

UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

João Marcos Silva da Mata

Letícia Lucarelli Santos

Tainá Queiroz de Souza

ANÁLISE E IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DE PROCESSO  
NA PRODUÇÃO DE ESPESSANTE NATURAL PARA A  
PRODUÇÃO DO ÁLCOOL EM GEL EM UMA PLANTA  
MULTIPROPÓSITO

Engenharia Química

Prof. Dr. Iguatinã de Melo Costa

São Paulo

2022

## Resumo

Com o aparecimento do novo coronavírus em 2020, a preocupação mundial com a saúde e higienização aumentou significativamente e, conseqüentemente, o uso do álcool em gel para a prevenção e proliferação deste vírus também. O objetivo do trabalho é de analisar os parâmetros de processo que influenciam a produção do álcool em gel mediante a utilização de um espessante natural alternativo, a goma xantana, que poderá substituir o uso comum do Carbopol® em uma planta multipropósito. A planta multipropósito é dividida em 3, a MPP1, responsável pela produção do álcool etílico. Nessa planta, durante o processo a cana-de-açúcar, na etapa de moagem gera melão e bagaço, parte desse melão é transferido para a MPP2, responsável pela produção da goma xantana, um composto espessante sintetizado naturalmente por meio de bactérias. Ao final da produção do álcool etílico e da goma xantana, eles são direcionados para a produção efetiva do álcool gel na MPP3. Os resultados obtidos a partir desse estudo e desenvolvimento se mostraram satisfatórios, os parâmetros requeridos ao final da produção do álcool gel com o espessante alternativo: pH, viscosidade, teor alcoólico e densidade, ficaram dentro dos padrões de conformidade. Portanto, o presente estudo apresenta um meio alternativo para a produção do álcool gel sem a utilização de um espessante sintético em motivos de falta geral como ocorrido anteriormente.

**Palavras-chave:** Álcool gel; goma xantana; Carbopol®; processo.

## **Abstract**

With the emergence of the new coronavirus in 2020, the global concern with health and hygiene has increased significantly and, consequently, the use of hand sanitizers for the prevention and proliferation of this virus as well. The goal of this work is to analyze the process parameters that influence the production of hand sanitizers through the use of an alternative natural thickener, xanthan gum, which can replace the common use of Carbopol® in a multipurpose plant. The multipurpose plant is divided into 3, MPP1, responsible for the production of ethyl alcohol. In this plant, during the sugarcane process, in the milling stage it generates molasses and bagasse, part of this molasses is transferred to MPP2, responsible for the production of xanthan gum, a thickening compound synthesized naturally by bacteria. At the end of the production of ethyl alcohol and xanthan gum, they are directed to the effective production of hand sanitizers in MPP3. The results obtained from this study and development are proved to be satisfactory, the parameters required at the end of the production of hand sanitizers with the alternative thickener: pH, viscosity, alcohol content and density were within compliance standards. Therefore, the present study presents an alternative mean for the production of hand sanitizers without the use of a synthetic thickener in reasons of general shortage, as previously occurred.

**Keywords:** Hand sanitizers; xanthan gum; Carbopol®; process.

# 1. Introdução

O ano de 2020 foi marcado pelo início de uma pandemia devido ao aparecimento do coronavírus SARS-CoV-2, causador da COVID-19, detectado pela primeira vez em dezembro de 2019 na China (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2019). Segundo a SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA (2022), esse vírus provoca infecções respiratórias e intestinais, podendo causar a morte, sendo altamente transmissível e contagioso, podendo ser evitado utilizando máscaras, evitando aglomerações, mantendo o distanciamento social e higienizando bem as mãos com água e sabão ou, na falta destes, com álcool etílico 70%.

O álcool etílico possui propriedades microbianas capazes de eliminar germes e promover a desinfecção de ambientes (SANTOS et al., 2002), possuindo fácil e rápida aplicação, além de baixo custo. Por conta disso, com o surgimento da pandemia, a procura do álcool em gel aumentou significativamente, a fim de prevenir a proliferação do vírus. Devido à alta demanda, as indústrias não conseguiram suprir a necessidade da população, devido à falta de insumos e despreparo diante de uma pandemia mundial (SATIE, 2020).

Diante deste, houve estudos e testes referentes às possíveis alternativas de substituição do espessante Carbopol®. O espessante é definido como um agente que possui a função de aumentar a viscosidade do produto melhorando a sua textura e estabilidade (MENEZES et al., 2012). e dentre os espessantes que podem substituí-lo, há a goma xantana. A goma xantana é um heteropolissacarídeo produzido naturalmente pela ação das bactérias *Xanthomonas campestris* NRRL B-1459 (GOMES, 2014), e o seu processo de fermentação necessita de um meio de cultura rico em nutrientes. De acordo com Brandão (2008) um dos principais meios de cultura utilizado é o melado da cana-de-açúcar, uma matéria-prima de acesso bastante abrangente, já que o Brasil é um dos maiores exportadores de cana-de-açúcar do mundo. Estimativas apontam que foram produzidas 592 milhões de toneladas de cana-de-açúcar na safra de 2021/2022, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento - Conab (2021).

Dessa maneira, o propósito desse projeto, é caracterizar uma planta multipropósito com objetivo de fabricar o álcool em gel com a aplicação do espessante natural, por meio de modelos matemáticos e análise funcional das operações unitárias.

A planta multipropósito contém três divisões trabalhando em conjunto, a primeira planta é a do álcool etílico (MPP1), contemplando toda a sua produção, desde a extração do melado da cana-de-açúcar até a devida obtenção do álcool. A segunda planta é a da goma xantana (MPP2), que descreve toda a sua obtenção e produção, sendo utilizada a mesma matéria-prima que a do álcool etílico, a cana-de-açúcar, com o aproveitamento do mesmo insumo. E por fim, a terceira planta (MPP3) do álcool em gel, contemplando todas as etapas para a sua devida produção e implementação com o espessante alternativo. Em todas as etapas foram analisados os processos e parâmetros para a confecção do produto final,

desenvolvido no laboratório como meio comparativo do substituto do polímero sintético (Carbopol®) e a análise de sua viabilidade.

### **1.1. Justificativa**

As infecções causadas por microrganismos são um problema de saúde pública (CENTERS FOR DISEASE CONTROL, 1979) e a adoção de medidas preventivas simples, podem reduzir esse índice. Medidas como higienizar as mãos, podem apresentar grande sucesso na prevenção na propagação dos microrganismos causadores das infecções (SANTOS, 2002). O implemento do álcool em gel como meio antisséptico, permite ao usuário a limpeza das mãos em casos que a sujeira não é visível (SANTOS et al., 2002).

O álcool em gel ganhou grande destaque em 2020 devido à pandemia do novo Coronavírus (Sars-CoV-2), popularmente conhecido como Covid-19. Entretanto, a problemática da situação foi que no mesmo ano, devido ao alto consumo, uma das principais matérias-primas para a produção do álcool em gel, o Carbopol®, um polímero sintético utilizado como espessante (LOPES, 2020), ficou em falta no mundo inteiro. Sendo assim, uma alternativa encontrada pela ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária) foi isentar temporariamente a necessidade de registro, notificação e licenciamento sanitário, de forma a estimular a produção dos antissépticos alcoólicos (álcool em gel) (ANVISA, 2020).

Foram feitos muitos estudos para desenvolver formas alternativas de substituição do espessante por outros alternativos (FAIRBANKS, 2020). Sendo assim, este trabalho contém uma metodologia pouco aplicada, contendo todas as etapas para a produção do álcool em gel utilizando a goma xantana como espessante alternativo, de forma a apresentar uma proposta para o problema em questão.

Pelo fato do uso do álcool em gel nos últimos três anos ter aumentado e dos outros fatores citados anteriormente, a presente iniciativa contempla estudos para a utilização de uma matéria-prima alternativa para a produção do álcool em gel, a qual pode ser obtida por meio de um processo que pode economizar muitas etapas em sua produção.

### **1.2. Objetivos**

O principal objetivo do trabalho é analisar os parâmetros de processo que influenciam a produção do álcool em gel com a utilização do espessante natural (goma xantana) em uma planta multipropósito, abordando os insumos, operações unitárias e variáveis. Para cumprir o objetivo geral, foram definidos os 3 objetivos específicos descritos a seguir:

- 1) Analisar e identificar os parâmetros de processos necessários sobre o biorreator para a obtenção da goma xantana;

- 2) Analisar as operações unitárias necessárias para a produção do álcool etílico e do álcool em gel na planta multipropósito, para melhor compreensão do processo produtivo, por meio do software Sketchup;
- 3) Produzir o álcool em gel em escala laboratorial utilizando os espessantes Carbopol® e a goma xantana, realizando uma comparação entre suas características físico-químicas, por meio de testes específicos descritos na literatura.

## **2. Revisão bibliográfica**

As indústrias químicas são compostas por plantas multipropósitos visando a economia em seus processos, e possuem operações unitárias e equipamentos que trabalham de forma conjunta, como por exemplo a separação, processamento e purificação. As etapas, de forma geral, possuem o intuito de produzir produtos por meio de alterações físicas e químicas dos materiais, por isso é de extrema importância analisar os processos químicos para estabelecer as etapas unitárias e sua respectiva ordem (FOUST et al., 1982).

As indústrias de álcool em gel ganharam destaque na economia devido ao surgimento do Coronavírus (SARS-COV-2) em 2019, que trouxe a necessidade de prevenção e o combate contra essa doença infecciosa, que pode ser feito, além de outras medidas, por meio da higienização das mãos e da lavagem de água com sabão e/ou a desinfecção com álcool em gel (SANTOS, 2002). Devido a esse cenário, um dos insumos necessários para a produção do álcool em gel se tornou escasso, gerando a necessidade de estudos para sua produção por meios alternativos (LOPES, 2020). De acordo com a empresa Asseptgel (2022), não há registros históricos concretos sobre quem inventou o álcool em gel, há poucos vestígios na história, mas há relatos que sua principal função era substituir a água e o sabão devido à falta desses recursos nos séculos passados.

### **2.1. Grau alcoólico**

O grau alcoólico ou título alcoométrico é utilizado para caracterizar os graus °GL e °INPM, são diretamente relacionados ao etanol utilizado na formulação do álcool em gel, visto nos rótulos.

O INPM é a sigla para Instituto Nacional de Pesos e Medidas e o °INPM indica a relação percentual de massa (m/m), ou seja, representa a massa de etanol puro a cada 100g de mistura aquosa de etanol e água. Já o GL é a sigla para Gay-Lussac e o °GL representa a porcentagem em volume (v/v), ou seja, é o volume de etanol puro a cada 100 ml de mistura aquosa etanol/água(FREITAS, 2020).

### **2.2. Matérias-primas para produção do álcool em gel**

#### **2.2.1.Cana-de-açúcar**

O Brasil é considerado um dos maiores produtores de cana-de-açúcar no mundo, sendo o estado de São Paulo responsável por 55% da área plantada no país (INVESTE SP, 2022). A área colhida na safra de 2021/22, chegou a 8.317 mil hectares, e em média a produtividade da cana-de-açúcar ficou em 70.357 kg/ha (CONAB, 2022).

Os principais produtos que são obtidos a partir da cana-de-açúcar são o álcool, a sacarose (açúcar) e o caldo de cana (RIBEIRO et al., 2015).

## **2.2.2.Etanol**

Segundo Jardine e Barros (2021a, 2021b), o etanol ( $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ ), também comercialmente conhecido como álcool etílico, é uma substância química solúvel em água e em alguns compostos orgânicos. Apresenta aspecto incolor, volátil, inflamável e possui cheiro e odor característico. Além disso, possui diversas aplicabilidades na indústria, tais como combustível, solvente industrial, antisséptico, conservante, na fabricação de bebidas, entre outras. Pode ser produzido por fermentações de açúcares encontrados em muitos produtos vegetais, como a cana-de-açúcar, o trigo, o milho, a aveia, o arroz, a cevada e o sorgo.

O Brasil é um dos maiores produtores de cana-de-açúcar, dessa forma ele se destaca na produção mundial de etanol. AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO (2020), o estado de São Paulo corresponde a 47% de toda a produção de etanol hidratado do Brasil. Desde 1975, quando foi colocado em prática o programa Pró-álcool, o país se tornou o segundo maior produtor de álcool e o maior produtor de etanol por cana-de-açúcar (RENEWABLE FUELS ASSOCIATION (RFA), 2022).

## **2.2.3.Água**

A água utilizada para fins laboratoriais deve passar pelo processo de purificação para eliminação de contaminantes e manter o controle de qualidade da água (MENDES et al., 2011). São adotados vários tipos de processos de purificação, mas para a produção do álcool em gel, somente três tipos são geralmente utilizados: destilação, deionização e osmose reversa (FREITAS, 2020).

### **Destilação**

O processo de destilação utiliza a diferença nos pontos de ebulição dos componentes, em que o vapor resultante do aquecimento é condensado, coletado e armazenado. Dentre todos os métodos, ele é o que remove a maior porcentagem das impurezas, no entanto esse processo possui alto custo e consumo de energia (MENDES et al., 2011; VIJYA et al., 2013).

### **Deionização**

A deionização também chamado de desmineralização ou troca iônica, é um processo que remove compostos inorgânicos por meio de colunas com esferas de resinas carregadas eletricamente, o que permite a troca seletiva dos íons por compostos inorgânicos presentes na água, porém esse processo acarreta na rápida saturação das resinas de troca iônica (MENDES et al., 2011; VIJYA et al., 2013).

## **Osmose reversa**

A osmose reversa é um processo que ocorre de forma natural, em que a água passa por uma membrana semipermeável em que a pressão externa força o fluxo do meio de maior pressão para o de menor pressão osmótica, retendo grande quantidade de contaminantes, substâncias como compostos orgânicos e inorgânicos e partículas. Todavia, como nos outros dois tipos de processo, as membranas que realizam o processo estão sujeitas a obstruções e incrustações que impossibilitam a purificação da água a longo prazo (MENDES et al., 2011; VIJYA et al., 2013).

### **2.2.4.Espessante**

Os espessantes são polímeros que possuem macromoléculas de alto peso molecular, são formados por cadeias poliméricas e podem ser obtidos por reações de adição ou condensação, as quais dependem do seu grupo funcional (ATKINS; JONES, 2011a). Ao longo dos últimos 50 anos, seu desenvolvimento está sendo amplamente utilizado em formulações de géis para indústrias de cosméticos e farmacêuticos (MARTIN, 1993).

O espessante fornece viscosidade, estabilidade e outras características para os produtos desenvolvidos (CORRÊA et al., 2005), e os mesmos são classificados em dois tipos, os sintéticos e os naturais.

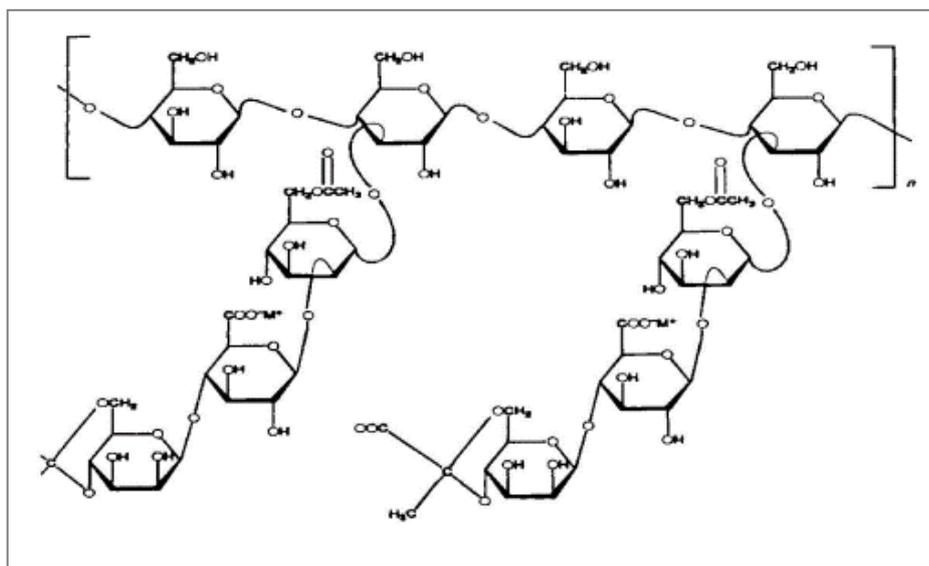
### **Polímeros naturais**

Polímeros naturais são formados por ciclos de organismos vivos, os quais produzem reações enzimáticas dentro das células por metabolismos complexos (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006). Podem ser citados como exemplos, os biopolímeros de colágeno, gelatina e xantina, e também há os polissacarídeos como ágar, ácido alginico, gomas e pectina (CONDE, 2011).

Eles são amplamente utilizados na indústria como espessantes devido à sua composição química, ligações moleculares, massa molar e distribuição da cadeia (PACE, 1991).

A xantana foi aplicada na indústria de alimentos pela primeira vez em 1969, sendo aprovada pelo FDA (Food and Drugs Administration). O interesse da sua aplicação é devido a suas propriedades que superam qualquer outro polissacarídeo utilizado no mercado. É importante ressaltar sua elevada viscosidade em baixas concentrações e sua alta massa molecular, garantindo boa estabilidade (GARCIA-OCHOA; CASTRO; SANTOS, 2000; VENDRUSCOLO, 1995). A sua estrutura pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 - Estrutura da goma xantana.



Fonte: García-Ochoa et al. (2000)

### **Polímeros sintéticos**

O Carbopol® é um dos espessantes sintéticos mais utilizados disponível no mercado. É um polímero solúvel em água, derivado de ácidos e amplamente empregado na produção de géis e cosméticos para estabilizar a reação e aumentar a viscosidade do meio (HOSMANI; THORAT; KASTURE, 2010).

Os principais ácidos encontrados em sua formulação são os ácidos carboxivinílicos e os ácidos poliacrílicos (CORRÊA et al., 2005).

Um dos pontos negativos em sua utilização é que segundo seus fabricantes, o Carbopol® pode apresentar traços de benzeno, podendo causar riscos à saúde durante o seu uso (LUBRIZOL, 2022).

#### **2.2.5. Umectante**

Os umectantes são substâncias capazes de absorver e reter a água na superfície em que é aplicada, seja na pele, no cabelo ou em outros produtos, ou seja, são substâncias hidroscópicas. Essas substâncias formam uma película na pele que auxilia na hidratação cutânea (AMIRALIAN; FERNANDES, 2018).

O glicerol, comercialmente conhecido como glicerina, é um dos umectantes mais conhecidos no mercado (AMIRALIAN; FERNANDES, 2018). É um tri-álcool com três carbonos, também chamado 1,2,3-propanotriol. Em temperatura ambiente é um líquido incolor, com sabor adocicado, altamente viscoso (UMPIERRE; MACHADO, 2013; ZHOU et al., 2008), solúvel em etanol e água.

### **2.2.6. Neutralizante**

O neutralizante possui a função de regular o pH do meio. Na produção de álcool em gel, a trietanolamina é a mais utilizada, sendo ela um composto orgânico que atribui ao gel transparência e o aspecto espesso adequado à formulação (PELUFO; DURANTE, 2021).

### **2.3. Características físico-químicas do álcool em gel**

O álcool é um composto orgânico muito utilizado como antisséptico e na desinfecção dos materiais que utilizamos no dia a dia. Entretanto, ele precisa seguir padrões nas suas características físico-químicas, como qualquer produto de saúde.

O teor de álcool etílico presente no álcool gel é uma das principais características a serem avaliadas, já que esse fator irá influenciar na eliminação de microrganismos (INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS, 2021). O teor pode ser medido por meio de alguns tipos de técnicas como a refratometria, alcoometria, picnometria, entre outras (ATKINS; JONES, 2011b). Segundo o CONSELHO FEDERAL DE QUÍMICA (2020), soluções na graduação de 70% são mais eficazes contra os microrganismos patogênicos. Em graduações maiores a evaporação da solução é mais rápida, o que causa a redução no tempo de contato entre o álcool e o patógeno. Além disso, a água em sua composição é de extrema importância, ela tem o papel de conduzir o álcool para o interior da célula do microrganismo, portanto em baixa concentração ou na ausência dela, o álcool desidrata sem matar o microrganismo.

Para análise de qualidade do álcool gel em relação à atividade antimicrobiana, podem ser citados dois tipos de técnicas, cujo objetivo é determinar a atividade antimicrobiana (ou bactericida) *in vitro*. O primeiro método é chamado de gotejamento, em que o álcool é gotejado sobre uma placa de Petri contendo uma quantidade de bactérias pré-selecionadas. Nele pode ser observado a efetividade do material quando o local em que as gotas são aplicadas, a atividade bacteriana não apresenta crescimento. A segunda técnica se chama poço, nele também é utilizado a placa de Petri, porém com duas camadas do meio de cultura. São aplicadas gotas de álcool nas placas e medida a circunferência em que a gota inibe o crescimento bacteriano (ANDRADE et al., 2007; TOIGO et al., 2020).

A medição da viscosidade é dada por viscosímetros (CORRÊA et al., 2005), que basicamente mede o tempo em que um fluido se move em uma determinada distância, levando em consideração sua densidade. Segundo a RDC N° 46/2002, a viscosidade para formulações superiores a 68%, deve ser maior ou igual a 8000 cP, quando na temperatura de 25°C.

A última característica a ser avaliada para o álcool gel é o pH, que é de suma importância para o conforto da pele humana (evitar irritabilidade e ressecamento). A medição é feita através de pHmetros

durante os processos industriais. Segundo o Formulário Nacional da Farmacopeia Brasileira (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012) o pH ideal do álcool gel deve estar entre 5 e 7.

### 3. Materiais e métodos

#### 3.1. MPP1: Produção de álcool etílico

O processo industrial do álcool etílico, conforme a metodologia da Nova Cana (2022), leva em consideração as seguintes etapas:

- 1) Lavagem: retirada de terras e outros tipos de impurezas, adjunto com um eletroímã no qual retira materiais metálicos do produto;
- 2) Moagem: através dos rolos trituradores, onde 70% da cana de açúcar é transformada em melado e 30% em bagaço. Nesse processo, a planta multipropósito já se diferencia das convencionais pois parte desse melado será destinado para produção da Goma Xantana na planta MPP2;
- 3) Eliminação das impurezas: o líquido passa por uma peneira a fim de eliminar todas as impurezas. Em seguida, o líquido ficará em repouso para sedimentar as impurezas (processo de decantação). Depois de decantar, o melado puro é extraído e recebe o nome de caldo clarificado. Esse caldo é aquecido com objetivo de esterilizar o melado, eliminando os microrganismos;
- 4) Hidrólise: moléculas são quebradas em partes menores para facilitar o processo de fermentação (BONISSATTO et al., 2014);
- 5) Fermentação: é adicionado a levedura de *Saccharomyces cerevisiae*. Esse microrganismo se alimenta do açúcar presente no caldo, quebrando as enzimas e produzindo álcool e CO<sub>2</sub>. O processo varia de 4 - 12 horas (NOVA CANA, 2022). Segundo Amorim e Leão (2005), a temperatura ideal para a produção de etanol pela *Saccharomyces cerevisiae* é de 26°C a 35°C. Essa temperatura é ideal para conter o crescimento de bactérias infecciosas e não produzir espumas no processo de fermentação.

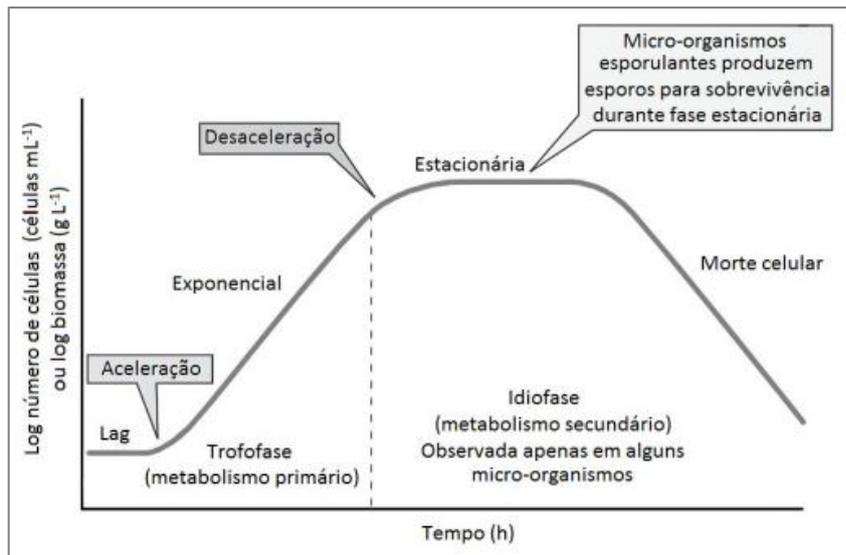
A velocidade da reação é calculada pela geração de açúcar em função da massa dos microrganismos (g de álcool x L de vinho<sup>-1</sup> x hora<sup>-1</sup>). Rápidas fermentações também reduzem o risco de contaminação por microrganismos infecciosos, aumenta a produção diária e conseqüentemente reduz o custo do produto final.

Outra característica importante é a resistência a acidez, já que no processo, é fundamental baixar o pH para controle do crescimento das bactérias infecciosas. Esse valor é normalmente mantido entre 2,5-2,8 (GÓES-FAVONI et al., 2018).

### 3.1.1. Cinética das leveduras no processo fermentativo

Para ocorrer o crescimento ideal das leveduras é um processo efetivo de transformação dos açúcares em álcool, é fundamental que as condições do meio (pH, temperatura, oxigênio e agitação) e os nutrientes sejam funcionais, conforme a Figura 2 abaixo:

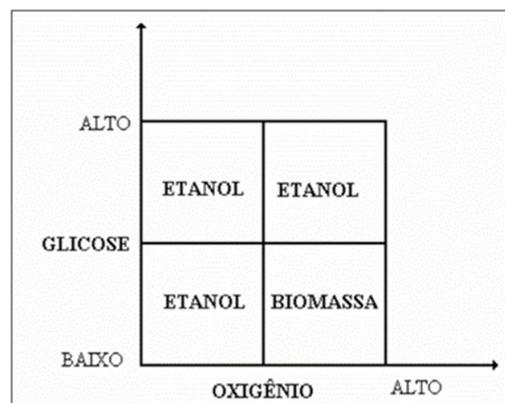
Figura 2 - Cinética das leveduras.



Fonte: Lorenzini (2012)

O comportamento da *Saccharomyces cerevisiae* em baixa concentração de glicose e alta concentração de oxigênio é a geração de Biomassa, portanto, não sendo ideal para a execução do processo, conforme Figura 3 abaixo:

Figura 3 - Parâmetros do melaço de cana-de-açúcar.

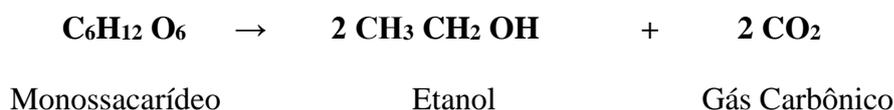


Fonte: Ribeiro, Blumer e Horii (1999)

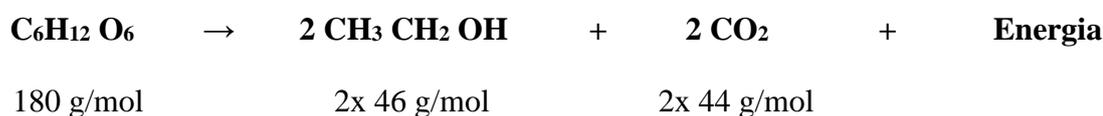
O gráfico sugere a importância do oxigênio, e portanto, de operações que garantam o seu aporte, tais como moagem e aeração, para manter o mosto de forma ideal para produção de etanol pela levedura.

### 3.1.2. Parâmetros de controle de fermentação

De acordo com Ribeiro, Blumer e Horii (1999), para a indústria, um dos principais controles nessa etapa do processo é dada pela eficiência da fermentação ( $\eta_P$  (%)) em função da importância econômica. O cálculo teórico do rendimento ( $Y_t$ ) em função do açúcar total, é baseado na lei de Gay-Lussac:



Por isso, para calcular o rendimento ideal de álcool a partir da quantidade de açúcar do mosto, temos:



$$180 \text{ g de Glicose} \rightarrow 92 \text{ g de etanol}$$

$$\text{Densidade do etanol a } 20^\circ\text{C} = 0,78932$$

$$100 \text{ g de Glicose} \rightarrow x = 51,11 \text{ g de etanol}$$

$$51,11 \text{ g de etanol} / 0,78932 = 64,75 \text{ mL de Etanol}$$

Dessa forma, verifica-se que o rendimento teórico do etanol será de 64,75 mL em função de 100 g de glicose consumida pela levedura.

No sentido prático, a indústria se baseia na quantidade de etanol produzido em função do tempo de fermentação, já que é o processo de transformação dos monossacarídeos:

$$Y_P = (\text{g de etanol obtidos no vinho} / \text{g de glicose fornecida}) * 100$$

E o processo industrial vai ser o mais eficiente possível, ao conseguir chegar mais próximo do valor teórico.

$$\eta_P(\%) = (Y_P / Y_t) \times 100$$

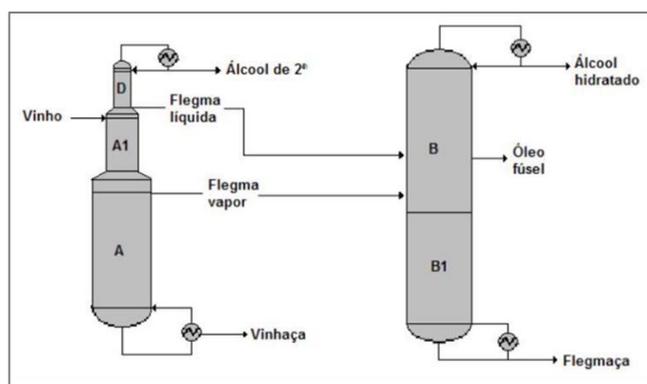
Outra forma de acompanhamento da indústria é a atenuação °Brix, que é um teste para o acompanhamento da velocidade do etanol gerado pela fermentação, ou seja a produtividade da fermentação:

$$P = (\text{g de etanol obtidos no vinho} / \text{g de glicose fornecida}) * 100$$

### 3.1.3. Destilação do etanol

A destilação convencional do etanol ocorre em duas torres de destilação, conhecidas como coluna A (CA) e coluna B (CB). Para melhor entendimento, na Figura 4 as colunas são divididas em secções D, A1, A, B e B1, que separam os produtos e resíduos do processo.

Figura 4 - Processo convencional de destilação de etanol.



Fonte: Fonseca (2014)

O vinho, que é o melado passado pelas fermentações, entra na coluna A, tendo a secção D com o menor diâmetro, para proporcionar a separação inicial dos elementos mais voláteis (gás carbônico, ar e álcoois superiores), devido à diferença de pressão.

A secção A1 é onde ocorre a alimentação e é denominada como retificadora, pois encontra-se a maior concentração de vapor de etanol, sendo, portanto, uma das principais correntes de retirada para CB, onde se produz o produto final.

A secção A é a parte da coluna em que se encontram os elementos mais pesados (vinhaça) e não recomendáveis para o processo de etanol, constando até como contaminante da reação.

As flegmas líquidas apresentam concentração de 49% a 53% m/m de etanol, sendo assim, necessário passar pela coluna B para purificação do produto final. A CB é composta por duas secções, em que a ‘B’ recebe a alimentação de flegmas e os concentrados de vapores de etanol até ser transformado no produto final, que é o etanol hidratado e um dos coprodutos, que é o óleo fúsel.

## 3.2. MPP2: Produção do espessante natural goma xantana em um biorreator

### 3.2.1. Microrganismo para produção da goma xantana

A goma xantana é produzida por meio da cepa de *Xanthomonas campestris* (RAMÍREZ et al., 1988), que é um polissacarídeo que possui uma boa recuperação do meio fermentativo, e que agrega um grande valor comercial (MARGARITIS; PACE, 1985).

### **3.2.2. Produção industrial da goma xantana**

Antes de implementar as condições operacionais em um biorreator para a produção do biopolímero, é necessário, otimizar o processo em escala piloto, estabelecer condições operacionais aplicados no biorreator, tais condições como: pH, temperatura, velocidade de agitação, aeração e tempo de fermentação (CASAS; SANTOS; GARCIA-OCHOA, 2000; KENNEDY et al., 1982; MOREIRA, 2002).

#### **Agitação e aeração**

Esses dois parâmetros são importantes para evitar a limitação de oxigênio, devido a viscosidade de formação do polissacarídeo, o que implica no desenvolvimento do crescimento microbiano (CASAS; SANTOS; GARCIA-OCHOA, 2000; SUTHERLAND, 1993). As condições operacionais durante a fermentação podem impactar o comportamento reológico do biopolímero. Durante a fermentação da goma xantana, como o sistema é não newtoniano, se houver um aumento na taxa de aeração ocorre aumento significativo da viscosidade da goma, portanto a agitação é mais significativa para a transferência de oxigênio do que a aeração (CASAS; SANTOS; GARCIA-OCHOA, 2000).

O desenvolvimento dos microrganismos possui um bom rendimento em baixas concentrações de oxigênio dissolvido, levado a consideração o ponto de vista econômico, já que em altas concentrações haveria um maior consumo de energia para promover maior aeração e agitação (SCHMIDELL, 2001).

Um estudo realizado para a produção de biomassa com velocidade de agitação de 800 rpm e com uma aeração de 0,5 vvm, produziu uma maior concentração de goma xantana (16,4 g L<sup>-1</sup>) com um tempo estimado de produção de 24 horas. Esta concentração mostrou-se superior às obtidas em estudos anteriores (CASAS; SANTOS; GARCIA-OCHOA, 2000; FARIA, 2009).

#### **Meio de cultura**

O meio de cultura, tem como principal função fornecer nutrientes para os microrganismos se desenvolverem, portanto é necessário o conhecimento nutricional para o seu desenvolvimento. Quando aplicado em um processo industrial, é importante apenas fornecer o necessário para fermentação em relação aos custos, não provocar problemas na recuperação do produto e não causar dificuldade no tratamento dos efluentes, entre outros (SCHMIDELL, 2001). O custo atribuído no processo fabril gira em torno de 20 a 30% (BORN; LANGENDORFF; BOULENGUER, 2002).

Um estudo nutricional foi realizado por Garcia-Ochoa, Castro e Santos (2000) utilizando a cana-de- e concluiu que nitrogênio, fósforo e magnésio influenciaram o crescimento de *Xanthomonas campestris* pv. *campestris*. Para a produção da xantana houve influência da adição de fósforo, enxofre e

nitrogênio. A formulação do meio de cultura seguiu as composições da Tabela 1 descritas abaixo, com pH ajustado a 7,0 mediante adição de NaOH.

Tabela 1 - Composição do meio de cultura

Componente	Quantidade e unidade de medida
Sacarose	40 g/L
Ácido cítrico	2,1 g/L
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	1,114 g/L
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	2,866 g/L
MgCl <sub>2</sub>	0,507g/L
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	0,089 g/L
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,006 g/L
ZnO	0,006 g/L
FeC <sub>13.6</sub> H <sub>2</sub> O	0,020 g/L
CaCO <sub>3</sub>	0,020 g/L
HCl concentrado 0,13 mL/L	0,13 mL/L

Fonte: Garcia-Ochoa, Castro e Santos (2000)

### **Efeito da temperatura e pH**

Cada enzima possui um valor ótimo da velocidade de crescimento a uma dada temperatura e pH, caso aumente mais a temperatura e o pH pode ocorrer a mortalidade celular (FOUST et al., 1982).

### **pH e temperatura**

Por meio de estudos, foram obtidos os valores ideais de pH e temperatura para a produção de goma xantana. Para o crescimento *Xanthomonas campestris* em cultivo de batelada foi estabelecido uma faixa de pH entre 6,0 – 7,5 e a faixa de temperatura entre 25 – 27 °C e para a produção da goma xantana a faixa de pH 7,0 - 8,0 e temperatura de 25-30 (ESGALHO; ROSEIRO; COLLAÇO, 1995).

### **Biorreatores**

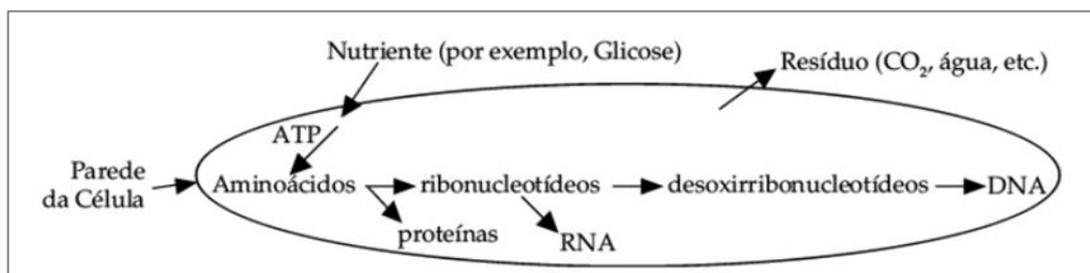
Segundo Fogler (2009), os biorreatores, são equipamentos importantes para as reações biológicas, com intuito de manutenção da vida, fornecendo parâmetros que viabilizam as reações enzimáticas presentes no crescimento celular.

Na indústria química, vem ganhando grande destaque e se tornando cada vez mais importante o emprego de microrganismos nos processos, devido a otimização de tais processos e sua viabilidade econômica. No futuro espera-se que as indústrias não tenham dependência do consumo do petróleo e sim de microrganismos.

Na biossíntese das células, que também podem ser chamadas de biomassa, as mesmas consomem os nutrientes disponíveis, para crescer e se desenvolver. As células se nutrem, geram energia e produzem mais células com intuito de gerar no processo o produto final.

Para a produção de células é necessário ocorrer a divisão celular para a proliferação de células, conforme Figura 5 abaixo:

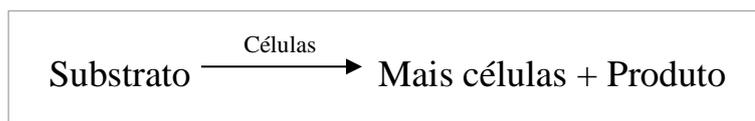
Figura 5- Exemplos de reações que ocorrem na célula.



Fonte: Fogler (2009)

O substrato é o meio de cultura, rico em nutrientes como nitrogênio, carbono, entre outros, juntamente com alguns produtos químicos necessários para o crescimento celular, conforme o balanço descrito na Figura 6 abaixo:

Figura 6 - Balanço do processo.



Fonte: adaptado do FOGLER (2009)

### Cinética do processo fermentativo

Nos processos de fermentação anaeróbica, em meio a alta complexidade, os microrganismos se desenvolvem até atingir um produto de interesse econômico. A célula é responsável por essa transformação, se reproduzindo, alterando o meio em que vive e as concentrações dos participantes da fermentação. O grande problema das cinéticas de reação, é reconhecer todas as substâncias envolvidas no processo fermentativo para que as células se desenvolvam. Partindo de uma concentração inicial adequada para o processo e a velocidade inicial específica de crescimento dos microrganismos (BORZANI, 1986a).

Durante a fermentação da glicose por meio da *Xanthomonas campestris*, durante a fermentação ocorrem duas fases: a tropa fase, em que ocorre um alto crescimento dos microrganismos e a produção de baixa quantidade do biopolímero, e a idiofase, em que ocorre pouco crescimento celular e mais de 50% do biopolímero é formado (SHU; YANG, 1990).

### **Modelo matemático e modelo cinético**

Os modelos fenomenológicos são a correlação de hipóteses teorias e testes que explicam o comportamento das variáveis de processo observadas experimentalmente no processo. As equações devem atender os critérios das equações de conservação de massa, energia e quantidade de movimento e físico químico para garantir a confiabilidade dos resultados (BORZANI, 1986b).

Para explicar sobre o processo que envolve a massa celular, n° de células, não deve ser considerado o comportamento intracelular. Portanto, pode-se utilizar o modelo não estruturado que atende o processo previsão do comportamento cinético do processo.

Dessa forma, para explicar o processo de produção cinética da cepa *Xanthomona campestri* será utilizado o modelo do tipo não-estruturado do Weiss e Ollis (1980), composto por equações de Verhulst-Pearl e Luedeking-Piret conforme a Figura 7 abaixo:

Figura 7- Equações de Verhulst Pearl e Luedeking-Piret

$$\frac{dX}{dt} = \mu_{m\acute{a}x} X \left( 1 - \frac{X}{X_{m\acute{a}x}} \right)$$

$$\frac{dP}{dt} = m \frac{dX}{dt} + \lambda X$$

sendo  $m = \frac{1}{y_{X/P}}$

$$- \frac{dS}{dt} = \alpha \frac{dX}{dt} + \beta X$$

sendo  $\alpha = \frac{1}{y_{X/S}}$

Fonte: adaptado do Weiss e Ollis (1980)

sendo que, X, S e P referem-se à célula, substrato e produto:

$\mu_{max}$ . – velocidade específica máxima de crescimento ( $h^{-1}$ );

$X_{max}$ . – concentração celular máxima (g/L);

$m$  – produto associado ao crescimento celular (gP/gX);

$\lambda$  – produto não-associado ao crescimento celular gP/(gX.h);

$\alpha$  – consumo de substrato devido ao crescimento celular (gS/gX);

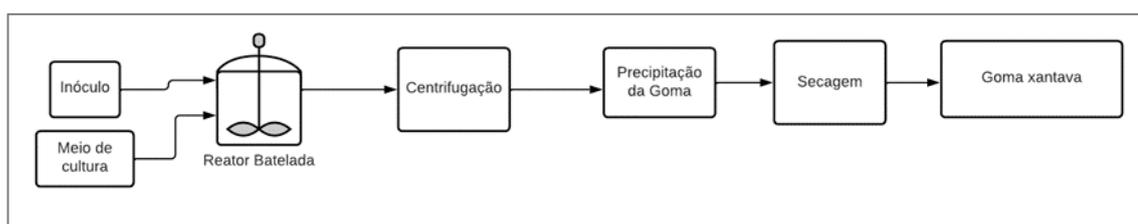
$\beta$  – consumo de substrato para manutenção celular gS/(gX.h).

É fundamental conhecer os parâmetros, (X, S e P) em função do tempo, para que os parâmetros como  $(\mu_{max}, X_{max}, m, \lambda, \alpha \text{ e } \beta)$ , possam ser estimados por meio de auxílio de métodos numéricos. E por fim, o fator de conversão do substrato a produto YP/S, calculado a partir da relação  $(m/\alpha)$ , descrita acima.

### Recuperação da goma xantana

pós o término da fermentação, a xantana passa por processos de recuperação e purificação. O processo de recuperação consiste na evaporação do mosto. A secagem é feita a vácuo e deve ser evitada a degradação química, coloração excessiva ou mudanças na solubilidade do produto. A xantana seca é então moída a uma granulometria pré-determinada, dependendo da aplicação do produto (MARGARITIS; PACE, 1985), conforme descrito na Figura 8 a seguir:

Figura 8 - Fluxograma de produção da goma xantana.



Fonte: Elaborado pelos autores

### 3.3. MPP3: Produção do álcool em gel

Para produção do álcool gel, foi seguido com base nas proporções estipuladas pela Farmacopeia brasileira (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012), conforme descrito na Tabela 2. O álcool gel, é produzido por uma mistura de componentes tais eles, água deionizada, álcool etílico 96°C e espessante.

Tabela 2 - Componentes para fabricação do álcool gel.

Componentes	Quantidade
álcool etílico 96°GL	75,73g
carbôner 980	0,5g
<i>solução de trietanolamina a 50% (p/v)</i>	qs
Água purificada qsp	100g

Fonte: adaptado do MINISTÉRIO DA SAÚDE (2012)

Na produção do álcool gel com espessante natural, serão testadas as proporções mássicas dos insumos para que suas prioridades sejam ideais. As características proporcionam um parâmetro de comparação entre Carbopol® e goma xantana, para análise de viabilidade do processo.

### **3.3.1. Análises organolépticas**

Para determinação dos parâmetros como: cor, odor e aspectos físicos das amostras, foram analisadas por meio de beakers transparentes em temperatura ambiente e com a presença de luz natural.

### **3.3.2. Determinação do pH**

Para determinação do pH, foi utilizado o pHmetro Mettler Toledo Seven Easy calibrado, e o pH foi determinado através da imersão do eletrodo diretamente na amostra.

### **3.3.3. Determinação da densidade**

A determinação da densidade, foi realizada utilizando um picnômetro de vidro de acordo com a fórmula abaixo:

$$d = (M1 - M0) / M1$$

em que:

M0 = picnômetro vazio;

M1 = picnômetro cheio com álcool gel.

### **3.3.4. Determinação da viscosidade**

Para determinação da viscosidade, foi utilizado o viscosímetro Brookfield série LV, fuso n°5 na velocidade 20 RPM (rotações por minuto) à temperatura ambiente de 25°C ±1, para a realização das leituras das amostras, foram colocadas em diferentes beckeres para possibilitar a correta medição.

### **3.3.5. Determinação do teor alcoólico**

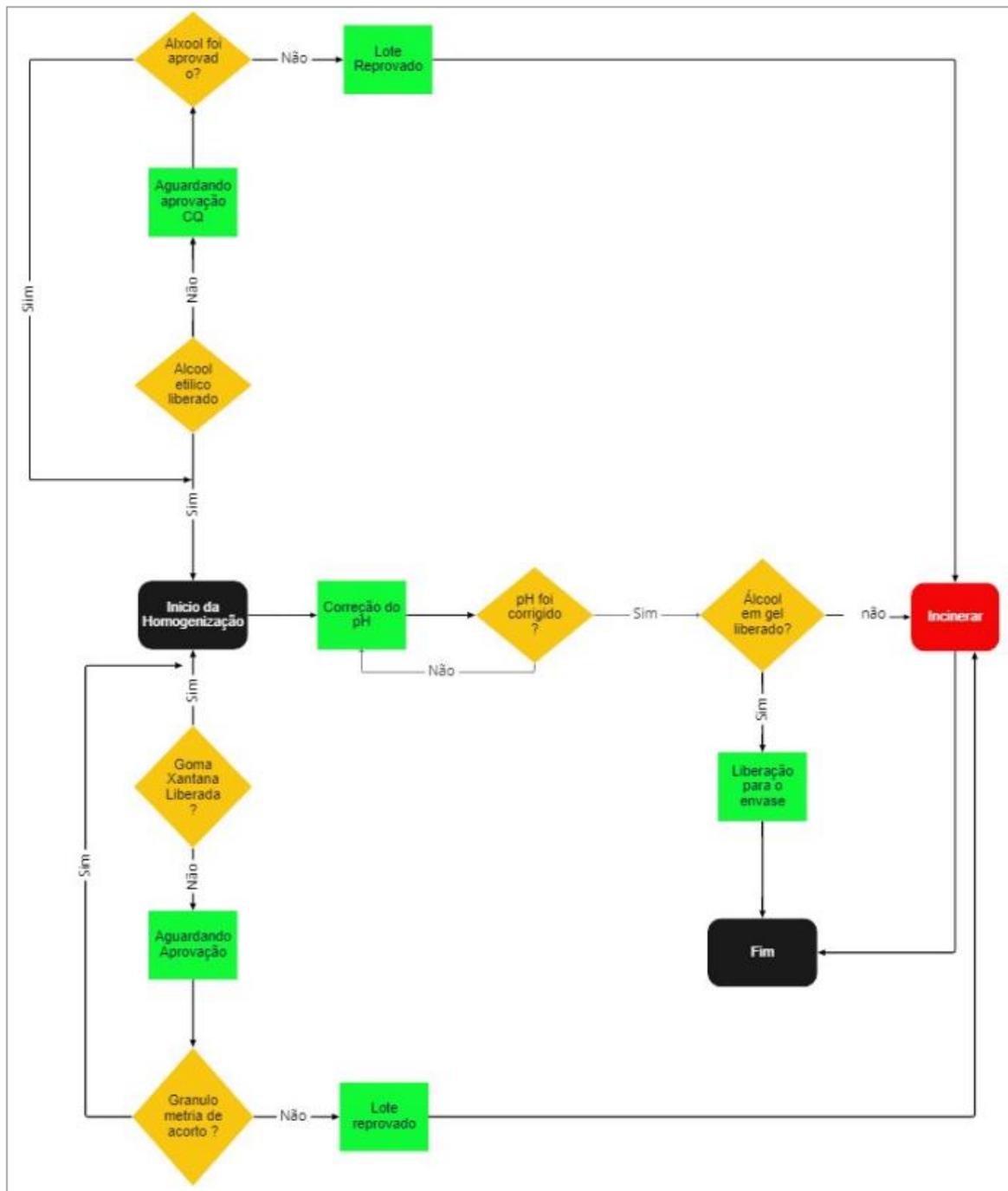
Para realizar a medição do teor alcoólico do álcool em gel, foi utilizado o equipamento Refratômetro Arton Paar Abbrmat 350, devidamente calibrado conforme manual, e as amostras analisadas foram em temperatura de 20°C. As leituras foram realizadas em escala Brix° e em índice de refração (IR), para posteriormente serem convertidas em teor alcoólico por meio dos dados contidos na tabela “Concetrative properties of aqueous solutions: density, refractive index, freezing point depression, and viscosity”(HAYNES, 2004).

### 3.4. Fluxogramas

#### 3.4.1. Fluxograma de tomada de decisão

Foi desenvolvido um fluxograma de tomada de decisão, do qual demonstra todo o processo de fabricação do álcool em gel, sendo esse representado pela Figura 9.

Figura 9 - Fluxograma de tomada de decisão.

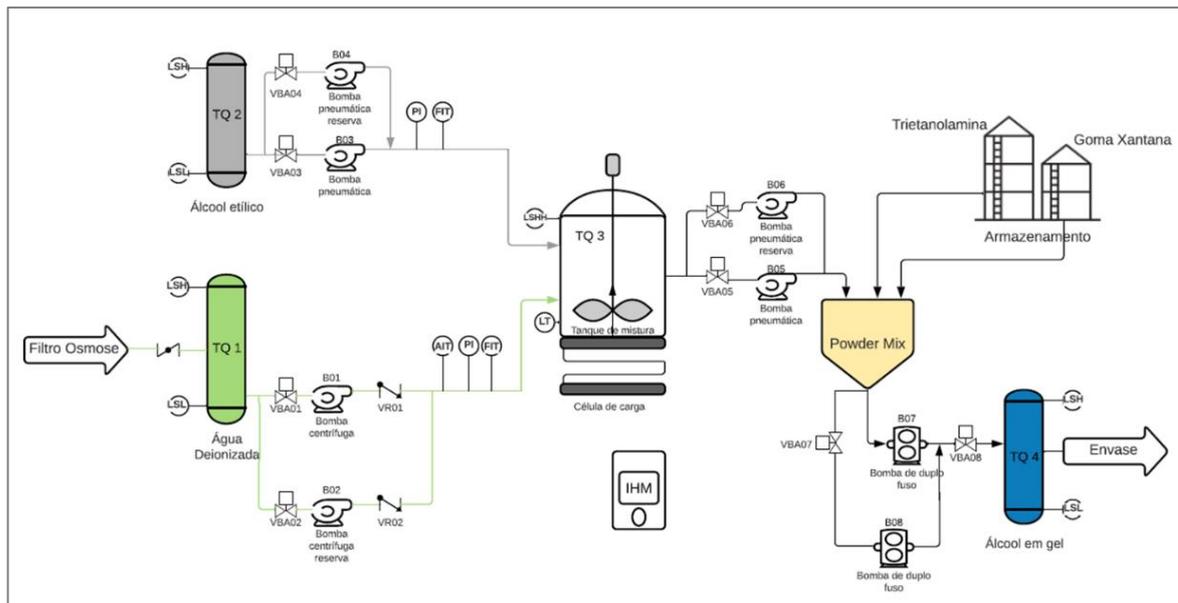


Fonte: Elaborado pelos autores

## Fluxograma de processo (PFD)

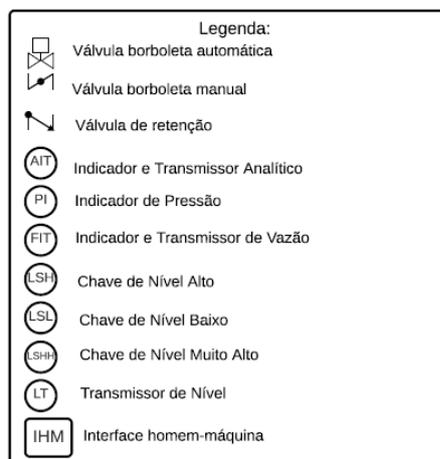
As Figuras 10 e 11 representam o fluxograma de processo (PFD) e a legenda dos componentes respectivamente, contemplando as etapas de produção do álcool gel, bem como o silo, os tanques e as bombas utilizadas durante o processo.

Figura 10 - Fluxograma básico do processo de produção de álcool em gel.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 11 - Legenda do fluxograma.



Fonte: Elaborado pelos autores

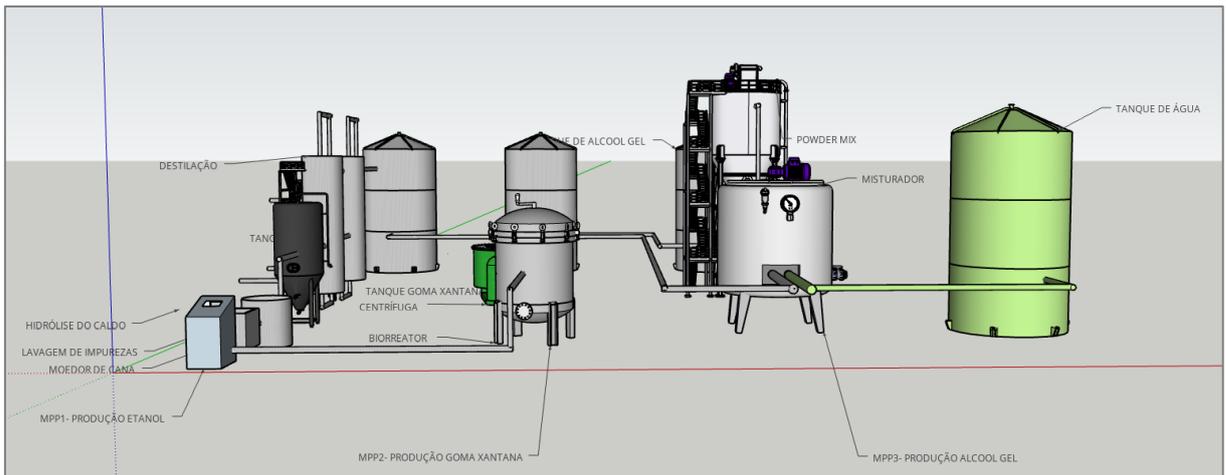
## Modelagem 3d da planta multipropósito

Para execução do projeto tridimensional foi utilizado o software SketchUp 3D, que tem como base os fundamentos levantados pelos fluxogramas teóricos. O dimensionamento das operações

unitárias não levou em consideração a escala real, já que a modelagem é para melhor visualização da planta multipropósito.

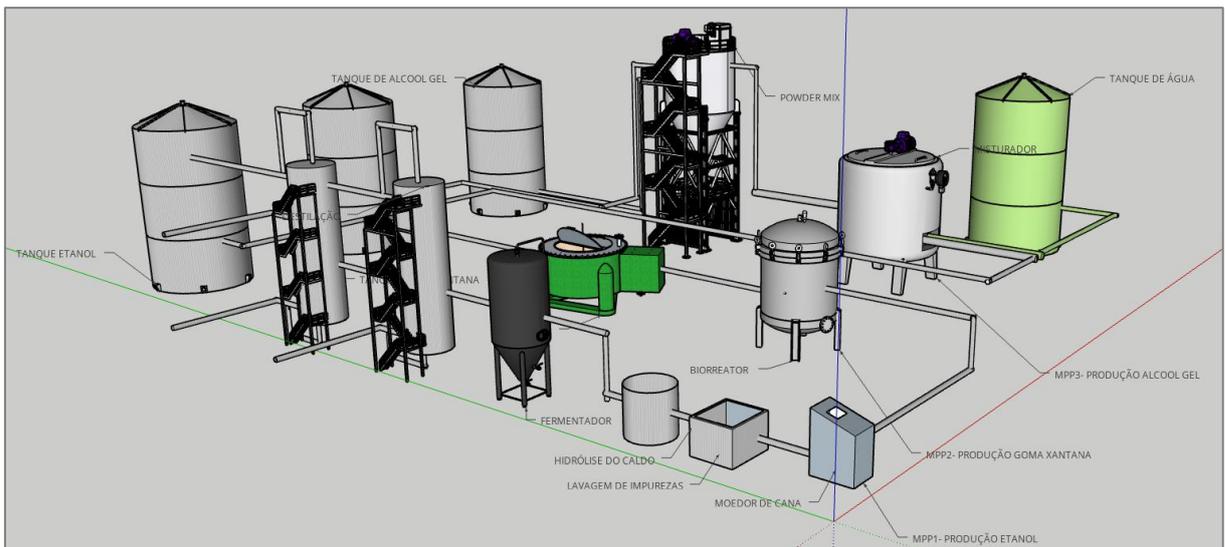
As texturas e cores aplicadas nas tubulações e tanques, são para facilitar a identificação de um tipo específico de material utilizado no processo e consequentemente se aproximar da realidade industrial. Dessa forma, as Figuras 12 e 13 abaixo mostram as vistas de dois ângulos distintos.

Figura 12 - Planta multipropósito vista de frente.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 13 - Planta multipropósito vista de lado.



Fonte: Elaborado pelos autores

## 4. Resultados e discussão

O objetivo dos testes foi realizar a produção do álcool gel tanto com o espessante goma xantana quanto com o espessante Carbopol® em escala laboratorial, dessa forma, sendo possível comparar seus componentes de produção e as suas características de processos. Todas essas informações foram úteis para a análise da viabilidade econômica e das condições de trabalho para manter as características físico-químicas dentro da faixa definida pela Anvisa.

Após a confecção do álcool com goma xantana, foi realizada uma comparação com o álcool do mercado da marca Coperalcool. Esse resultado mostra os benefícios de utilizar o espessante natural e a conservação das características físico-químicas do álcool gel.

Para isso, foram realizados nove testes em escala laboratorial do álcool gel com espessante natural, e triplicata dos testes utilizando o polímero sintético Carbopol®, analisando todas as suas características físico-químicas.

### 4.1. Equipamentos

Para realizar os testes, foram utilizados os seguintes equipamentos demonstrados na Tabela 3 abaixo:

Tabela 3 - Equipamentos utilizados para a realização dos testes.

Equipamentos	Medições
Balança analítica adventure OHAUS	Massa (g) – 0,05g a 200g ± 0,01
Thermomix	Temperatura (°C)
PHmetro METTLER TOLEDO	pH – 0 a 14 ± 0,2
Picnômetro	Densidade (g/cm <sup>3</sup> )
Viscosímetro Brookfield Modelo RV 20 RPM 5 FUSO 20°C	Viscosidade (cP)
Refratômetro Arton Paar Abbrmat 350	Teor de álcool (%)

Fonte: Elaborado pelos autores

### 4.2. Análises organolépticas

Os testes organolépticos foram realizados para avaliar a aparência física do produto, sendo estas características que podem ser identificadas pelos sentidos como: aspecto, odor, tato, sabor e cor (BRASIL, 2008).

Durante as análises organolépticas realizadas, foi objetivada a comparação do álcool gel produzido com a goma xantana (Tabela 4) e a com o Carbopol® (Tabela 5). Dessa forma, foi possível verificar a cor, o odor e o aspecto de cada um deles, e observou-se os aspectos visuais das amostras. Também foi observado que o parâmetro cor apresentou uma diferença visível, conforme a coloração do espessante natural ser diferente do Carbopol® apresentando uma coloração levemente amarelada.

A homogeneização das amostras mostrou-se ideal, com a dissolução completa da goma xantana devido a sua característica lipossolúvel e com a ajuda de um meio auxiliar de glicerina. O produto não apresentou formação de grumos e precipitados, e o teste de odor foi realizado diretamente pelo olfato.

Tabela 4 - Álcool gel produzido com a goma xantana.

<b>Amostras</b>	<b>Cor</b>	<b>Odor</b>	<b>Aspectos</b>
1	Levemente amarelado	Odor característico	Homogêneo
2	Levemente amarelado	Odor característico	Homogêneo
3	Levemente amarelado	Odor característico	Homogêneo
4	Levemente amarelado	Odor característico	Homogêneo
5	Levemente amarelado	Odor característico	Homogêneo
6	Levemente amarelado	Odor característico	Homogêneo
7	Levemente amarelado	Odor característico	Homogêneo
8	Levemente amarelado	Odor característico	Homogêneo
9	Levemente amarelado	Odor característico	Homogêneo

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 5 - Álcool gel produzido com o Carbopol®.

<b>Amostras</b>	<b>Cor</b>	<b>Odor</b>	<b>Aspectos</b>
1	Incolor	Odor característico	Homogêneo
2	Incolor	Odor característico	Homogêneo
3	Incolor	Odor característico	Homogêneo

Fonte: Elaborado pelos autores

### 4.3. Composição

Para produção do álcool gel com o Carbopol®, foram seguidas as proporções mássicas da tabela da Farmacopeia Brasileira (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2012).

Para o álcool com a goma xantana, as proporções foram realizadas conforme os testes em laboratório, para que suas características atendessem ao mercado, conforme a Tabela 6 a seguir:

Tabela 6 - Composição do álcool em gel com a goma xatana.

<b>Materiais</b>	<b>Quantidades</b>	<b>Função</b>
Goma xantana 100% pura	4,65 g	Espessante
Água purificada	300 ml	Hidratante
Glicerina	50ml	Diluidor do espessante
Etanol anidro 96° GL	700 ml	Desinfetante

Fonte: Elaborado pelos autores

Ademais, foi observado que a quantidade máxima de massa da goma xantana, de forma que ela não desnaturasse com a adição de álcool etílico, foi de até 9g/L. Porém, 4,65g é o limite máximo de massa que o espessante em presença do álcool pode proporcionar a viscosidade desejada.

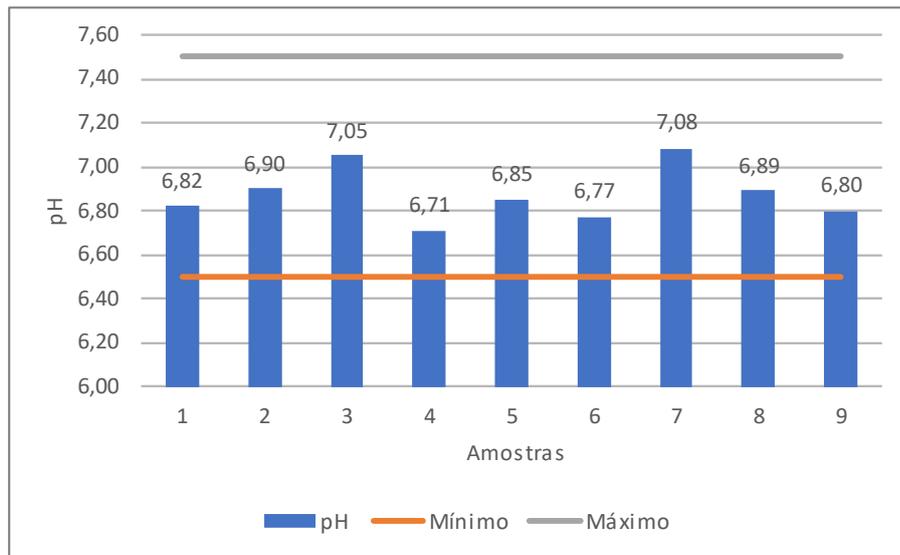
#### 4.4. pH

A importância do teste de pH no álcool em gel, é devido o produto possuir o contato direto com a pele humana, o produto deve apresentar um pH compatível com a região, pois a pele humana possui um pH médio de 5,5 (OLIVEIRA, 2009).

A produção do álcool em gel com a goma xantana apresentou um pH estável em todas as etapas. Nesse caso, não foi necessário a utilização de um corretor de pH, pois a goma xantana tem um pH estável em qualquer condição. Na Figura 14, é observado no gráfico que o pH da goma xantana variou de 6.71 a 7.08, permanecendo dentro da faixa aceitável sem a necessidade de adição de um corretor de pH.

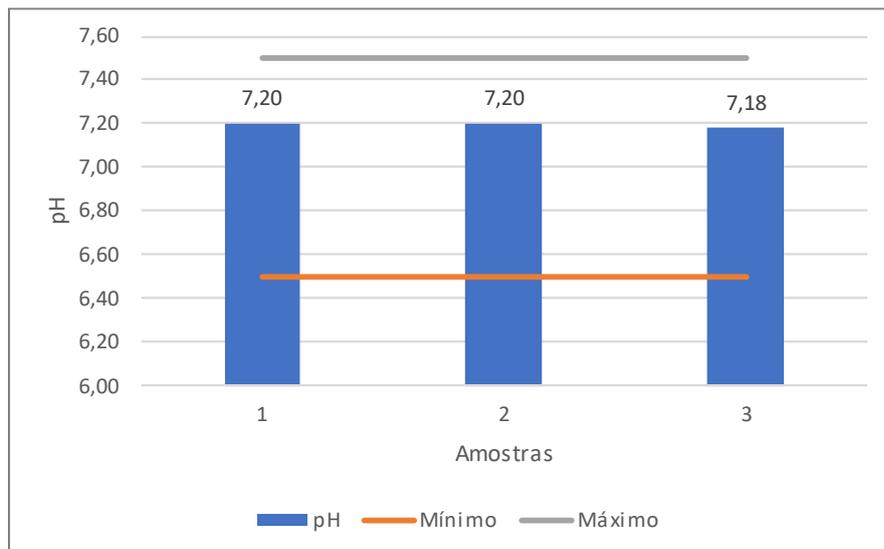
Já para a produção do álcool gel com o espessante Carbopol®, foi gerado um produto com um pH mais elevado, durante o seu processo de homogeneização foi necessário o uso da trietanolamina para a correção do pH. Na Figura 15, o pH mostra-se constante após a adição da trietanolamina.

Figura 14 - pH do álcool gel produzido com goma xantana.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 15 - pH do álcool gel produzido com Carbopol®.

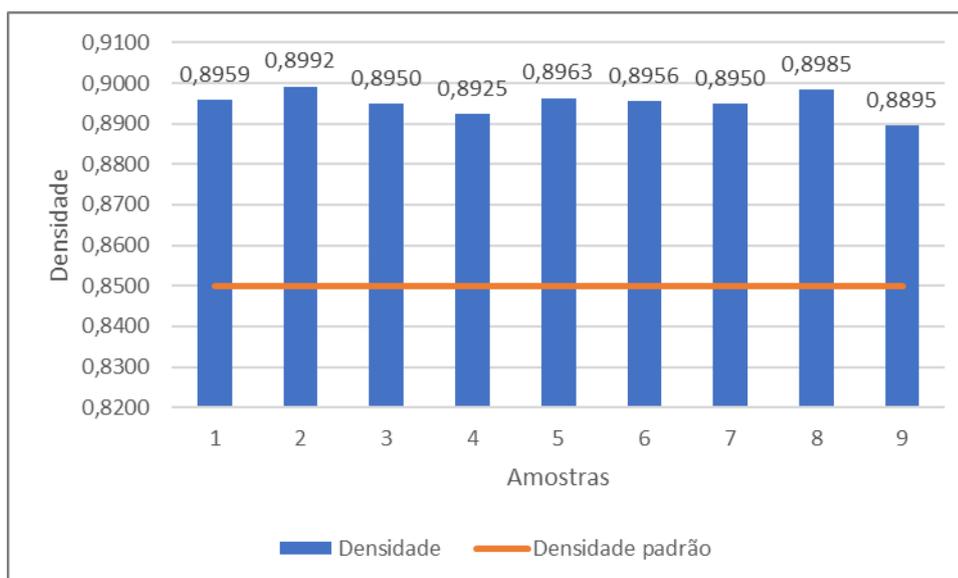


Fonte: Elaborado pelos autores

#### 4.5. Densidade

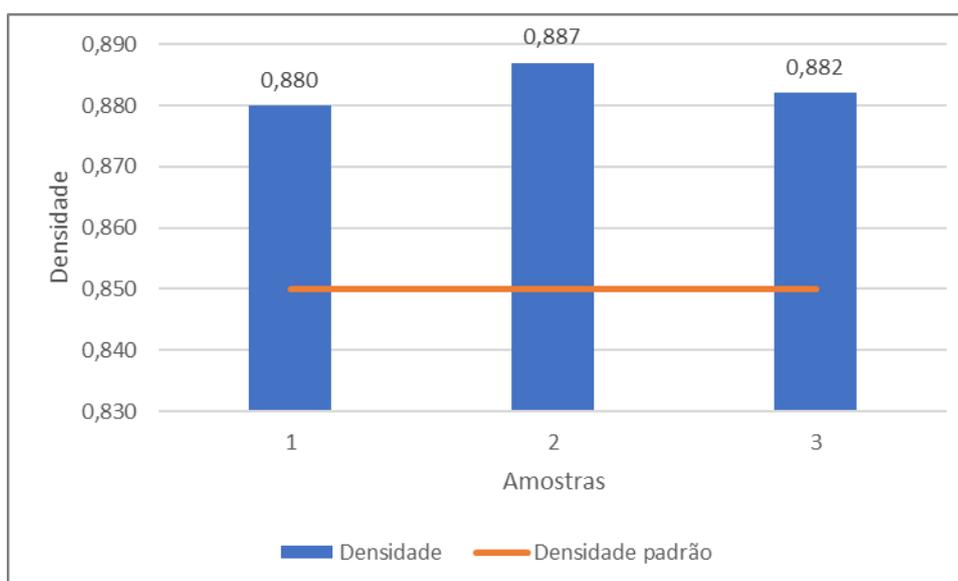
Densidade é a relação entre a massa e o volume do material, a densidade considerada padrão do álcool em gel é de 0,870, entretanto, conforme as Figuras 16 e 17 abaixo, apresentou-se valores acima do padrão, variando entre 0,870 e 0,890.

Figura 16 - Densidade do álcool gel produzido com goma xantana



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 17 - Densidade do álcool gel produzido com Carbopol®



Fonte: Elaborado pelos autores

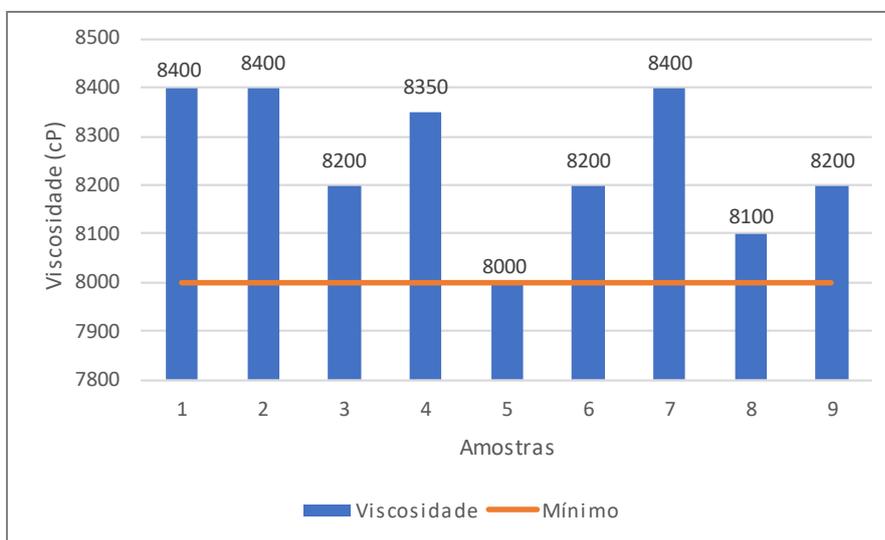
#### 4.6. Viscosidade

Os Conforme a RDC nº 46/2002 (BRASIL, 2002), a viscosidade do álcool em gel a 70% deve ser maior que 8.000 cP (centipoise) a 25°C, para diminuir o número de acidentes por queimaduras devido a ingestão do produto.

Portanto, os dois álcoois géis atingiram viscosidade mínima de acordo com a legislação, dessa forma, foi utilizado para o álcool em gel produzido com goma xantana, foi feita a avaliação da massa

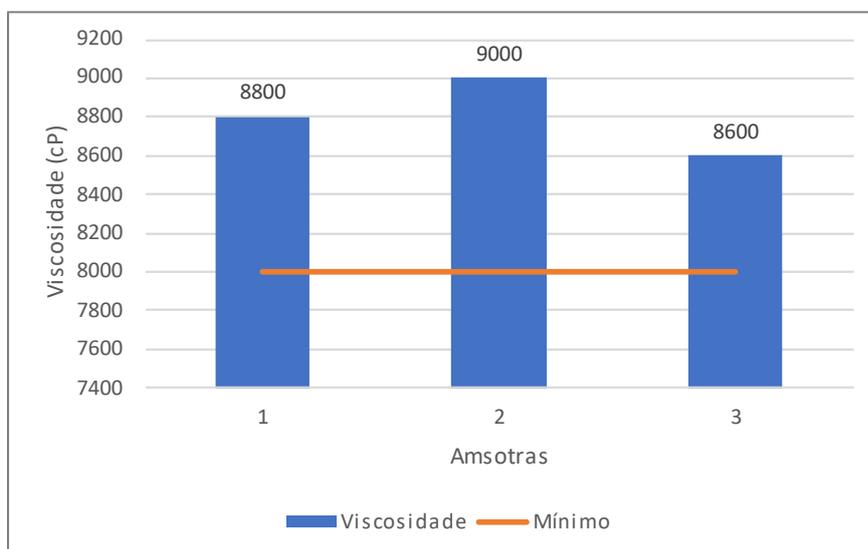
necessária de espessante para alcançar o valor da viscosidade ideal, já com o Carbopol® as proporções mássicas foram de acordo com a Farmacopeia Brasileira. As Figuras 18 e 19 abaixo, representam os valores obtidos durante os testes:

Figura 18 - Viscosidade do álcool gel produzido com a goma xantana.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 19 - Viscosidade do álcool gel produzido com o Carbopol®.



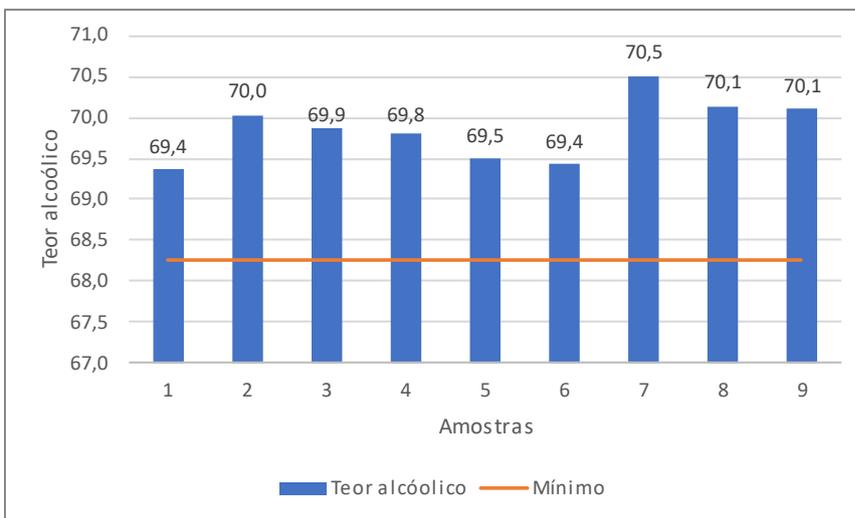
Fonte: Elaborado pelos autores

#### 4.7. Teor alcólico

Os resultados dos testes realizados no laboratório, apresentaram 44,44% das amostras com teor alcólico acima de 70%, os outros 55,56% das amostras chegaram a valores médios de 69,58% (Figuras 20 e 21). Conforme a RDC N° 422, de 16 de setembro de 2020, no Art.4°§2 (DIÁRIO OFICIAL DA

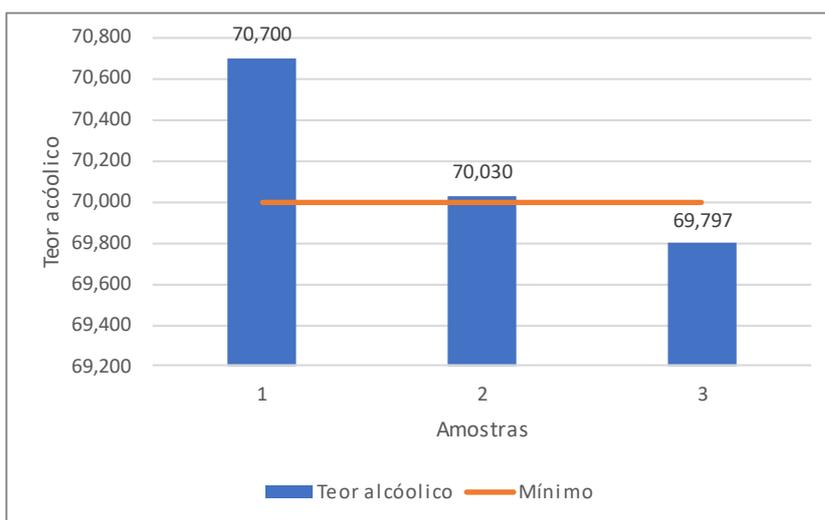
UNIÃO, 2020), é indicado que os produtos cosméticos devem respeitar o teor alcoólico de mínimo 68,25% (m/m). Portanto, as amostras analisadas se mostraram dentro da faixa permitida. Além dos gráficos de teor alcoólico há também das Figuras 22 e 23 demonstrando os índices de refração do álcool em gel e as Figuras 24 e 25 os ° Brix do álcool gel produzido com goma xantana e Carbopol® respectivamente.

Figura 20 - Teor alcoólico do álcool gel produzido com goma xantana.



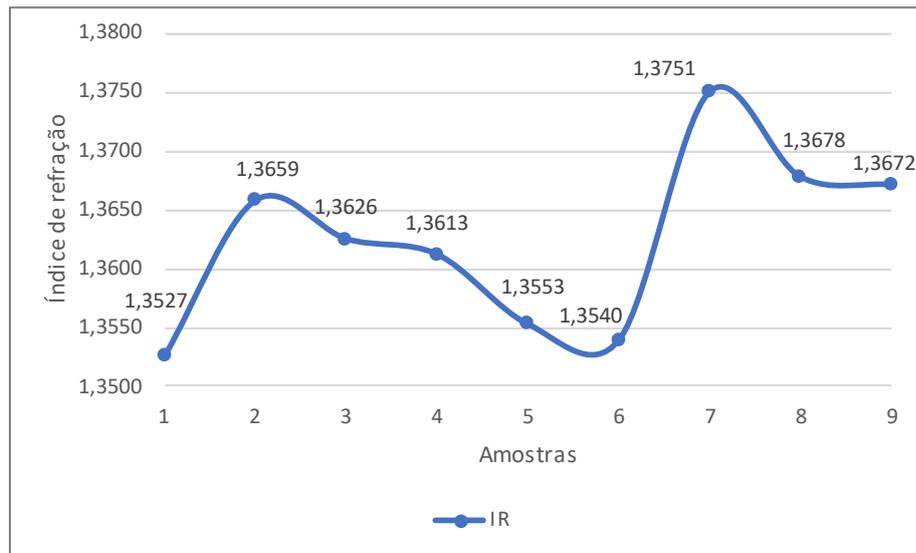
Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 21 - Teor alcoólico do álcool gel produzido com Carbopol®.



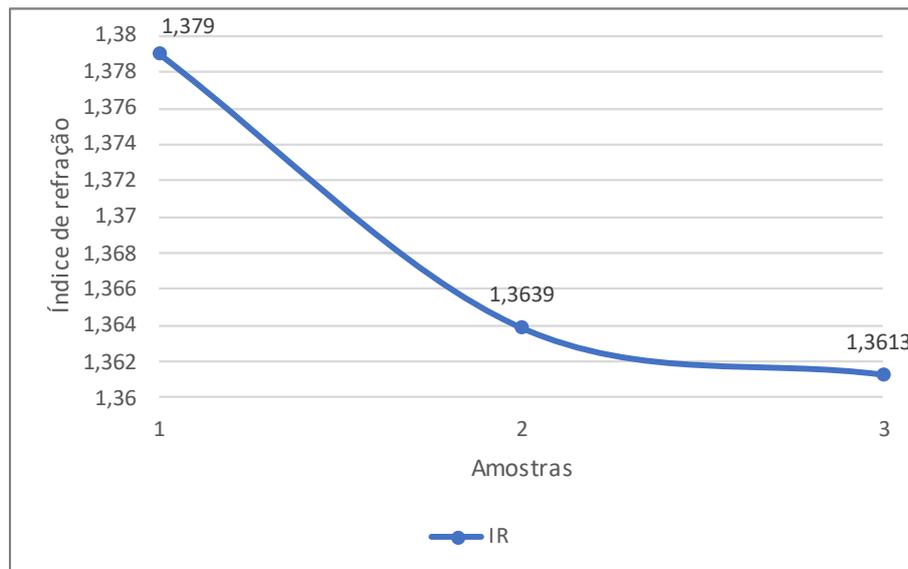
Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 22 - Índice de refração do álcool gel produzido com goma xantana.



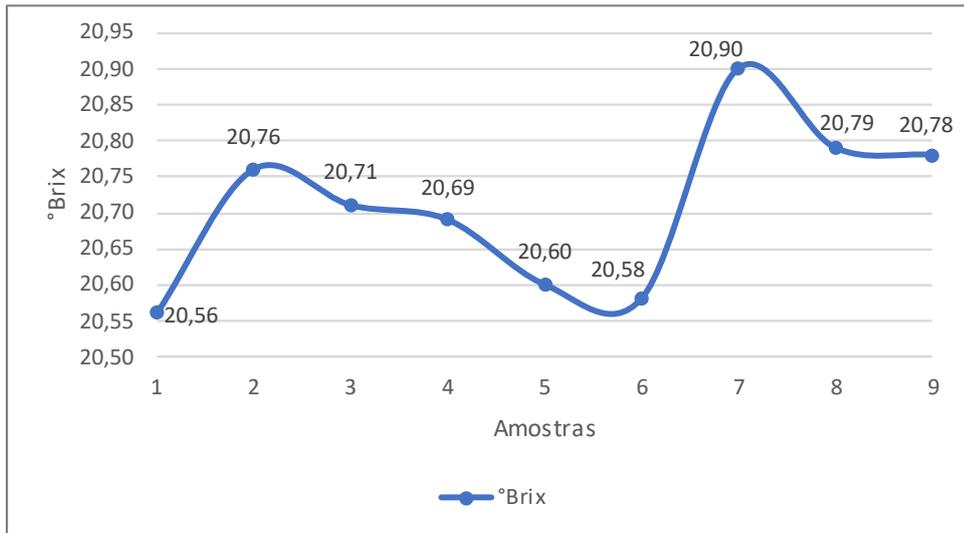
Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 23 - Índice de refração do álcool gel produzido com Carbopol®.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 24 - °Brix do álcool em gel produzido com goma xantana.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 25 - °Brix do álcool em gel produzido com Carbopol®.



Fonte: Elaborado pelos autores

#### 4.8. Análise econômica

Em função do custo das matérias-primas no mercado, a goma xantana encarece a produção do álcool gel (Tabela 7), ou seja, sendo 1,7% mais caro que a produção do álcool gel com o Carbopol® (Tabela 8).

Tabela 7 - Média de custo para a produção do álcool gel com goma xantana

Matéria-prima	Quantidade		Valor (R\$)
	Massa/Volume	Unidades	
Goma xantana 100% pura	4,65	g/L	R\$ 35,28
Água	300	g/L	R\$ 1,10
Glicerina	50	g/L	R\$ 1,45
Etanol anidro 96° GL	700	ml	R\$ 40,38
<b>Preço total =</b>			<b>R\$ 78,21</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 8 - Média de custo para a produção do álcool gel com Carbopol®

Matéria - prima	Quantidade		Valor (R\$)
	Massa/Volume	Unidades	
Carbopol 940	2,5	g/L	R\$ 0,92
Glicerina	100	g/L	R\$ 2,89
Água	300	mL	R\$ 1,10
Trietanolamina	3,5	mL	R\$ 0,35
Etanol anidro 96° GL	700	mL	R\$ 40,38
<b>Preço total =</b>			<b>R\$ 45,64</b>

Fonte: Elaborado pelos autores

Entretanto, é importante ressaltar que, a goma xantana é derivada de um processo industrial, desta forma, impactando na diminuição do custo de produção.

Na Tabela 9 seguinte, foi feito o comparativo analisando as características físico-químicas do álcool gel produzido com a goma xantana e o da marca Coperalcool Lote:1403202213 disponível no mercado.

Tabela 9 - Comparativo físico-químico entre o álcool gel produzido com goma xantana e o da Coperalcool

Álcool gel	Características			
	Média IR	Média % de álcool	Média de densidade	Média de viscosidade
Goma xantana	1,3702	70,26	0,8953	8225
Coperalcool	1,3663	70,06	0,8626	7200

Fonte: Elaborado pelos autores

## **5. Considerações finais**

Os resultados encontrados experimentalmente, utilizando a goma xantana como espessante natural para a fabricação de álcool em gel, mostraram-se satisfatórios comparados às análises com o álcool em gel produzido com o espessante sintético (Carbopol®) e com o álcool em gel da Coperalcool. Dessa forma, foi comprovado que a goma xantana não apresenta nenhuma não conformidade, e consegue atender os parâmetros de qualidade, com exceção do parâmetro de coloração. No entanto, a legislação atual não possui um padrão obrigatório a ser seguido, o que torna viável a produção com a coloração levemente amarelada.

Conforme a viabilidade econômica analisada neste trabalho, foi observado que o custo da goma xantana será maior, mas de acordo com os fluxogramas de processos descritos na planta MPP2, o meio de cultura seria reaproveitado do processo da planta MPP1 o que poderia acarretar na diminuição do custo de produção desse insumo.

## 6. Referências

- AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, G. N. E B. (ANP). **Etanol**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/producao-e-fornecimento-de-biocombustiveis/etanol>>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- AMIRALIAN, L.; FERNANDES, C. R. Shampoos. **Fundamentos da Cosmetologia**, v. 30, p. 30–33, 2018.
- AMORIM, H. V. DE; LEÃO, R. M. **Fermentação alcoólica: ciência e tecnologia**. 1. ed. Piracicaba: Fermentec Publicações Editora e Comercio de Livros Ltda, 2005.
- ANDRADE, D. et al. Atividade antimicrobiana in vitro do álcool gel a 70% frente às bactérias hospitalares e da comunidade. v. 40, n. 2, p. 250–254, 2007.
- ANVISA. **Publicadas orientações sobre a produção de álcool gel**. Disponível em: <<https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/noticias-anvisa/2020/publicadas-orientacoes-sobre-a-producao-de-alcool-gel>>. Acesso em: 16 abr. 2022.
- ASSEPTGEL. **Quem inventou o álcool gel? Foi mesmo Lupe Hernández?** Disponível em: <<https://asseptgel.com.br/quem-inventou-alcool-gel-lupe-hernandez/>>. Acesso em: 15 mar. 2022.
- ATKINS, P.; JONES, L. Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente. Em: NOWACZYK, D. W.; AMARAL, V. DE A. (Eds.). **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed Aditora S. A., 2011a. p. 770–777.
- ATKINS, P.; JONES, L. **Princípios de Química: Questionando a Vida Moderna e o Meio Ambiente**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed Editora S.A., 2011b.
- BONISSATTO, R. C. et al. Processo de produção de etanol a partir da hidrólise ácida de biomassas lignocelulósicas. **Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, p. 1–8, 2014.
- BORN, K.; LANGENDORFF, V.; BOULENGUER, P. Xanthan. In: STEINBÜCHEL, A.; VANDAMME, E. J.; DE BAETS, S. . **Biopolymers**, v. 5, p. 259–291, 2002.
- BORZANI, W. Cinética de processos fermentativos. **Rbe: Revista Brasileira de Engenharia. Caderno de Engenharia Química**, v. 3, p. 1–59, 1986a.
- BORZANI, W. Cinética de processo fermentativo In: BORZANI, W., LIMA, U. A., AQUARONE, E. ed. . **Engenharia bioquímica**, p. 165–184, 1986b.
- BRANDÃO, L. V. et al. Produção de goma xantana obtida a partir do caldo de cana. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, p. 217–222, dez. 2008.
- BRASIL. **Resolução da diretoria colegiada - RDC N° 46, de 2 de fevereiro de 2002. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA** Resolução da diretoria colegiada, , 20 fev. 2002.
- BRASIL. **Guia de controle de qualidade de produtos cosméticos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Vigilância Sanitária. ANVISA, 2008.
- CASAS, J. A.; SANTOS, V. E.; GARCIA-OCHOA, F. Xanthan gum production under several operational conditions: molecular structure and rheological properties. **Enzyme and Microbiology Technology**, p. 282–291, fev. 2000.
- CENTERS FOR DISEASE CONTROL. National nosocomial infection study report. **Centers for Disease Control** , p. 2–14, 1979.

CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. Brasília: [s.n.].

CONDE, L. M. DOS S. **Polímeros naturais para aplicações biomédicas**. [s.l.] Universidade do Minho, jan. 2011.

CONSELHO FEDERAL DE QUÍMICA. **NOTA OFICIAL (atualizada) Esclarecimentos sobre álcool gel caseiro, limpeza de eletrônicos e outros - CFQ - Conselho Federal de Química**. Disponível em: <<http://cfq.org.br/noticia/nota-oficial-esclarecimentos-sobre-alcool-gel-caseiro-higienizacao-de-eletronicos-e-outros/>>. Acesso em: 22 abr. 2022.

CORRÊA, N. M. et al. Avaliação do comportamento reológico de diferentes géis hidrofílicos. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 41, n. 1, p. 73–78, 2005.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Resolução de diretoria colegiada - RDC Nº 422, de 16 de setembro de 2020**. GOVBrasil, 17 set. 2020.

ESGALHO, M. E.; ROSEIRO, J. C.; COLLAÇO, M. T. A. Interactive effects of pH and temperature on cell growth and polymer production by *Xanthomonas campestris*. **Process Biochemistry**, v. 30, n. 7, p. 667–671, 1995.

FAIRBANKS, M. **Álcool em gel - Indústria cria alternativas ao insumo escasso**. Disponível em: <<https://www.quimica.com.br/alcool-em-gel-industria-cria-alternativas-ao-insumo-escasso/2/>>. Acesso em: 30 abr. 2022.

FARIA, S. **Otimização da produção e caracterização de goma xantana empregando caldo de cana**. Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, set. 2009.

FOGLER, H. S. Elementos de Engenharia das Reações Químicas. Em: **Elementos de Engenharia das Reações Químicas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2009. v. Únicop. 333–349.

FONSECA, G. DE C. **Modelagem e simulação de uma destilaria autônoma de produção de etanol de primeira geração (E1G)**. São Carlos: Universidade Federal de São Carlos, 2014.

FOUST, A. S. et al. Princípios das Operações Unitárias. Em: **Princípios das Operações Unitárias**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1982. p. 1.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis – uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Quim. Nova**, v. 29, n. 4, p. 811–816, 2006.

FREITAS, R. A. **Como é feita a produção de álcool 70% em gel?** Disponível em: <<http://www.quimica.ufpr.br/paginas/lpq/como-e-feita-a-producao-de-alcool-70-em-gel/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.

GARCÍA-OCHOA, F. et al. Xanthan gum: production, recovery, and properties. **Biotechnology Advances**, p. 549–579, 2000.

GARCIA-OCHOA, F.; CASTRO, V.; SANTOS, V. E. Oxygen transfer and uptake rates during xanthan gum production. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 27, n. 9, p. 680–690, 2000.

GÓES-FAVONI, S. P. DE et al. Fermentação alcoólica na produção de etanol e os fatores determinantes do rendimento. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 9, n. 4, p. 285–296, 23 maio 2018.

GOMES, G. V. P. **Produção simultânea de goma xantana e microfibrilas de celulose pela bioconversão de bagaço de cana por Xanthomonas**. Programa de pós-graduação em Engenharia Química—Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2014.

GOV. **Produção de cana-de-açúcar deve ficar em 592 milhões de toneladas na Safra 2021/2022.** Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/producao-de-cana-de-acucar-deve-ficar-em-592-milhoes-de-toneladas>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

HAYNES, W. M. **Handbook of chemistry and physics**. 85. ed. [s.l: s.n.]. v. 85

HOSMANI, A. H.; THORAT, Y. S.; KASTURE, P. V. Carbopol and its pharmaceutical significance: a review. **Journal of Microencapsulation**, 2010.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Eficácia do álcool gel**. Disponível em: <[https://www.ipt.br/noticia/1640-eficacia\\_do\\_alcool\\_gel.htm](https://www.ipt.br/noticia/1640-eficacia_do_alcool_gel.htm)>. Acesso em: 23 abr. 2022.

INVESTE SP. **Cana-de-açúcar**. Disponível em: <<https://www.investe.sp.gov.br/setores-de-negocios/agronegocios/cana-de-acucar/>>. Acesso em: 23 abr. 2022.

JARDINE, J. G.; BARROS, T. D. **Álcool**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/alcool>>. Acesso em: 16 abr. 2022a.

JARDINE, J. G.; BARROS, T. D. **Matérias-primas**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/alcool/materias-primas>>. Acesso em: 16 abr. 2022b.

KENNEDY, J. F. et al. Factors affecting microbial growth and polysaccharide production during the fermentation of *Xanthomonas campestris* cultures. **Enzyme and Microbial Technology**, v. 4, n. 1, p. 39–43, 1 jan. 1982.

LOPES, M. R. **Falta de matéria-prima preocupa fabricantes de álcool gel do país**. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/economia/falta-de-materia-prima-preocupa-fabricantes-de-alcool-gel-do-pais-19032020>>. Acesso em: 16 abr. 2022.

LORENZINI, G. C. **Estudo da transferência de oxigênio em cultivo de *Bacillus megaterium***. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, jul. 2012.

LUBRIZOL. **Carbopol EZ-5 polymer**. Disponível em: <<https://www.lubrizol.com/Home-Care/Product-Finder/Products-Data/Carbopol-EZ-5-polymer#>>. Acesso em: 18 mar. 2022.

MARGARITIS, A.; PACE, G. W. Microbial Polysaccharides In : *Comprehensive Biotechnology* ed. by M-Moo-Young. Pergamon Press. v. 3, p. 1005–1044, 1985.

MARTIN, A. Physical Pharmacy: Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences. Em: **Physical Pharmacy: Physical Chemical Principles in the Pharmaceutical Sciences**. 4. ed. Philadelphia: Lea & Febiger, 1993. p. 153–476.

MENDES, M. E. et al. A importância da qualidade da água reagente no laboratório clínico. v. 47, n. 3, p. 217–223, jun. 2011.

MENEZES, J. D. D. S. et al. Produção biotecnológica de goma xantana em alguns resíduos agroindustriais, caracterização e aplicações. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, p. 1761–1776, 2012.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Formulário nacional da farmacopeia brasileira**. Brasília, 2012.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Protocolo de tratamento do novo coronavírus (2019-nCov)**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[www.saude.gov.br](http://www.saude.gov.br)>. Acesso em: 6 mar. 2022.

MOREIRA, A. S. **Produção, caracterização e aplicação de biopolímero sintetizado por cepas de *Xanthomonas campestris* pv *pruni***. Pelotas: Universidade Federal de Pelotas, 2002.

- NOVA CANA. **Processos de fabricação do etanol**. Disponível em: <<https://www.novacana.com/etanol/fabricacao>>. Acesso em: 15 mar. 2022.
- OLIVEIRA, A. **Desenvolvimento de formulações cosméticas com ácido hialurônico**. [s.l.] Universidade do Porto, 2009.
- PACE, G. Polímeros microbianos. In: BU'LOOCK, John; KRISTIANSEN, Bjorn. *Biotecnologia Básica*. Traducción: Paloma Liras Padín. Zaragoza: Acribia. p. 449–462, 1991.
- PELUFO, D. I.; DURANTE, L. C. Diretrizes para implantação de um sistema de saúde e segurança do trabalho em empresas produtoras de álcool em gel. **E&S Engineering and Science**, v. 10, n. 1, p. 1–18, 3 abr. 2021.
- RENEWABLE FUELS ASSOCIATION (RFA). **Why is Ethanol Important?** Disponível em: <<https://ethanolrfa.org/ethanol-101/why-is-ethanol-important>>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- RIBEIRO, C. A. F.; BLUMER, S. A. G.; HORII, J. **Tecnologia do álcool**. Piracicaba: [s.n.].
- RIBEIRO, F. DE C. et al. Cana de açúcar no cenário energético tocantinense: influência da adubação química sobre variáveis agroindustriais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, p. 24–37, 2015.
- SANTOS, A. A. M. Higienização das mãos no controle das infecções em serviços de saúde. **Revista de administração em saúde**, p. 10–14, 2002.
- SANTOS, A. A. M. DOS et al. Importância do álcool no controle de infecções em serviços de saúde. **Revista de Administração em Saúde**, v. 4, n. 16, p. 7–14, 2002.
- SATIE, A. **Por que o álcool em gel ficou grudento desde o início da pandemia de Covid-19?** Disponível em: <<https://www.cnnbrasil.com.br/saude/por-que-o-alcool-em-gel-ficou-grudento-desde-o-inicio-da-pandemia-de-covid-19/>>. Acesso em: 15 abr. 2022.
- SCHMIDELL, W. Microrganismos e meios de cultura para utilização industrial. In: SCHMIDELL, W.; LIMA, U. de A.; AQUARONE, E.; BORZANI, W. . **Biotecnologia industrial**, p. 5–18, 2001.
- SHU, C. H.; YANG, S. T. Effects of temperature on cell growth and xanthan production in batch cultures of *Xanthomonas campestris*. **Biotechnology and Bioengineering**, p. 454–468, 1990.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA. **Orientações da OMS para prevenção da COVID-19**. Disponível em: <<https://sbpt.org.br/portal/covid-19-oms/>>. Acesso em: 6 mar. 2022.
- SUTHERLAND, I. W. Xanthan. In: SWINGS, J. G.; CIVEROLO, E. L. *Xanthomonas*. **Chapman & Hall**, p. 363–388, 1993.
- TOIGO, L. et al. Atividade antimicrobiana do álcool em gel. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 49558–49571, jul. 2020.
- UMPIERRE, A. P.; MACHADO, F. Gliceroquímica e valorização do glicerol. **Revista Virtual de Química**, v. 5, n. 1, p. 106–116, 2013.
- VENDRUSCOLO, C. T. **Produção e caracterização do biopolímero produzido por *Beijerinckia sp* isolada do solo cultivado com cana-de-açúcar da região de Ribeirão Preto-São Paulo-Brasil**. Campinas: UNICAMP, 1995.
- VIJYA, P. et al. A review on various techniques and parameters signifying purity of water. **Innovare Journal of Food Sciences**, v. 1, n. 1, p. 8–14, 2013.

WEISS, R. M.; OLLIS, D. F. Extracellular microbial polysaccharides. I. Substrate, biomass, and product kinetic equations for batch xanthan gum fermentation. . **Biotechnology and Bioengineering**, v. 22, p. 859–873, 1980.

ZHOU, J. N. et al. Chemoselective catalytic conversion of glycerol as a biorenewable source to valuable commodity chemicals. **Chemical Society Reviews**, v. 37, n. 3, p. 527–549, 2008.