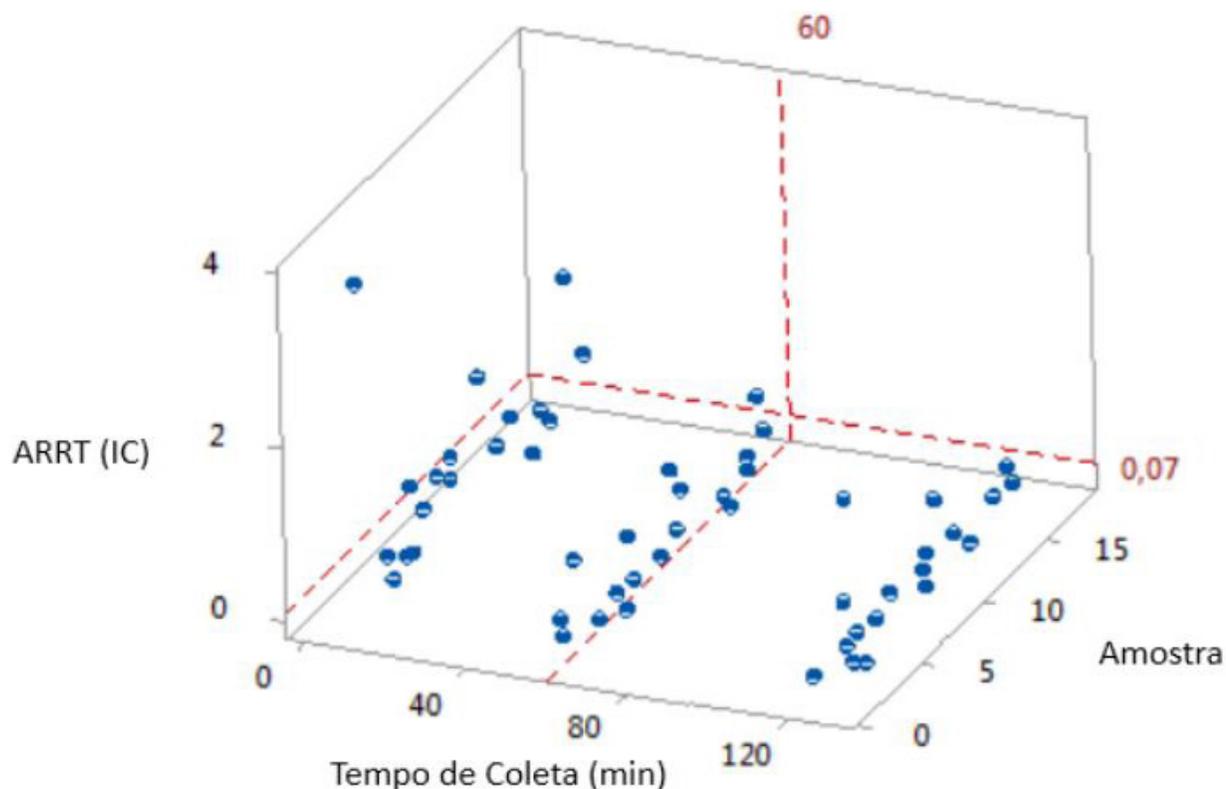
Fonte: Saída do Excel16® (2018)

Visto isso, realizou-se um estudo da viabilidade de redução de tempos das dornas.

## 4.1 ESTUDO DA VIABILIDADE DE REDUÇÃO DE TEMPOS

O Software Minitab17® possibilitou uma análise mais segura dos resultados, facilitando a interpretação dos dados, em relação ao que foi proposto pela pesquisa em análise, cuja visualização gráfica está centrada na Figura 7. As mensurações dos açúcares residuais totais foram efetuadas por meio da cromatografia iônica para descobrir o ARRT e a utilização de cronômetros para revelar os espaços entre as coletas dos dados, a fim de verificar se as amostras estão atendendo o ARRT ( $< 0,07$ ) e a proposta de uma hora a fermentação.

**Figura 5:** Gráfico Dispersão 3D: IC versus Amostra versus Tempo de Coleta



Fonte: Saída do Minitab17® (2018)

Foi possível identificar, que em até 60 minutos de fermentação, o mosto já atingiu condições ideais após o enchimento, conforme apresentado por linha transversal em vermelho que corta o eixo X (Tempo de Coleta), tendo 83,33% das dornas menor ou igual a 0,07 de IC, representado por linha vermelha transversal que corta o eixo Z (ARRT (IC)) valor considerado ideal para a empresa em estudo, tendo uma rejeição de 16,67%, um aproveitamento do tempo ganho em disponibilidade de equipamentos (dornas) ou melhor redistribuição do tempo das etapas de CIP (Cleaning in Place – Limpeza no local), tratamento de fermento e pós-fermentação.

Valsechi (1944) salienta um melhor aproveitamento da capacidade produtiva das instalações quando se tem um processo fermentativo mais rápido, valores estes que chegam a reduzir o tempo de fermentação em até 20%.

Luft et al. (2018) destaca as vantagens em melhorias do processo ao reduzir o tempo de fermentação na indústria cervejeira que pode ser associada a outros tipos de empresas, como aquelas que envolvem a cana-de-açúcar, pois, quando há redução do tempo de fermentação, sem interferência na qualidade e nem nas especificações do produto final, levam às organizações

a terem um processo mais eficaz e robusto.

Uma tentativa de estipular os ganhos reais desta economia de tempo foi proposta para a empresa, no entanto a mesma não disponibilizou os valores dos processos, concordando que os mesmos são estratégicos para ela, não podendo aqui serem expressos.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os resultados dos testes de correlação, análises de regressão linear e ANOVA, identificou-se que não há significativas interferências entre os fatores, e, nem mesmo, expressivas variações das médias dos resultados avaliados.

Por intermédio do gráfico em 3D do Minitab17®, foi possível compreender que 83,33% das Dornas apresentaram quantidade menor ou igual a 0,07 IC de ARRT e apenas 16,67% apresentaram a diminuição após uma hora do enchimento das dornas.

Sendo assim, pode-se certificar que é possível ter um ganho de tempo no processo fermentativo acelerando a passagem para uma nova etapa do processo, obtendo vantagem em disponibilidade de equipamentos (Dornas) ou melhor redistribuição do tempo das etapas de CIP (Cleaning in Place – Limpeza no local), tratamento de fermento e pós-fermentação.

Mesmo com resultados satisfatórios, objetiva-se a realização de novas pesquisas para trabalhos futuros, podendo assim, realizar testes de bancada, simulando o processo fermentativo, encurtando o tempo dessas coletas para melhor detalhamento do consumo dos açúcares em relação ao tempo de espera. Além disso, de poder verificar possíveis reduções de custos com a diminuição dos tempos no processo fermentativo.

## PROPOSAL FOR A FERMENTATION TIME REDUCTION IN TANKS SUGAR/ETHANOL SECTOR

**ABSTRACT:** The general economic crisis in the world has caused organizations to seek alternatives and interventions so that the indicators of the productive process do not decline, both in terms of profitability and in terms of economicity. Thus, the objective of this work is to verify the possibility of reducing the time in the fermentation cycle by analyzing the total residual reducing sugars by ion chromatography, thus seeking greater availability of equipment or better redistribution of the other stages of the fermentation process. A case study was carried out in an alcohol-producing industry. An analysis was carried out observing the production process in the fermentation part, under two techniques: Brix ( $^{\circ}$  Bx) and Ion Chromatography (IC). The results showed that in the correlation tests, in the linear regression analysis and in the ANOVA, there was no interference between the factors of significant form, nor, even, variation of the means of the results evaluated. It was possible to identify, with approximately 60 minutes after the filling, that 83.33% of the tanks have less than or equal to 0.07 CI of ARRT, with a rejection of 16.67%, being able to take advantage of the time gained in availability of equipment (tanks) or better redistribution of the time of the steps of CIP (Cleaning in Place), treatment of yeast and post-fermentation.

**KEYWORDS:** Process Improvement, Alcoholic Fermentation, Ion Chromatography.

Originais recebidos em: 09/07/2018  
Aceito para publicação em: 18/11/2018

## REFERÊNCIAS

ANDRIETTA, R. S. Optimal Industrial Fermentation. BIOEN Workshop on Process for Ethanol Production. 2009. Disponível em: <[http://agencia.fapesp.br/agenda-detalhe/bioen\\_workshop\\_on\\_process\\_for\\_ethanol\\_production/11004/](http://agencia.fapesp.br/agenda-detalhe/bioen_workshop_on_process_for_ethanol_production/11004/)>. Acessado em: 02 de Fevereiro de 2016.

\_\_\_\_\_. ANDRIETTA, G. M. S.; BICUDO, M. H. P. Comparação do rendimento fermentativo utilizando diferentes metodologias de cálculo para a avaliação do desempenho industrial. STAB, 30 (4), pp.41-49, 2012.

ARODUDU, O. T.; HELMING, K.; VOINOV, A.; WIGGERING, H. Integrating agronomic factors into energy efficiency assessment of agro-bioenergy production – A case study of ethanol and biogas production from maize feedstock. Applied energy, 2017.

ARSHAD, M.; HUSSAIN, T.; IQBAL, M.; ABBAS, M. Enhanced ethanol production at commercial scale from molasses using high gravity technology by mutant *S. cerevisiae*. Brazilian Journal of Microbiology, 48 (3), pp. 403-409, 2017.

DANTAS, G. A; CASTRO, N. J; BRANDÃO, R; ROSENTAL, R; LAFRANQUE, A. Prospects for the Brazilian electricity sector in the 2030s: Scenarios and guidelines for its transformation. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 68, pp. 997–1007, 2017.

FRENZEL, W.; MARKEVICIUTE, I. Membrane-based sample preparation for ion chromatography—Techniques, instrumental configurations and applications. Journal of Chromatography A, pp. 1-19, 2017.

HASHIZUME, T.; SASAKI, Y. Gas chromatography of sugar phosphate. Analytical Biochemistry, 15, pp. 346-350, 1966.

KIM, K. CHO, Y. Estimation of power outage costs in the industrial sector of South Korea. Energy Policy, 101, pp. 236-245, 2017.

LUFT, L.; CONFORTIN, T. C.; TODERO, I.; UGALDE, G.; ZABOT, G.; MAZUTTI, M. A. Transformation of residual starch from brewer's spent grain into fermentable sugars using supercritical technology. The Journal of Supercritical Fluids, 140, pp. 85-90, 2018.

MARIN, F. R; MARTHA, G. B; CASSMAN, K. G; GRASSINI. Prospects for Increasing Sugarcane and Bioethanol Production on Existing Crop Area in Brazil. BioScience, 66 (4), pp. 307-316, 2016.

MAROUN, M. R.; ROVERE, E. L. Ethanol and food production by family smallholdings in rural Brazil: Economic and socio-environmental analysis of micro distilleries in the State of Rio Grande do Sul. Biomass and Bioenergy, 63, pp. 140-155, 2014.

MASSON, I. S.; COSTA, G. H. G.; ROVIERO, J. P.; FREITA, L. A. MUTTON, M. A.; MUTTON, M. J. R. Bioethanol production from sweet sorghum broth and sugar cane fermentation. Ciência Rural, Santa Maria, 2015.

MENEZES, A. G. T.; BATISTA, N. N.; RAMOS, C. L.; SILVA, A. R. A.; EFRAIM, P.; PINHEIRO, A. C. M.; SCHWAN, R. F. Investigation of chocolate produced from four different Brazilian varieties

- of cocoa (*Theobroma cacao* L.) inoculated with *Saccharomyces cerevisiae*. *Food Research International*, pp. 83–90, 2016.
- MINITAB® STATISTICAL SOFTWARE, versão 17, 2017. <http://www.minitab.com>.
- MITRA, R.; BALACHANDAR, G.; SINGH, V.; SINHA, P.; DAS, D. Improvement in energy recovery by dark fermentative biohydrogen followed by biobutanol production process using obligate anaerobes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 21, pp. 1-13, 2017.
- MITRA, S.; SUN, L.; GROSSMANN, I. E. Optimal scheduling of industrial combined heat and power plants under time-sensitive electricity prices. *Energy*, 54, pp. 194–211, 2013.
- MONTGOMERY, D. C. *Design and Analysis of Experiment* (7th Ed). New York: John Wiley & Sons Inc. 2009.
- NARAZAKI, Y.; NOMURA, Y.; MORITA, K.; SHIMIZU, H.; MATSUDA, F. Expression of *Saccharomyces cerevisiae* cDNAs to enhance the growth of non-ethanol-producing *S. cerevisiae* strains lacking pyruvate decarboxylases. *Journal of Bioscience and Bioengineering – In Press*, pp. 1-5, 2018.
- PENG, B.; GE, N.; LU CUI, L.; ZHAO, H. Monitoring of alcohol strength and titratable acidity of apple wine during fermentation using near-infrared spectroscopy. *LWT - Food Science and Technology*, 66, pp. 86-92, 2016.
- ROSS, E. E.; HOAG, C.; PFEIFER, Z.; LUNDEEN, C.; OWENS, S. Metal ion binding to phospholipid bilayers evaluated by microaffinity chromatography. *Journal of Chromatography A*, pp. 75–82, 2016.
- ROY, P; DUTTA, A; DEEN, B. Greenhouse gas emissions and production cost of ethanol produced from biosyngas fermentation process. *Bioresource Technology*, 192, pp. 185-191, 2015.
- SOROL, N.; ARANCIBIA, E.; BORTOLATO, S. A.; OLIVIERI, A. C. Visible/near infrared-partial least-squares analysis of Brix in sugar cane juice: A test field for variable selection methods. *Chemometrics and Intelligent laboratory Systems*, 102, pp. 100-109, 2010.
- USDA - United States Department of Agriculture. *Commodities and Production*, 2018.
- VALSECHI, O. O processo melle-boinot de fermentação na sociedade de usinas de açúcar brasileira, de Piracicaba. *An. Esc. Super. Agric. Luiz de Queiroz*, vol.1, Piracicaba, 1944. <http://dx.doi.org/10.1590/S0071-12761944000100007>.
- VASCONCELOS, J. N. Chapter 15 – Ethanol Fermentation. *Sugarcane*, pp. 311–340, 2015.
- VERMA, P.; SHARMA, M. P. Comparative analysis of effect of methanol and ethanol on *Karanja* biodiesel production and its optimisation. *Fuel*, 180, pp. 164-174, 2016.
- ZHONG, S.; SHI, G.; ZHANG, Y.; LU, L.; LEVY, D.; ZHONG, A. Alteration of BRCA1 expression affects alcohol-induced transcription of RNA Pol III-dependent genes. *Gene*, 556, pp. 74-79, 2015.