



**GIRLEIA NABATE SOUZA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO  
PROCESSO DE MATURAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL  
DO TIPO PILSENER COM ADIÇÃO DE POLPA DE  
CUPUAÇU DESIDRATADO**

**GIRLEIA NABATE SOUZA**

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO  
PROCESSO DE MATURAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL  
DO TIPO PILSENER COM ADIÇÃO DE POLPA DE  
CUPUAÇU DESIDRATADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Colegiado de Curso da Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Vélez

São Luís  
2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

Nabate Souza, Girleia.

ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO PROCESSO DE  
MATURAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL DO TIPO PILSENER COM ADIÇÃO  
DE POLPA DE CUPUAÇU DESIDRATADO / Girleia Nabate Souza. -  
2019.

44 f.

Orientador(a): Harvey Alexander Villa Vélez.  
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Química,  
Universidade Federal do Maranhão, UFMA, 2019.

1. Cerveja artesanal. 2. Propriedade reológica. 3.  
Viscosidade aparente. I. Villa Vélez, Harvey Alexander.  
II. Título.

**BANCA EXAMINADORA:**

Prof. Dr. Harvey Alexander Villa Vélez  
Orientador – COEQ/CCET/UFMA

Engenheiro Químico Marcus José Figueiredo dos Santos  
CERVEJARIA CATIRINA

Prof. Dr. Romildo Martins Sampaio  
COEQ/CCET/UFMA

**19 de novembro de 2019**

**DADOS CURRICULARES****Girleia Nabate Souza**

**NASCIMENTO** 26/11/1991 – SANTA INÊS / MA

**FILIAÇÃO** Gilmar Ferreira Souza  
Dulcileia Nabate Souza

**2012/2019** Curso de Graduação  
Engenharia Química - Universidade Federal do Maranhão

Dedico este trabalho aos meus pais, Gilmar e Dulcileia, aos meus irmãos Richard e Girlaine e a minha sobrinha Alice que são a razão de eu ter continuado até o fim.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela saúde, força e ânimo para superar as dificuldades e permitir alcançar esta etapa tão importante da minha vida.

À minha família, especialmente aos meus pais e meus irmãos por toda dedicação e paciência colaborando para que eu tivesse um caminho mais fácil e prazeroso durante todo esse tempo.

Agradeço também à minha tia Jeane que me deu incentivo e os meios necessários para correr atrás do meu sonho.

Agradeço aos professores que sempre estão dispostos a ajudar em especial ao meu professor e orientador Dr. Harvey Alexander Villa Velez pela oportunidade e por me ajudar no desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores Audirene e Wendell, pelo empenho, disposição e ensinamentos que excedem ao dos livros. Ao professor Dr. Romildo Martins Sampaio, integrante da banca examinadora, pelas pontuais observações e sugestões apresentadas.

As amigas que fui agraciada como verdadeiros presentes no decorrer dessa jornada as quais tenho infinito respeito, carinho e admiração: Ana Cristina, Larissa Nunes e Nariële.

A Mayra e demais colaboradores da CAEMA, pelos ensinamentos e pela chance de crescimento profissional.

Aos amigos e primos pela compreensão e pelos momentos partilhados.

Ao engenheiro químico Marcus José, proprietário da Cervejaria Catirina pela generosidade ao contribuir de forma significativa para realização deste trabalho.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que estiveram ao meu lado, me ajudando de forma direta ou indiretamente durante essa etapa da minha vida.

Obrigada!

“Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo  
para todo o propósito debaixo do céu...”

*Eclesiastes 3:1*



SOUZA, Girleia Nabate. **Estudo do comportamento reológico do processo de maturação de cerveja artesanal do tipo pilsener com adição e polpa de cupuaçu desidratado.** 2019. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

## RESUMO

Basicamente a produção de cerveja consiste na fermentação alcoólica do mosto, proveniente do malte e água potável, por atividade da levedura, com acréscimo de lúpulo. Cada etapa possui qualidades que proporcionam diferentes tipos de cerveja de acordo com o que se pretende produzir. Intitulada como obra inovadora no Brasil no início do século XXI, a cerveja artesanal vem ganhando destaque no mercado devido a seu modo de produção, e por apresentar aromas característicos que agradam públicos mais sofisticados e adeptos da arte de produzir cerveja. Este trabalho tem como objetivo estudar o comportamento reológico no processo de fabricação da cerveja na etapa de maturação com adição de frutos desidratados e lúpulo. Para esse fim, observou-se o comportamento reológico da cerveja *in natura* e com a adição de fruto seco à temperatura ambiente e meio aeróbico. As amostras de cerveja foram submetidas ao teste de determinação da viscosidade aparente com o viscosímetro rotacional Brookfield, com uso de taxa de deformação no intervalo de 0,167 a 3,333 s<sup>-1</sup>. Os dados experimentais das viscosidades aparentes foram ajustados pelo modelo de Ostwald-de-Waele, revelando comportamento não-Newtoniano do tipo pseudoplástico ( $\eta < 1$ ), com coeficientes de determinação superiores a 0,924. Foi feito também uma análise do pH da cerveja, e com a adição de cupuaçu na maturação da bebida houve uma diminuição deste parâmetro.

**Palavras-chave:** Cerveja artesanal. Propriedade reológica. Viscosidade aparente. Cupuaçu.

SOUZA, Girleia Nabate. **Study of the rheological behavior of the maturation process of pilsener type beer with addition and dehydrated cupuaçu pulp.** 2019. 44 f. Graduate Work (Graduate in Chemical Engineering) - Curso de Engenharia Química do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2019.

### ABSTRACT

Basically the production of beer consists of the alcoholic fermentation of the must, coming from malt and drinking water, by the activity of the yeast, with addition of hops. Each stage has qualities that provide different types of beer according to what is intended to produce. Entitled as an innovative work in Brazil at the beginning of the 21st century, craft beer has been gaining prominence in the market due to its mode of production, and to presenting characteristic aromas that pleasure to more sophisticated audiences and fans of the art of brewing beer. This work has as objective to study the rheological behavior in the brewing process in the imbibition stage with addition of dehydrated fruits and hops. For this purpose, it was observed the rheological behavior of the beer in natura and the addition of dry fruits at room temperature and aerobic medium were observed. The beer samples were subjected to the Brookfield Rotational Viscosity Apparent Viscosity Test using a shear rate in the range of 0,167 to 3.33 s<sup>-1</sup>. Experimental data of the apparent viscosities were adjusted by the Ostwald-de-Waele model, showing non-Newtonian behavior of the pseudoplastic type ( $n < 1$ ), with coefficients of determination higher than 0,924. It was also made a pH analysis of the beer, and with the addition of cupuaçu in the maturation of the drink there was a decrease of this parameter.

**Key-words:** Craft beer. Rheological property. Apparent Viscosity. Cupuaçu.

**LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Cisalhamento simples entre placas paralelas. ....	08
Figura 2 – Comparação de fluidos Newtonianos.....	10
Figura 3 – Classificação dos fluidos de acordo com seu comportamento reológico.....	11
Figura 4 – Comportamento reológico dos fluidos independentes do tempo .....	12
Figura 5 – Viscosidade aparente versus taxa de deformação da cerveja artesanal com 5% de polpa .....	17
Figura 6 – Viscosidade aparente versus taxa de deformação da cerveja artesanal com 10% de polpa .....	17
Figura 7 – Viscosidade aparente versus taxa de deformação da cerveja comercial com 5% de polpa .....	18
Figura 8 – Viscosidade aparente versus taxa de deformação da cerveja comercial com 10% de polpa .....	18
Figura 9 – Variação do pH nas amostras de cerveja em função do tempo de maturação .....	22

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Modelos, equações e parâmetros reológicos para fluidos não-Newtonianos que não dependem do tempo.....	13
Tabela 2 – Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) para as cervejas antes de adicionar a polpa.....	20
Tabela 3 – Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) para as cervejas depois da adição da polpa.....	20

## SUMÁRIO

BANCA EXAMINADORA .....	II
DADOS CURRICULARES .....	III
DEDICATÓRIA .....	IV
AGRADECIMENTOS .....	V
RESUMO .....	VII
ABSTRACT .....	VIII
LISTA DE FIGURA .....	IX
LISTA DE TABELA .....	X
SUMÁRIO .....	XI
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2 OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivo Geral .....	3
2.2 Objetivos Específicos .....	3
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
3.1 A cerveja artesanal.....	4
3.1.1 Processos na elaboração da cerveja artesanal .....	4
3.2 Matéria-Prima.....	6
3.2.1 Cultivo dos frutos do cerrado .....	7
3.3 Reologia.....	7
3.3.1 Definições e propriedades dos fluidos.....	8
3.3.2 Classificação dos fluidos .....	10
3.3.2.1 Fluido Newtoniano .....	10
3.3.2.1 Fluido não- Newtoniano .....	10
3.3.3 Modelos utilizados para descrição do comportamento reológico de fluidos não-Newtonianos .....	12
3.3.4 Reologia e viscosidade .....	14
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>15</b>
4.1 Materiais .....	15
4.1.1 Lista de equipamentos .....	15
4.2 Metodologia .....	15
4.2.1 Preparação das amostras.....	15

4.2.2 Análise reológica .....	15
4.2.3 Modelagem matemática.....	16
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>17</b>
5.1 Comportamento reológico .....	17
5.2 Ajuste do modelo reológico.....	19
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>23</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>24</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cerveja é a bebida alcoólica mais antiga consumida pelo homem. Acredita-se que o consumo de bebidas fermentadas teve início em torno de 30 mil anos atrás, e a produção da cerveja começou por volta de 8000 A.C., juntamente aos processos fermentativos de cereais (MEGA et al., 2011).

O mecanismo de fabricação dependia principalmente da prática e tradição do cervejeiro (SALGADO, 2009), e começou a melhorar a partir do século VII quando os frades passam a incluir diversas espécies de ervas, o que resultou na adição de lúpulo no século XI.

Somente em 1808 com a vinda da família real portuguesa ao Brasil o setor cervejeiro surgiu no país (MEGA et al., 2011), tendo como pioneiros os imigrantes europeus situados naquela sociedade escravista, os quais tiveram a atitude de formar uma estreita produção de mercadorias, produzindo a base da industrialização do Brasil (LIMBERGER, 2013).

Apesar de a cerveja ser a bebida alcoólica mais consumida no Brasil, e o país ocupar a terceira colocação de maior produtor de cerveja do mundo, ficando atrás somente da China e dos Estados Unidos, ainda existe um amplo espaço entre o potencial produtivo/consumidor de cervejas industriais e artesanais (SEBRAE, 2014).

As cervejas artesanais brasileiras tiveram como referência às dos Estados Unidos, onde o produto se desenvolveu a partir dos anos 70 (HINDY, 2014) e responde por 10,2% do total de cervejas vendidas (ANTUNES, 2015). São fabricadas através de formulações ou técnicas distintas das utilizadas em escala industrial. Sua produção em baixa escala proporciona produtos diferenciados aos consumidores, que estão mais exigentes com o cuidado na escolha da matéria-prima (TOZETTO, 2017).

A utilização de frutas na fabricação dessas cervejas é um método inovador. Assegura uma doçura residual, aroma, sabor cítrico e característico, aumenta a peculiaridade, através de uma vasta gama de compostos aromáticos (KUNZE, 2006).

Além de oferecer um produto inovador, as frutas como adjunto cervejeiro ajudam na fermentação alcoólica porque fornecem açúcares para as leveduras.

As frutas tropicais se ajustam às mais distintas condições de solo, clima e altitude e são melhores desenvolvidas e produzidas em altas temperaturas (MORAIS et al., 2006).

Na indústria alimentícia, a temperatura influencia diretamente nas características físicas da polpa, principalmente na viscosidade. Nesse sentido, um aumento de temperatura eleva a energia de ativação, diminuindo a viscosidade aparente tornando o escoamento mais rápido (PEREIRA; QUEIROZ; FIGUEIREDO, 2003).

Para a reologia, a viscosidade aparente do fluido sofre variações a depender da temperatura. Nesse contexto, é relevante o conhecimento sobre as características reológicas das polpas de frutas necessárias para seu processo industrial.

A reologia estuda o comportamento de um material quando submetido a uma tensão ou deformação externa (TOLEDO, 1991). Portanto, o estudo reológico para a indústria de alimentos é necessário na definição de cálculo de vazões, seleção de bombas, determinação de perda de carga em tubulações, operações unitárias como evaporação e esterilização, determinação da funcionalidade de um ingrediente no desenvolvimento de um produto, testes de vida-de-prateleira e avaliação da textura dos alimentos para correlacioná-la à análise sensorial (HOLDSWORTH, 1993).



## **2 OBJETIVOS**

A cerveja artesanal é um produto de alta qualidade que faz uso de formulações um tanto diferenciadas do processo produtivo em escala industrial (TSCHOPE, 2001). A utilização de frutas no processo de fabricação vem demonstrando crescimento no mercado mundial por proporcionar características regionais utilizando frutas típicas de cada região tornando o produto inovador e promissor (FERNANDES, 2017).

Por sua vez, a reologia tem como finalidade estudar o comportamento mecânico, as deformações e o escoamento dos materiais. Na área de alimentos, a reologia possui um papel importante não somente no controle de qualidade, e nas mudanças físico-químicas que acontecem durante o processamento e armazenamento (ALVARADO; AGUILERA, 2001). É útil também para o dimensionamento de sistemas de tubulação, trocadores de calor, filtros, bombas, sistemas de agitação e mistura, que antecedem a chegada dos produtos ao consumidor (VIDAL, 2000).

### **2.1 Objetivo geral**

Estudar o comportamento reológico no processo de fabricação da cerveja na etapa de maturação com adição de polpa de cupuaçu desidratado.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Elaborar formulações de cervejas com adição de polpa de cupuaçu;
- Analisar o pH na cerveja produzida adicionada de frutos desidratados;
- Determinar a viscosidade aparente no processo de maturação da cerveja com adição de fruto desidratado de cupuaçu;
- Modelar o comportamento reológico do processo de maturação da cerveja adicionado com polpa desidratada de cupuaçu.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 A cerveja artesanal

Caracterizada como um produto de excelente qualidade e de elevado valor comercial, a cerveja artesanal vem ganhando destaque no comércio devido sua variação de sabores e aromas. Sua diferenciação é resultado da qualidade sensorial diferenciada e das técnicas utilizadas na produção, diferentes às de escala industrial (PINTO, 2015; FERREIRA; BENKA, 2014).

A água, o malte, o lúpulo e a levedura são ingredientes básicos tanto no processo industrial como artesanal, a diferença é que na produção da cerveja artesanal a fermentação e maturação acontecem naturalmente sem utilização de elementos para apressar o desenvolvimento do processo (EDELBRAU, 2012).

Soares (2011) afirma que as diversas formulações de cervejas no mundo deve-se à mudança no método de produção da bebida, em diferentes fases, tais como variações de tempos e temperaturas usadas na fermentação, maturação ou a utilização de diferentes ingredientes como mel, mandioca, milho, arroz e frutas entre outros.

Além de nutrientes fundamentais, os frutos são ricos em micronutrientes como fibras, vitaminas, minerais e compostos de natureza fenólica chamados polifenóis (SEGTOVIC et al., 2013). Os compostos fenólicos presentes na cerveja relacionam-se com a característica físico-química e sensorial (sabor, aroma, cor), conservação da cerveja e estabilidade coloidal, e contribuem de forma favorável na saúde humana, colaborando na prevenção de doenças cardiovasculares e inflamações (CALLEMIEN; COLLIN, 2009), além de atuar no metabolismo com ação anticarcinogênicas e antitrombóticas (FURLONG et al., 2003).

##### 3.1.1 PROCESSOS NA ELABORAÇÃO DA CERVEJA ARTESANAL

Sabendo que a água, o malte, o lúpulo e a levedura são os quatro principais ingredientes para produção de cerveja, a seguir é mostrado uma breve descrição de seu processamento industrial. Suas etapas de elaboração são divididas em: moagem do malte; mosturação; filtração; fervura; tratamento do mosto; fermentação; maturação e clarificação (ALMEIDA; SILVA, 2005).

Inicialmente os grãos são moídos com a finalidade de expor o amido existente no seu endosperma. Através da moagem há um aumento na superfície de contato com as enzimas do

malte, o que facilita a hidrólise. Esta etapa está ligada diretamente com a velocidade das mudanças físico-químicas, rendimento, fermentação e característica final da bebida (DRAGONE; ALMEIDA; SILVA, 2010). É um processo realizado em equipamentos do tipo moinhos de rolos, discos ou martelos.

A mosturação consiste na mistura do malte moído com a água, em tinas com temperaturas e tempo controlados. A solução final da mosturação é definida como mosto cervejeiro que é o resultado da soma de componentes presentes na degradação enzimática da matéria-prima que constituem o mosto (CARVALHO, 2007; SANTOS; RIBEIRO, 2005).

A função da filtração é separar a parte sólida e a parte líquida, chamadas de bagaço de malte e mosto cervejeiro, respectivamente (BLEIER et al., 2013). Com a filtração do mosto e sua transferência para o tanque de fervura, é acrescentado mais água para que o açúcar residual existente no bagaço seja aproveitado.

A fervura do mosto é feita com a finalidade de eliminar bactérias e demais microrganismos. Nessa etapa é feita a adição do lúpulo, responsável pelo amargor, aroma e sabor característico da cerveja. Geralmente esse processo de fervura efetiva dura em torno de 80 minutos com meia hora para o aquecimento do líquido (PAPAZIAN, 2015).

Em seguida o mosto é bombeado para outro tanque e fica em repouso em torno de trinta minutos para que haja decantação do restante de proteína desnaturada na fervura (MORADO, 2009).

A fermentação começa com a inoculação da levedura. É nessa fase que o fermento consome o açúcar presente no mosto e libera CO<sub>2</sub> e calor (SANTOS, 2008).

Após retirar o fermento, a temperatura do fermentador é reduzida começando assim a etapa de maturação que pode ter duração de no mínimo 72h (TOZETTO, 2017). No caso de cervejas com grande teor alcoólico essa etapa pode durar meses ou até anos.

A maturação tem como função harmonizar os sabores e aromas da cerveja. É considerada por muitos cervejeiros como etapa de acabamento (MORADO, 2009), onde ocorre a precipitação da levedura, mudança no aspecto visual da bebida e a eliminação dos off-flavors. Por último, a bebida é preparada para o envase e rotulada.

### 3.2 Matéria-prima

A utilização de diferentes matérias-primas na fabricação das cervejas garante características essenciais para a conquista do mercado consumidor. Além de melhorar a qualidade físico-química e sensorial, o uso de diferentes materiais pode proporcionar também menor custo na produção. O melhoramento e o avanço da tecnologia cervejeira, permite que a bebida, por mais que seja antiga, sobreviva e evolua, tornando-se uma bebida mais popular do mundo. Sua característica final está diretamente ligada com a quantidade de matéria-prima utilizada, sua proporção, grau de maltagem do cereal, temperatura, tipo de fermentação, duração de todas as etapas, formas de armazenamento e envase da bebida (MORADO, 2009).

A água é o principal constituinte da cerveja. Segundo Hough (1990), ela constitui 95% do peso da cerveja e para cada litro de cerveja produzida, são utilizados de 5 a 20 litros de água, considerando o volume utilizado diretamente na sua produção.

O malte é um grão obtido da cevada. A transformação da cevada em malte acontece a partir do acondicionamento do grão em silos com umidade e temperaturas ideais para germinação, sendo interrompido quando o grão começar a desenvolver uma nova planta (DRAGONE; SILVA, 2010). É um produto rico em açúcar com influência direta nas características da cerveja, conferindo a bebida o sabor representativo, cor e aroma (REINOLD, 2010).

O lúpulo é a terceira matéria-prima na fabricação da bebida. Suas principais funções são conferir sabor, aroma e estabilizar a formação de espuma. O lúpulo não altera o teor alcoólico, mas é ele que diferencia uma cerveja da outra possibilitando que cada mestre cervejeiro defina a que está de acordo com o seu paladar ou exigência do mercado (MORADO, 2009).

A levedura é um fungo microscópico que converte o açúcar do mosto basicamente em álcool e dióxido de carbono complementando o sabor e a textura da bebida (JACKSON, 2010). Existem dois tipos de levedura cervejeira, a *Saccharomyces cerevisiae* (Ale) e a *Saccharomyces Pasteurianus* (Lager). As leveduras (cepas Ale) usadas nas cervejas de alta fermentação são ativas em temperaturas de 8°C a 25°C e após fermentar o mosto flutuam. Por outro lado, as leveduras usadas nas cervejas de baixa fermentação são ativas em temperaturas entre 18°C e 25°C, o levedo (cepas Lager) deposita-se na parte de baixo do tanque (SINDICERV, 2011).

### 3.2.1 CULTIVO DOS FRUTOS DO CERRADO

A utilização de frutos de origem tropical na produção de cerveja ganha destaque devido a influência das condições de produção na qualidade tecnológica e aceitação do produto, assim como o progresso da fruticultura no Brasil (PINTO et al, 2015).

As frutas do cerrado possuem propriedades sensoriais bastante apreciadas pelas pessoas. São frutos capazes de fornecer uma dieta variada e nutrientes fundamentais à manutenção do corpo (CARDOSO, 2011). O cupuaçu é um exemplo de fruto típico do cerrado.

O cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum) é uma das principais plantas da Amazônia por causa do aumento da procura pela polpa e pela sua participação na composição dos sistemas de produção, cultivados e extrativos (ROCHA NETO; FIGUERÊDO; SOUZA, 1997). O cupuaçu é uma drupácea, elipsoidea ou oblonga, com comprimento entre 12 e 25 cm e diâmetro de 10 a 12 cm, pesando de 500 a 2500 g. A parte mais utilizada da polpa é chamada de endocarpo tem um sabor ácido e aroma intenso (SOUZA; PIMENTEL, 1999).

### 3.3 REOLOGIA

Apesar da reologia ser conhecida por Newton e Hooke no século XVII, somente no início do século XX que o comportamento de materiais industriais começou a ser do interesse da física, mecânica e matemática (TANNER, 1988).

Ainda no século XX, o químico E. C. Bingham definiu a palavra reologia como sendo o estudo da deformação e fluxo da matéria (BLAIR, 1969; BARNES et al., 1989), cuja definição vem do gregos rheo = deformação e logia = ciência ou estudo. Logo, reologia é a ciência do escoamento e deformação da matéria quando submetida a estímulos ocasionados por forças externas (VLIET; LYKLEMA, 2005).

Blair (1969) afirmou que a deformação de um material está dividida em duas formas: deformação espontânea e reversível, conhecidas como elasticidade; e deformação irreversível conhecida como fluxo ou escoamento.

Os corpos podem ser classificados como sólidos ou fluidos. São materiais que apresentam diversos comportamentos quando submetidos a um esforço. A taxa de deformação de um fluido é diretamente proporcional à sua viscosidade, e a taxa de deformação dos sólidos é proporcional a tensão utilizada, ou seja, quando expostos a uma determinada força externa, voltam a seu estado e tamanho original após a retirada dessa força (BIRD et al., 1977).

A análise dos líquidos é baseada na viscosidade, no comportamento do escoamento do fluido quando submetido a tensão de cisalhamento (BENNET; MEYERS, 1982 apud SHIROMA, 2012). Portanto, a deformação elástica é o fator relevante na reologia dos sólidos, enquanto que na reologia dos fluidos o de maior relevância deve ser a viscosidade (DIAZ et al., 2004).

A viscosidade do material fluido é influenciada diretamente por fatores independentes como temperatura, natureza físico- química, pressão, taxa de cisalhamento, tempo e comportamento elétrico (CASTRO; COVAS; DIOGO, 2001).

Na indústria alimentícia, é fundamental a compreensão da reologia para o desenvolvimento, aperfeiçoamento e qualidade do produto final. Compreender as propriedades reológicas dos alimentos são fundamentais para (STEFFE, 1996):

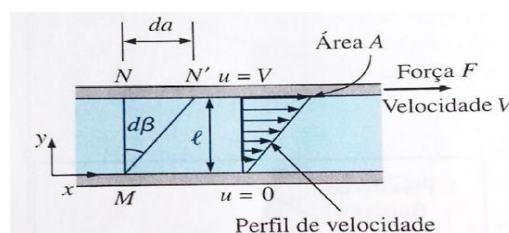
- Projetar e calcular equipamentos como bombas, tubulações, agitadores, viscosímetros, trocadores de calor, extrusoras, homogeneizadores, etc;
- Controle da qualidade do produto nas fases intermediárias e final;
- Avaliação do prazo de validade de um determinado produto alimentício.

### 3.3.1 DEFINIÇÕES E PROPRIEDADES DOS FLUIDOS

Em um escoamento ocorre uma deformação no fluido. Isso acontece devido ao deslocamento das partículas do fluido às suas adjacências. Sendo assim, os escoamentos são classificados em: de cisalhamento ou extensional (COSTA, 2016).

A tensão de cisalhamento é a tensão que atua tangencialmente ao fluxo do fluido e a taxa de deformação. A Figura 1 mostra a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação de uma camada fina de fluido presente entre duas placas. Uma força “F” é aplicada na placa superior movimentando-a a uma velocidade constante, enquanto a parte inferior permanece fixa (ÇENGEL; CIMBALA, 2012).

**Figura 1** - Cisalhamento simples entre placas paralelas.



Fonte: Çengel; Cimbala, (2012).

Em estado estacionário, o fluido submetido a uma força “F” produz uma tensão de cisalhamento resultante da aderência do fluido entre as camadas do fluido e as paredes da placa. A Equação 1 expressa a formulação matemática do conceito de tensão quando esta força atua em uma área estabelecida.

$$\tau = \frac{F(\text{força})}{A(\text{área})} \quad (1)$$

Durante o escoamento do fluido entre as placas acontece uma variação na velocidade do fluxo causada pela tensão de cisalhamento, de modo que essa velocidade será máxima na placa superior, chegando a ser nula na placa inferior. O gradiente de velocidade do fluido representa a variação da velocidade no espaço vertical entre as placas, chamado de taxa de deformação ou taxa de cisalhamento (equação 2) (ÇENGEL; CIMBALA, 2012).

$$\gamma = \frac{du}{dy} \quad (2)$$

onde  $\gamma$  corresponde a taxa de deformação e  $\frac{du}{dy}$  ao gradiente de velocidade.

Machado (2002) afirma que o comportamento reológico dos fluidos viscosos é definido pela variação da tensão cisalhante em função da taxa de deformação. A classificação desses fluidos pode ser feita como Newtonianos e não-Newtonianos. Os fluidos Newtonianos são conhecidos pela proporcionalidade existente entre a tensão cisalhante e a taxa de deformação em regime laminar (DUARTE, 2004).

A Equação 3 mostra a expressão matemática para os fluidos Newtonianos:

$$\tau = \mu\gamma \quad (3)$$

onde  $\tau$  é a tensão cisalhante,  $\mu$  é a viscosidade dinâmica e  $\gamma$  é a taxa de deformação.

Diferente dos fluidos Newtonianos, os fluidos não-Newtonianos apresentam em escoamento laminar uma inconstância na relação entre a tensão cisalhante e a taxa de deformação. A viscosidade equivalente a esse tipo de fluido é conhecida como viscosidade aparente (DUARTE, 2004).

### 3.3.2 CLASSIFICAÇÃO DOS FLUIDOS

#### 3.3.2.1 Fluido Newtoniano

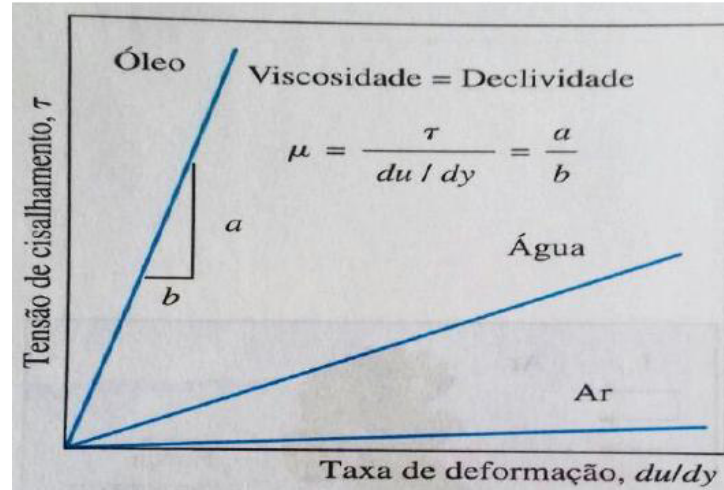
Tanner (1988) afirmou que a viscosidade absoluta dos fluidos Newtonianos não se altera com o crescimento da taxa ou tensão de cisalhamento. A curva de escoamento desse fluido é uma reta, que passa pela origem, de inclinação constante. Dessa forma, apenas um ensaio que mede uma das propriedades reológicas é suficiente para determinar seu comportamento (VLIET; LYKLEMA, 2005). Água, óleo mineral, ar, meloço, glicerina, etc, são exemplos de fluidos newtonianos.

A equação 4 mostra a relação linear que existe entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (4)$$

A Figura 2 mostra a representação gráfica de um fluido Newtoniano.

**Figura 2** - Comparação de fluidos Newtonianos.



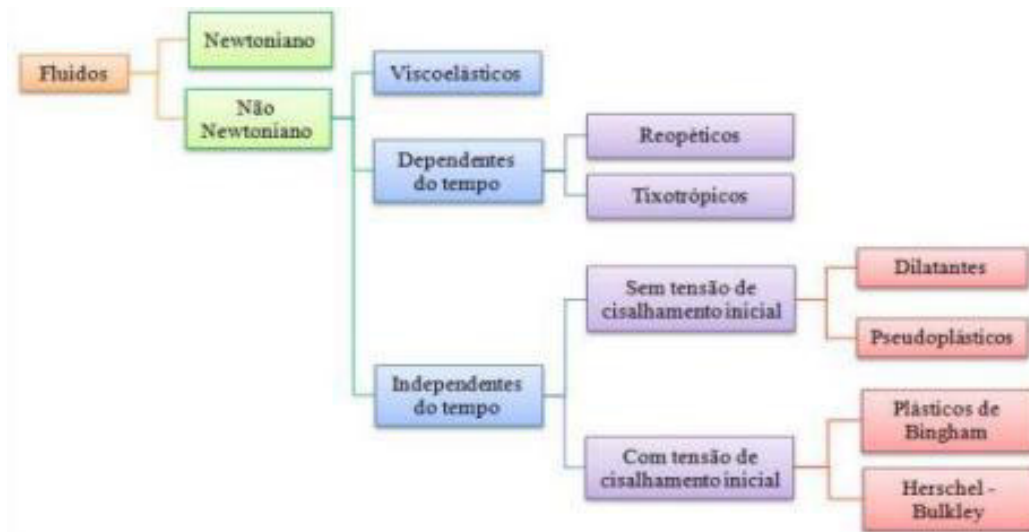
Fonte: Çengel; Cimbala, (2012).

#### 3.3.2.2 Fluido não-Newtoniano

Vliet e Lyklema (2005) classificam como não-Newtoniano, fluidos que não apresentam linearidade na relação entre tensão e taxa de deformação. Sendo assim, sua viscosidade, é alcançada para as diferentes taxas de cisalhamento em questão. De acordo com seu comportamento eles podem ser divididos em fluidos independentes do tempo, dependentes do tempo e viscoelásticos, mostrados na Figura 3.



**Figura 3-** Classificação dos fluidos de acordo com seu comportamento reológico.



**Fonte:** Fonte: Brodkey (1967).

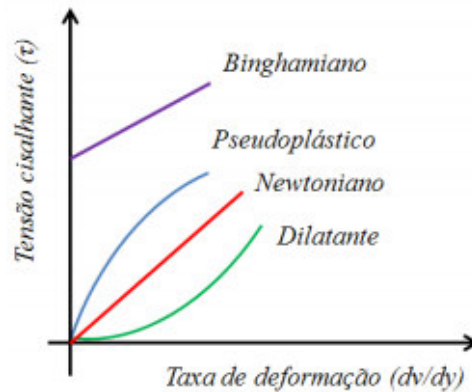
O fluido não-Newtoniano é analisado em termos de viscosidade aparente (equação 5), e varia de acordo com a magnitude da taxa de deformação do fluido:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (5)$$

Onde  $\mu_a$  é a viscosidade aparente (Pa·s);  $\tau$  é a tensão de cisalhamento (Pa);  $\dot{\gamma}$  é a taxa de deformação (s<sup>-1</sup>).

Modelos onde a viscosidade aparente aumenta com a taxa de deformação não são comum em alimentos. No entanto, existem fluidos que com o aumento da taxa de deformação há uma diminuição da viscosidade aparente, denominados de fluidos pseudoplásticos. Os do tipo Bingham são fluidos que agem como sólido, porém se deformam quando a tensão de cisalhamento excede o limite de carga (ÇENGEL; CIMBALA; SHIROMA, 2012). A Figura 4 representa a variação do comportamento reológico dos materiais citados anteriormente.

**Figura 4** - Comportamento reológico dos fluidos independentes do tempo.



Fonte: Adaptado de Fox & McDonald, 1998.

Os fluidos que dependem do tempo são divididos em: reopéticos e tixotrópicos (VAN WAZER et al., 1966; TANNER, 1988; FOX e MCDONALD, 1998; MACHADO, 2002; VLIET e LYKLEMA, 2005). Os fluidos tixotrópicos são fluidos que possuem a curva semelhante à da pseudoplasticidade, visto que, à medida que a taxa de deformação aumenta a viscosidade aparente diminui. A diferença entre elas, é que a viscosidade aparente dos tixotrópicos não necessita somente da taxa de deformação, como também do tempo (CORREIA, 2006). Já os fluidos reopéticos assimilam-se aos fluidos dilatantes, uma vez que, são definidos por um aumento na viscosidade relacionado com a duração do tempo de cisalhamento (GALINDO, 2013).

### 3.3.3 MODELOS UTILIZADOS PARA DESCRIÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE FLUIDOS NÃO-NEWTONIANOS

Existem diferentes relações empíricas que estabelecem modelos matemáticos que melhor caracterizam as correlações observadas entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para fluidos que não dependem do tempo (GALINDO, 2013). Muitos desses modelos possuem sua aplicabilidade em alimentos através dos modelos de Ostwald de Waelle, plástico de Bingham, Herschel- Bulkley e Casson (AMARAL, 2016). Algumas destas equações estão mostradas da Tabela 1.

**Tabela 1** - Modelos, equações e parâmetros reológicos para fluidos não-Newtonianos que não dependem do tempo.

Modelo	Equação	Parâmetros
Newton	$\tau = \mu\gamma$	$\mu$ - viscosidade absoluta $\gamma$ - taxa de cisalhamento
Bingham	$\tau = \eta\gamma + \tau_0$	$\eta$ - viscosidade aparente $\gamma$ - taxa de cisalhamento $\tau_0$ - tensão de escoamento
Ostwald	$\tau = K\gamma^\eta$	$K$ - índice de consistência $\eta$ - índice de comportamento $\gamma$ - taxa de cisalhamento
Herschell- Bulkley	$\tau = K\gamma^\eta + \tau_0$	$K$ - índice de consistência $\eta$ - índice de comportamento $\gamma$ - taxa de cisalhamento $\tau_0$ - tensão de escoamento

Fonte: Adaptado de Machado, 2002.

De acordo com Castro, Covas e Diogo (2001), a análise do fluido não-Newtoniano é feita em termos de viscosidade aparente, o qual ocorre variações na medida da magnitude da taxa de cisalhamento do fluido.

As Equações de Bingham e Herschel-Bulkley descrevem o comportamento dos fluidos do qual o reograma não passa pela origem. Esse modelo de fluido se comporta como um sólido (apresentando apenas deformação elástica) caso a tensão de cisalhamento esteja inferior à crítica ( $\tau_0$ ) No entanto, após alcançar essa tensão crítica, o material começa a se comportar como líquido (CHHABRA; RICHARDSON, 2008). Esses modelos diferem na maneira de como os fluidos se comportam depois de atingir a tensão crítica. No modelo de Bingham o reograma apresenta um comportamento linear da tensão de cisalhamento, ao mesmo tempo que o modelo de Herschel-Bulkley depois da tensão crítica pode ser representando pela lei da potência (BAIMA, 2017).

A Equação de Ostwald é um modelo matemático baseado na Lei de Potência que tem a finalidade de simplificar a complexidade dos fluidos não-Newtonianos (STEFFE, 1996). O índice de consistência e o índice de escoamento (grandeza adimensional) do fluido é representado pela constante  $K$  e pelo expoente  $\eta$ , respectivamente. Para um fluido pseudoplástico o índice que define o desvio em relação ao comportamento Newtoniano é  $\eta < 1$  e para fluido dilatante  $\eta > 1$ . A lei de potência se torna a lei de Newton quando  $\eta = 1$ ,

sendo que a viscosidade permanece constante com a taxa de deformação (CASTRO; COVAS; DIOGO, 2001).

A lei do potência em função da viscosidade aparente é mostrada na Equação 5:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} = \frac{K (\dot{\gamma})^n}{\dot{\gamma}} = K (\dot{\gamma})^{n-1} \quad (5)$$

### 3.3.4 REOLOGIA E VISCOSIDADE

Na reologia dos fluidos a propriedade mais importante deve ser a viscosidade, enquanto na reologia dos sólidos a propriedade mais importante é a deformação elástica (DIAZ et al., 2004).

Barnes et al (1969) afirmaram que através viscosidade é possível observar a facilidade de escoamento de um fluido perante atuação de uma tensão externa de cisalhamento. Quanto maior a viscosidade de um fluido, maior é a tensão exigida para uma taxa de deformação constante estabelecida.

Van Wazer et al (1966) classificaram a viscosidade em diferencial e aparente, sendo os dois termos usados nas curvas de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação não-linear.

A viscosidade depende de seis propriedades independentes, sendo elas: temperatura, pressão, taxa de cisalhamento, natureza físico-química da substância, campo elétrico e tempo de cisalhamento. Ao estabelecer a viscosidade em função de um deles, deve-se manter constante e bem determinados os outros parâmetros (SCHRAMM, 1998).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Materiais

A preparação da matéria-prima e a realização dos experimentos foram feitas no Laboratório de Surfactantes localizado na Universidade Federal do Maranhão.

Para a pesquisa foi empregada polpa de cupuaçu, adquirida em um mercado local da cidade de São Luís/MA. A amostra foi armazenada sob congelamento a  $-2^{\circ}\text{C}$  para posterior uso. Além da polpa, foram adquiridas duas amostras de cerveja tipo pilsen, a primeira, obtida da cervejaria artesanal Catirina de São Luís – MA e, a segunda amostra do tipo comercial obtida em um comércio local.

#### 4.1.1 LISTA DE EQUIPAMENTOS

- Viscosímetro Brookfield DV- II+ Pro;
- Becker 500 mL;
- Balança;
- Fitas de medição de pH.

### 4.2 Metodologia

#### 4.2.1 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Inicialmente a polpa foi descongelada e colocada em uma placa de petri até uma espessura de 1 cm. Após, as amostras foram secas usando um desidratador de fluxo convectivo a uma temperatura de  $40^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Após, a polpa desidratada foi embalada e guardada em um dessecador para posterior uso nos testes reológicos para o processo de maturação da cerveja.

#### 4.2.2 ANÁLISE REOLÓGICA

Para a definição da viscosidade aparente foi utilizado um viscosímetro Brookfield, utilizando *spindle* S64 (LV4). As análises foram efetuadas de duas formas: com a cerveja *in natura* e com a cerveja adicionada de polpa de cupuaçu (artesanal e comercial), com taxa de

deformação variando de 0,167 a 3,333 s<sup>-1</sup>. Foram medidos valores de viscosidade aparente a diferentes velocidades, e a diferentes tempos (0h, 24h e 48h), em temperatura ambiente.

Para cada medida, utilizou-se 200ml de cada amostra adicionadas com 5% (p/p) e 10% (p/p) de polpa de cupuaçu seco com permanência de 5 segundos para cada velocidade analisada.

Para a medição de pH foi utilizada fitas de papel indicador.

#### 4.2.3 MODELAGEM MATEMATICA

Os valores de viscosidade aparente foram ajustados pelo modelo da Lei da Potência (equação 5) com o objetivo de conhecer o comportamento reológico da cerveja. As análises dos dados foram feitas no software Excel (Microsoft, Redmond, USA) por meio da ferramenta de regressão não linear do SOLVER. O coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o erro médio relativo MRE (%) foram utilizados como critérios estatísticos.

O parâmetro estatístico MRE (Equação 6) é um critério que avalia a precisão das estimativas. Um modelo com um erro menor que 10% é considerado como um modelo com boa precisão (CASTELL-PALOU et al., 2012), enquanto que um modelo com um erro entre 10% e 15% pode ser considerado aceitável (SABLANI; BAIK; MARCOTTE, 2002).

$$MRE = \frac{100}{m} \sum_{i=1}^m \frac{Y_i - Y_i^*}{Y_i^*} \quad (6)$$

onde:

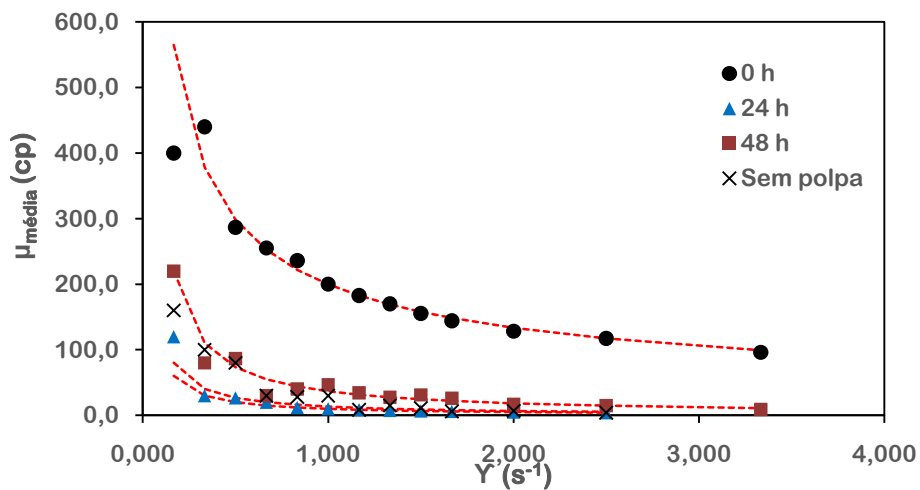
- $Y$  e  $Y^*$  representam os valores experimentais e calculados, respectivamente
- $m$  é o número de valores experimentais.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Comportamento reológico

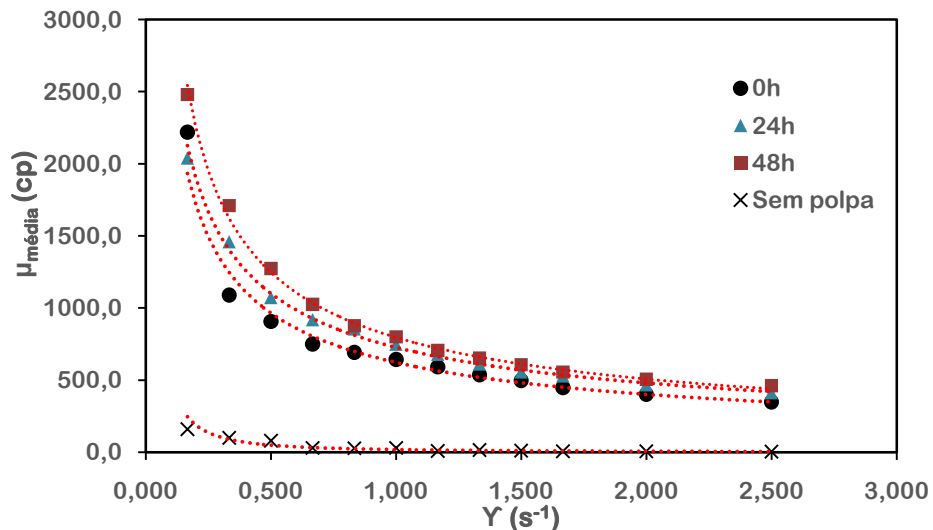
O comportamento reológico das cervejas comercial e artesanal, com e sem adição de polpa de cupuaçu desidratado foi avaliado através da relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação. As Figuras 5 a 8 mostram os resultados experimentais dos reogramas para tempos de maturação de 0, 24 e 48h, com taxa de deformação variando de  $0,167s^{-1}$  a  $3,333s^{-1}$ .

**Figura 5** – Viscosidade aparente versus taxa de deformação da cerveja artesanal com 5% de polpa.



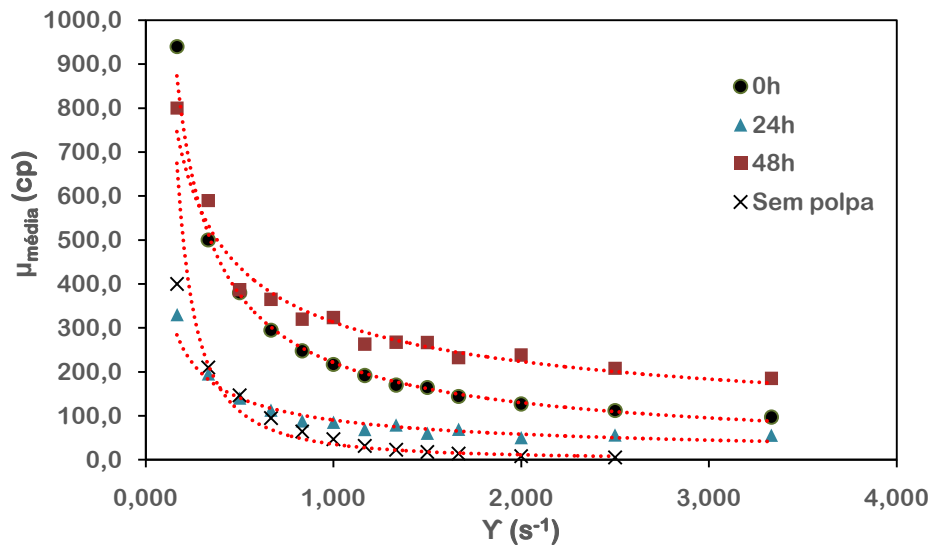
Fonte: Autor.

**Figura 6** – Viscosidade aparente versus taxa de deformação da cerveja artesanal com 10% de polpa.



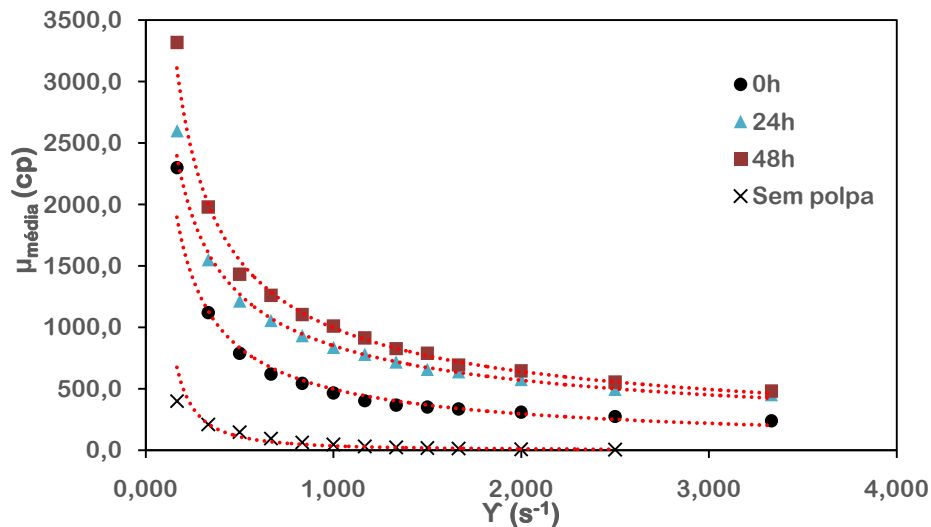
Fonte: Autor.

**Figura 7**– Viscosidade aparente versus taxa de deformação da cerveja comercial com 5% de polpa.



Fonte: Autor.

**Figura 8** – Viscosidade aparente versus taxa de deformação da cerveja comercial com 10% de polpa.



Fonte: Autor.

Para todas as concentrações e tempos houve uma diminuição da viscosidade com o aumento da taxa de deformação. Ferreira et al. (2008) constataram que a diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação é decorrente do alinhamento das partículas em direção a tensão aplicada o que torna a resistência ao movimento menor. Além do mais, notou-se ainda um aumento da viscosidade com o aumento da concentração de sólidos. Deste modo, foram alcançadas maiores viscosidades para as concentrações de 10%.

Na amostra da cerveja artesanal com menor concentração de polpa (Figura 5), a viscosidade tende a diminuir à medida que o tempo de maturação aumenta, tendo valores



próximos da viscosidade aparente aos da amostra sem polpa. Horne (1998) e Lucey (2002) afirmaram que a diminuição da viscosidade aparente na amostra é resultado do desaparecimento das instáveis ligações existentes e a redução da energia de interação entre as moléculas.

O comportamento das amostras com maior concentração de polpa foi diferente. As Figuras 6, 7 e 8 mostram que quanto maior foi o tempo de maturação maior foi a viscosidade. Segundo Ferreira (2008) a concentração de pectina na polpa de cupuaçu está entre uma faixa de 390 a 850 mg/100 g de polpa. Pectinas são polímeros de ácido galacturônico encontrados na célula vegetal, que, quando adicionadas de água e em presença de açúcar, podem formar géis péctidos (SANTOS, 2013). Nesse caso, o elevado teor de pectina e a acidez do fruto podem ter proporcionado a formação de géis pécticos, aumentando instantaneamente a viscosidade da amostra.

Vale ressaltar também, que toda fonte de amido possui uma ampla faixa de temperatura característica onde a gelatinização acontece (ELIASSON, 1996; SINGH et al., 2003), e dentre os diferentes fatores que afetam essa temperatura, a presença de água é o principal deles. O amido é um carboidrato abundante em cereais (40% a 90% do peso seco) (LAJOLO; MENEZES, 2006), e quando acondicionado e resfriado, pode sofrer um fenômeno chamado de retrogradação (DERNADIN; SILVA, 2009), ocasionando um aumento na viscosidade, transformando-se em um sistema viscoelástico, turvo, ou, para concentrações de amido suficientemente altas (> 6% p/p), num gel elástico opaco (LAJOLO; MENEZES, 2006).

Na determinação da viscosidade aparente dos fluidos pseudoplásticos é importante o conhecimento relacionado à concentração de sólidos solúveis, uma vez que estes são formados por partículas de dimensões distintas que interagem entre si em um solvente e conseqüentemente, influenciam no escoamento do fluido (SANTOS, 2013).

## **5.2 Ajuste do modelo reológico**

A modelagem dos dados experimentais foi realizada por meio do modelo de Ostwald de Waelle nas diferentes concentrações e tempo de maturação. As Tabelas 2 e 3 mostram os parâmetros do modelo utilizado para ajustar os dados experimentais e sua respectiva avaliação estatística.

**Tabela 2** - Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) para as cervejas antes de adicionar a polpa.

	$K$	$\eta$	$R^2$	$MRE(\%)$
<b>Artesanal</b>	13,333	0,000	0,972	38,467
<b>Comercial</b>	26,300	0,000	0,995	42,152

Fonte: Autor.

**Tabela 3** - Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) para as cervejas depois da adição da polpa.

Material (com polpa)	Parâmetros	Tempo maturação		
		0 h	24 h	48 h
<b>Artesanal 5%</b>	$K$	199,717	10,000	36,656
	$\eta$	0,420	0,000	0,000
	$R^2$	0,924	0,973	0,976
	$MRE(\%)$	6,110	8,339	18,840
<b>Artesanal 10%</b>	$K$	616,951	724,781	788,910
	$\eta$	0,428	0,413	0,361
	$R^2$	0,980	0,998	0,998
	$MRE(\%)$	4,515	2,273	1,747
<b>Comercial 5%</b>	$K$	215,863	84,632	307,097
	$\eta$	0,233	0,241	0,575
	$R^2$	0,998	0,994	0,985
	$MRE(\%)$	2,832	9,469	5,786
<b>Comercial 10%</b>	$K$	475,699	842,062	996,804
	$\eta$	0,265	0,445	0,375
	$R^2$	0,989	0,995	0,997
	$MRE(\%)$	6,491	2,004	2,407

Fonte: Autor.

Os parâmetros do modelo foram calculados a partir dos dados da viscosidade. Na Tabela 3 encontram-se os parâmetros para os dois tipos de cerveja a diferentes concentrações de polpa com seus respectivos valores do erro médio relativo ( $MRE$ ) e o coeficiente de determinação  $R^2$ .

Os resultados obtidos na amostra de cerveja artesanal com menor concentração não foi o esperado. Houve erros experimentais o que culminou nos resultados finais. O índice de comportamento  $\eta$  está relacionado com o número de partículas dispersas na amostra, e, por mais baixo que seja o teor solúvel desta amostra este índice deveria ser diferente de zero, consequentemente influenciando nos valores dos outros parâmetros.

Nas outras amostras, o modelo apresentou bom ajuste aos dados experimentais, com valores de  $R^2$  superiores a 0,980, e erros relativos médios (*MRE*) inferiores a 9,469%, indicando que o modelo em questão pode ser utilizado para estimar os dados reológicos da polpa às concentrações e tempos testados. Ao realizar a análise reológica da polpa de cupuaçu entre 0,3 e 100 rpm em diferentes temperaturas, Ferreira et al. (2008) constataram que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi também o de Ostwald-de-Waelle, apresentando valores de  $R^2$  superior a 0,940.

Um índice de comportamento diferente de 1 caracteriza um comportamento não-Newtoniano. O fluido é definido como pseudoplástico se  $\eta < 1$ , e dilatante se  $\eta > 1$ . Os valores de índice de comportamento obtidos experimentalmente na faixa de  $0,233 < \eta < 0,575$  na amostra de cerveja comercial e  $0,361 < \eta < 0,428$  na amostra da cerveja artesanal confirmam o caráter pseudoplástico do produto. Ferreira *et al.* (2008) em seu estudo com polpa de cupuaçu integral de 0 a  $3,33 \text{ s}^{-1}$  em diferentes temperaturas também constataram um comportamento não-Newtoniano de caráter pseudoplástico.

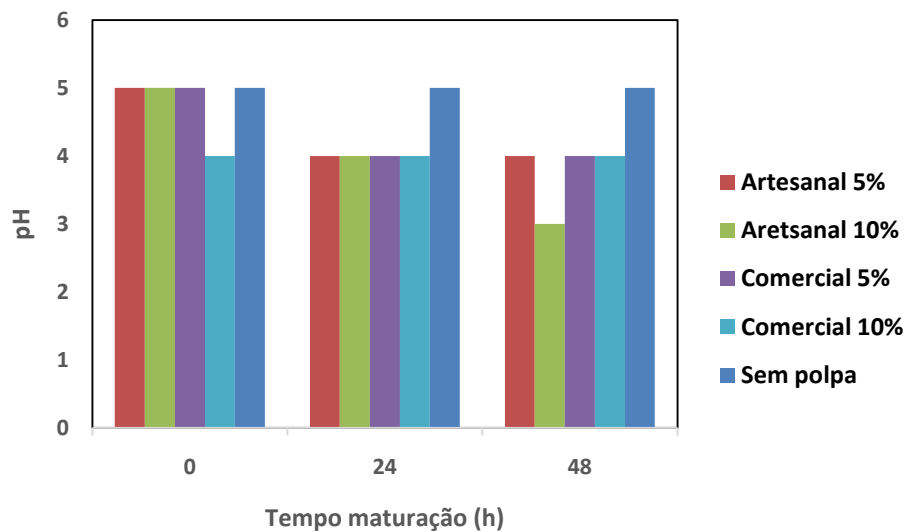
O índice de consistência  $K$  também variou com a concentração de sólidos e com o tempo de maturação. O índice de consistência é o grau de resistência do fluido durante o escoamento (SILVA, 2014). Os valores de  $K$  aumentaram com o aumento da concentração de sólidos e com o tempo de maturação das cervejas. Branco e Gaspareto (2003) realizaram um estudo onde os dados experimentais de misturas de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura foram ajustados a esse modelo. Eles constataram que o índice de consistência ( $K$ ) tem relação direta com a temperatura, e que com o aumento da concentração da polpa de manga houve um aumento no índice de consistência e, principalmente, na viscosidade aparente, provando a influência da composição química da polpa sobre estes parâmetros.

Num estudo realizado por Costell et al. (1982) sobre a reologia do purê de damasco, constatou-se a existência de uma relação direta entre o índice de consistência ( $K$ ) com a percentagem de polpa e com tamanho médio das partículas suspensas; o valor do índice de comportamento ( $\eta$ ) está relacionado com o volume médio das partículas da fase dispersa e a tensão inicial de escoamento depende das percentagens de polpa e de células rompidas, do tamanho médio das partículas, da acidez e do conteúdo de substâncias pécicas.

Devido à cerveja ser analisada reologicamente no processo de maturação, existem poucos resultados na literatura para comparar com os obtidos nesse estudo. Autores como Trávníček et al. (2015) estudaram o comportamento reológico do processo de produção de cerveja na fase de adição do mosto e aquecimento, mostrando comportamento de fluido dilatante. No entanto, os valores da viscosidade cinética mostraram valores muito baixos ( $\mu < 1,59$  Pa.s) comparados aos obtidos nesse trabalho, indicando que flutuações dos valores de medição são dadas por condições ambientais.

Finalmente, uma possível justificativa aos valores encontrados de  $\eta$  e  $K$  no estudo devam-se à diminuição do pH (Figura 9) da amostra quando adicionado polpa de fruta, em que as interações iônicas entre a água e os carboidratos aportados pela polpa são mais fortes, fazendo com que a viscosidade aparente aumente e sejam observados estes valores e comportamento reológico (GÁLVEZ et al., 2017).

**Figura 9** – Variação do pH nas amostras de cerveja em função do tempo de maturação.



Fonte: Autor.

## 6 CONCLUSÃO

Através deste trabalho foi possível avaliar o comportamento reológico da cerveja artesanal adicionada de polpa de cupuaçu à diferentes concentrações. O modelo reológico ajustado de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) permitiu um bom ajuste dos dados experimentais apresentando um coeficiente de determinação próximo a um. Todas as amostras apresentaram características pseudoplásticas, com elevados valores nos índices de consistência e índices de comportamento do fluido menores que 1. Por outro lado, observou-se um aumento na viscosidade aparente e no pH das amostras com maior concentração de polpa, efeito causado por uma possível gelatinização das frações pectínicas presentes nas amostras.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA E SILVA, J. B. **Cerveja**. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação, mercado**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. Cap. 15, p. 347-382.

ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir Propriedades Físicas em Indústrias de Alimentos**. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, 2001. p.410.

AMARAL, T. N. **Comportamento reológico e propriedades térmicas da goma da Pereskia Aculeata Miller adicionada de solutos e hidrocoloides comerciais e uma aplicação em bebida láctea fermentada**. Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos) – Programa de Pós- Graduação em Ciência dos Alimentos, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

ANTUNES, A. **The 30 Best Craft Beers Available In Brazil**. *Forbes*, 18 Feb 2015. Disponível em:< <https://www.forbes.com/sites/andersonantunes/2015/02/18/the-30-best-craft-beers-available-in-brazil/>>. Acesso em 25/04/2019

BARBOZA, L. M. V. **Desenvolvimento de bebida a base de erva-mate (Ilex paraguariensis Saint Hilaire) adicionada de fibra alimentar**. Curitiba – PR: Universidade Federal do Paraná – UFPR, 2005

BARRA, Guilherme. **Fundamentos de reologia de materiais poliméricos**. Disponível em: <http://www.ifba.edu.br/professores/edler/ENG%20520%20%20McFluidos/Fundamentos%20Reologia%20polimeros.pdf>. Acesso em: 25/04/2019

BARNES, H.A.; HUTTON, J.F.; WALTERS, K. **An introduction to rheology**. Amsterdam: Elsevier Science, 1989, 199 p.

BENNET, C. O.; MEYERS, J. E.- **Fenômenos de Transporte: quantidade de movimento, calor e massa**. McGraw- Hill do Brasil- São Paulo, 1982.

BERGAMO, G.; PLATA-OVIEDO, M. S. V. **Avaliação da Atividade Antioxidante do Extrato de Erva-Mate**. Videira – SC: Universidade do Oeste de Santa Catarina – UNOESC, 2007.

BIRD, R.B.;DAI, G.C; YARUSSO, B.J. **The rheology and flow of visco-plastic materials**. *Rev Chem Eng*, 1983, p. 1-70.

BLAIR, G. W. **Elementary rheology**. London and New York: Academic press, 1969, 158 p.

BLEIER, B. et al. **Craft Beer Production**. University of Pennsylvania. Filadélfia: editor, 2013. 565 p.

BOUÇAS, C. **Importação de cervejas especiais cresce 7% em 12 meses**. **Valor Econômico**, 22 Oct 2015. Disponível em: <<https://www.valor.com.br/empresas/4281110/importacao-de-cervejas-especiais-cresce-7-em-12-meses>>. Acesso em: 09/05/2019.

BRODKEY, R. S. – **The phenomena of fluid motions**– Dover Publications, Inc. – New York, 1967.

CARDOSO, L. de M. **Araticum, cagaita, jatobá, mangaba e pequi do cerrado de Minas Gerais: ocorrência e conteúdo de carotenóides e vitaminas 2011**. Dissertação (Mestrado em Ciência da Nutrição) Departamento de Nutrição e Saúde, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa 2011.

CALLEMIEN, D.; COLLIN, S. **Structure, organoleptic properties, quantification methods and stability of phenolic compounds in beer: a review**. Food Reviews International, Philadelphia, v. 26, n. 1, p. 1-84, 2009.

CARVALHO, L. G. **Produção de Cerveja**. Dossiê Técnico. REDETEC Rede de Tecnologia do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <<http://www.sbrt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTc>>. Acesso em: 14/05/2019

CASTRO, A. G.; COVAS, J. A.; DIOGO, A. C. **Reologia e suas aplicações industriais**. Instituto Piaget, 2001. 462p.

ÇENGEL, Y. A. CIMBALA, J.M. **Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Editora Mcgraw. Hill., 2012. 846 p

CHHABRA, R.P.; RICHARDSON, J. **Non-Newtonian Flow and Applied Rheology: Engineering Applications**. 2nd ed. Oxford (United Kingdom): Butterworth-Heinemann, 2008.

CORREIA, D. Z. **Estudo de Misturas Poliméricas para Recuperação de Petróleo**. Tese de doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, 2006, 222 p.

COSTA, C. M.; **Caracterização de fluidos complexos.** Disponível em: <[http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio\\_resumo2016/relatorios\\_pdf/ctc/MEC/MECCamila%20Moreira%20Costa.pdf](http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2016/relatorios_pdf/ctc/MEC/MECCamila%20Moreira%20Costa.pdf)>. Acesso em: 15/05/2019

CUNHA, T. H.; CASTRO, F. P.; BARRETO, P. L. M.; BENEDET, H. D.; PRUDÊNCIO, E. S. **Avaliação físico-química, microbiológica e reológica de bebida láctea e leite fermentado adicionados de probióticos.** *Semina- Ciências Agrárias, Londrina*, v. 29, n. 1, p. 103-116, 2008.

DERNADIN, C.C.; SILVA, L.P. **Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas.** Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/2009nahead/a109cr517.pdf>>. Acesso em: 13/10/2019.

DIAZ, P. S.; VENDRUSCOLO, C.T.; VENDRUSCOLO, J.L.S. **Reologia de xantana: uma revisão sobre a influência de eletrólitos na viscosidade de soluções aquosas de gomas xantana.** *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, v. 25, n. 1, p. 15-28, jan/jun, 2004.

DRAGONE, G.; ALMEIDA E SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas alcoólicas: ciência e tecnologia.** São Paulo: Edgard Blücher, 2010. cap. 2, p. 15-50.

DUARTE, R.G.; **Avaliação da Interação Folhelho-Fluido de Perfuração para Estudos de Estabilidade de Poços** Disponível em: [http://www.civ.puc-rio.br/wp-content/view/down\\_pdf.php?pdf=../pdf/193.pdf](http://www.civ.puc-rio.br/wp-content/view/down_pdf.php?pdf=../pdf/193.pdf). Acesso em 15/04/2019

DUTRA, F. L. G.; HOFFMANN-RIBANI, R. **Determinação de compostos fenólicos por cromatografia líquida de alta eficiência isocrática durante estacionamento da erva-mate.** *Química Nova*, v. 33, n.1, pp. 119-123. 2010.

EDELBRAU–**Cervejaria Edelbrau.** 2012. Disponível em: <<https://edelbrau.wordpress.com/2012/02/13/ceveja-artesanal-x-industrial/>>. Acesso em: 14/05/2019

ELIASSON, A.C. **Carbohydrates in food.** New York: Marcel Dekker, 1996. 664p.

FERNANDES, L. M. **Viabilidade de produção e caracterização de cerveja artesanal com acerola (*Malpighia emarginata* DC).** Disponível em: <<https://repositorio.ufpb.br/jspui/bitstream/123456789/12186/1/Arquivototal.pdf>>. Acesso em: 04 de Março de 2019



FERREIRA, A. S.; BENKA, C. L. **Produção de cerveja artesanal a partir de malte germinado pelo método convencional e tempo reduzido de germinação**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnólogo em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curso de Tecnologia em Alimentos, Francisco Beltrão, 2014.

FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; MAIA, M. C. A. **Efeito da Temperatura e Taxa de Cisalhamento nas Propriedades de Escoamento da Polpa de Cupuaçu (*T. grandiorum Schum*) integral**. Revista Brasileira de Fruticultura, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 385-389, 2008.

FOX, R. W.; McDONALD, A. T. **Introduction to fluid mechanics**. New York: John Wiley & sons, 1998, 762 p.

**Fundamentos de mecânica dos fluidos. Disponível em:** <<https://sites.google.com/site/engenhariacomputj/fenomenos-do-transporte>>. Acesso em: 16/05/2019

FURLONG, E. B.; COLLA, E.; BORTOLATO, D. S.; BAISCH, A. L. M.; SOARES, L. A. S.; **Avaliação do potencial de compostos fenólicos em tecidos vegetais**. *Vetor*, Rio Grande, v. 13, p.105- 114, 2003.

GALINDO, M. S. V.; **Desenvolvimento de uma Metodologia para Determinação da Viscosidade de Solos**. Disponível em: < [http://www.civ.puc-rio.br/wp-content/view/down\\_pdf.php?pdf=../pdf/2013\\_Manuella\\_Suellen\\_Veira\\_Galindo.pdf](http://www.civ.puc-rio.br/wp-content/view/down_pdf.php?pdf=../pdf/2013_Manuella_Suellen_Veira_Galindo.pdf)>. Acesso em: 17/05/2019

GÁLVEZ, L. O.; BEER, S.; VAN-DER-MEER, D.; PONS, A. Dramatic effect of fluid chemistry on cornstarch suspensions: Linking particle interactions to macroscopic rheology **Physics Review**, E 95, 030602(R), 2017.

GHISELLI, A. et al. Beer increases plasma antioxidant capacity in humans. **The Journal of nutritional biochemistry**, v. 11, n. 2, p. 76-80, 2000.

HINDY, S. **The craft beer revolution: How a band of microbreweries is transforming the world's favorite drink**. New York: Palgrave Macmillan, 2014.

HOLDSWORTH, S. D. **Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products**. *Journal of Texture Studies*, v.2, p.393-418, 1971

HOUGH, J.S. **Biología de la cerveza y de la malta**. Editora ACRIBIA S.A, Zaragoza, 1990.

JACKSON, Michael. **Cerveja**. Traduzido por Marina Slade Oliveira. 2ª edição- Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2010.

KUNZE, W. **Tecnología para cerveceros y malteros**. cap. 7, p. 826-885. Berlín: VLB Berlin, 2006

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. **Carboidratos en alimentos regionales Iberoamericanos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

LARSON, R.G. (1999) **Particulate Suspension. In: The structure and rheology of complex fluids**, Oxford University Press , Oxford, 263-323

LIMBERGER, S. C. **O setor cervejeiro no Brasil: Gênese e evolução**. Revista Cadernau. Rio Grande, 2013.

PEREIRA, E.A.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIREDO, R.M.F. **Comportamento reológico de mel da abelha urucu (*Melipona scutellaris*, L.)**. Revista Ciências Exatas e Naturais, [sn] n.2, v.5, 2003

MACHADO, J. C. V. **Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria do petróleo**. Rio de Janeiro, Interciência: Petrobras, 2002, 257 p.

MALTA, C.; BOUÇAS, C. **Ambev fecha compra da Colorado, de Ribeirão Preto. Valor Econômico**, 08 Jul 2015. Disponível em: < <http://g1.globo.com/sp/ribeirao-preto-franca/noticia/2015/04/cervejarias-artesanais-poem-ribeirao-preto-de-volta-na-rota-cervejeirado-pais.html>. Acesso em: 03/06/2019.

MATOS, C. B. **Caracterização física, química, físico-química de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* (Willd. ex Spreng) Schum.) com diferentes formatos**. 2007. 41p. Dissertação (mestre) – curso de produção vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.

MEGA, J.F.; NEVES, E.; ANDRADE, C.J.A. **Produção da cerveja no Brasil**. Rev. Citino. 2011; 1(1):34- 42.

MESTRE-CERVEJEIRO.COM. **Por que as cervejas artesanais são mais caras: produção.** 02/10/2014. Disponível em: < <https://mestre-cervejeiro.com/por-que-cervejas-artesanais-sao-mais-caras-producao/> > . Acesso em: 09/05/2019

MORADO, R. **Larousse da cerveja.** São Paulo: Larousse do Brasil, 2009. p. 357  
MORAIS, P. L. D.; LIMA, L. C. O.; ALVES, R. E.; FILGUEIRAS, H. A. C.; ALMEIDA, A. S. **Alterações físicas, fisiológicas e químicas durante o armazenamento de duas cultivares de sapoti, Pesquisa Agropecuária Brasileira,** Brasília, v. 41, n. 4, p. 549-554, 2006.

PAPAZIAN, C. **The Homebrewer's Companion.** New York: Harper Collins Publishers Inc, 2014. 2 ed.

PINTO, L. Í. F. **Acerola (*Malpighia emarginata* DC) e Abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) como adjunto no processamento de cerveja: caracterização e aceitabilidade.** 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

RAO, M.A. **Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications.** Gaithersburg (United States): Aspen Publishers, Inc., 1999.

RAO, M.A.; COOLEY, H.J.; VITALI, A.A. **Flow Properties of Concentrated Juices at Low Temperatures.** *Food Technology*, v.38, n.3, p.113-119, 1984.

REINOLD, Mathias. **Reações enzimáticas e físico-químicas que ocorrem durante a malteação da cevada.** Veículo: Revista Indústria de Bebidas– ano 9 – nº 55. Data/Edição: 2010.

ROCHA NETO, O. G.; FIGUERÊDO, F. J. C.; SOUZA, N. G. **Comportamento estomático e fotossintético de plantas jovens de cupuaçuzeiro (*Theobroma grandiflorum* Schum. In: Seminário Internacional sobre Pimenta-do-Reino e Cupuaçu. 1997, Belém. Anais... Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1997. 440 p**

SALGADO, A. M. **Tecnologia de Produção de Bebidas Fermentadas.** In: XVII Semana de Química. 2009. Disponível em: < <http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/MaterialsuplementarBebidas.UFRJ.pdf> >. Acesso em: 22/05/2019.

SANTOS, A. M. **Estudo das influências da complementação de nutrientes no mosto sobre o processo de fermentação alcoólica em batelada.** 2008. 77 f. Tese (Doutorado em Química e Biotecnologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió. Disponível em Acesso

em:<<http://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/408/1/Estudo%20da%20influ%C3%Aancia%20da%20complementa%C3%A7%C3%A3o%20de%20nutrientes%20no%20mosto%20obre%20o%20processo%20de%20fermenta%C3%A7%C3%A3o%20alco%C3%B3lica%20em%20batelada.pdf>> Acesso em: 09/05/2019

SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. **Cervejas e refrigerantes**. São Paulo: CETESB, 58 p.,2005. Disponível em: < [https://www.crq4.org.br/downloads/cervejas\\_refrigerantes.pdf](https://www.crq4.org.br/downloads/cervejas_refrigerantes.pdf)>. Acesso em: 14/05/2019.

SANTOS, P.,H. **Influência da temperatura e da concentração de sólidos solúveis no comportamento reológico de polpas de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas**. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/106798/319758.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 03/07/2019

SEBRAE. **Potencial de consumo de energia no Brasil**. 2014.

SEGTOEWICK, E. C. dos S.; BRUNELLI, L. T.; VENTURINI FILHO, W. G. **Physicochemical and sensorial evaluation of a fermented West indian cherry beverage. Brazilian Journal Food Technologic**. vol. 16, n.2, p.147-154. 2013.

SCHRAMM, G. **A practical approach to rheology and rheometry**. Gebrueder HAAKE GmbH, Karlsruhe, Federal Republic of Germany, 2nd edition, 1998, 291p.

SHIROMA, P. H. **Estudo do comportamento reológico de suspensões aquosas de bentonita e cmc: influência da concentração de NaCl**. 2012. 130 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Química) –Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SINDICERV, site. Disponível em: <<https://www.sindicerv.com.br/tipo- cerveja.php>>. Acesso em : 01/10/2019

SINGH, N. et al. **Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. Food Chemistry**, v.81, n.219-231, 2003

SOUZA, J. M. L.; PIMENTEL, F. A. **Geléia da polpa de cupuaçu congelada**. Acre: Embrapa, 1999. p. 1-3. Disponível em: < <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAF-AC/3654/1/it23.pdf>>. Acesso em: 14/05/2019

SOARES, N. **Tempo de mudança. Engarrafador Moderno**, n. 205, p. 14–22, 2011.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. Ed. Michigan: Freeman Press, 1996. 418 p.

STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. 2.ed. Michigan: Freeman Press, 1996. 418p.

TANNER, R. I. **Engineering Rheology**. Ed. Rev. New York: Oxford University Press, 1988, 451p.

TOLEDO, R. T. **Fundamentals of Food Process Engineering**. New York: Chapman & Hall, 1991. 602p.

TOZETTO, L. M. **Produção e caracterização de cerveja artesanal adicionada de gengibre (*Zingiber officinale*)**. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2451/1/PG\\_PPGEP\\_M\\_Togetto%2C%20Luciano%20Moro\\_2017.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/2451/1/PG_PPGEP_M_Togetto%2C%20Luciano%20Moro_2017.pdf). Acesso em: 09/05/2019

TSCHOPE, E. C. **Microcervejarias e cervejarias: a história, a arte e a tecnologia**. São Paulo: Aden, 2001.

TRÁVNÍČEK, P.; LOS, J.; JUNGA, P. Comparison of rheological properties of hopped wort and malt wort. **Acta universitatis agriculturae et silviculturae mendelianae brunensis**, p. 131-136, v. 63, n. 1, 2015.

VAN WAZER, J. R.; LYONS, J.W.; KIM, K.Y.; COLWELL, R.E. **Viscosity and flow measurement: a laboratory handbook of rheology**. New York: Interscience Publisher, 1966, 406p.

VIDAL, J.R.M.; GASPARETTO, C.A. **Armazenamento e processamento de produtos agrícolas: Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.1, 2000.

VLIET, T. V.; LYKLEMA H. **Rheology**. In: LYKLEMA, J. (Editor), **Fundamentals of interface and colloid science**, v. 4, Elsevier, 2005, p. 6.1-6.88.