



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE**



NATASHA CAROLINA MELO DINIZ

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ÁLCOOL GEL ESPESSADO COM
POLÍMERO CELULÓSICO**

JOÃO PESSOA

2023

Natasha Carolina Melo Diniz

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ÁLCOOL GEL ESPESSADO COM
POLÍMERO CELULÓSICO**

Dissertação de Mestrado apresentada
ao Programa de Desenvolvimento e
Meio Ambiente da Universidade Federal
da Paraíba, para obtenção do título de
Mestre.

Orientador: Ana Luiza Mattos Braga

Co-orientador: Nataly Albuquerque Dos
Santos

JOÃO PESSOA

2023

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

D585d Diniz, Natasha Carolina Melo.

Desenvolvimento e avaliação de álcool gel espessado com polímero celulósico / Natasha Carolina Melo Diniz.

- João Pessoa, 2023.

79 f. : il.

Orientação: Ana Luiza Mattos Braga.

Coorientação: Nataly Albuquerque dos Santos.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Antisséptico - Base de álcool. 2. Reologia de géis. 3. Hidroxietilcelulose. 4. COVID-19 - Combate. 5. Saúde Pública. 6. Álcool gel. I. Braga, Ana Luiza Mattos. II. Santos, Nataly Albuquerque dos. III. Título.

UFPB/BC

CDU 661.163.3(043)

NATASHA CAROLINA MELO DINIZ

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE ÁLCOOL GEL ESPESSADO COM
POLÍMERO CELULÓSICO**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Trabalho Aprovado. João Pessoa, 26 de julho de 2023.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 ANA LUIZA MATTOS BRAGA
Data: 21/11/2023 23:25:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Drª Ana Luiza Mattos Braga (orientadora)

Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente
 NATALY ALBUQUERQUE DOS SANTOS
Data: 21/11/2023 12:19:24-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Drª Nataly Albuquerque dos Santos (co-orientadora)

Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente
 MARILIA GABRIELA DOS SANTOS CAVALCANTI
Data: 22/11/2023 17:30:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profª Drª Marilia Gabriela Dos Santos Cavalcanti

Universidade Federal da Paraíba

Rebeca Tibau Aguiar Dias

Drª Rebeca Tibau Aguiar Dias (Membro externo)

Universidade Federal da Paraíba

Documento assinado digitalmente
 REBECA TIBAU AGUIAR DIAS
Data: 20/11/2023 17:20:30-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

DEDICO:

A Deus por ter me permitido alcançar a dádiva do saber e assim, poder
compartilhar.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe Eloisa Melo, ao meu pai Mário
Diniz, aos meus filhos Ian e Elis, a minha irmã Rayane que tanto deram forças
para concluir esta etapa da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe, Eloisa, que sempre segurou firme na minha mão e me mostrou que o caminho do sucesso está atrelado aos estudos.

A meu pai, Mário, que mesmo distante, me ensinou a encarar as dificuldades com força, fé e alegria.

À minha irmã, Rayane, que já passou por isso e que acompanhou essa minha caminhada sempre me mostrando que um dia acaba.

Aos meus filhos, Ian e Elis, pela compreensão, carinho e incentivos dados para que eu conseguisse chegar ao fim desta caminhada, mesmo renunciando a alguns momentos comigo e sem entender nada que eu escrevi aqui.

À minha companheira, Maria Eduarda Mota, que acompanhou e deu suporte na minha luta nessa reta final, em meio a tantas mudanças e descobertas nas nossas vidas.

A meu ex-marido, Erielson Nonato, que apesar dos acontecimentos, acompanhou de perto parte da minha luta para chegar até aqui.

Aos colegas de mestrado que iniciaram junto comigo essa longa jornada. Em especial, à minha grande amiga Cybelle Marinho, que iniciou essa jornada junto a mim e hoje concretizamos nossos objetivos.

Às ex-alunas Joana, Grazielle e Ruth pelos esforços e experiências compartilhados até a concretização deste feito.

Aos amigos de trabalho João Bosco, Camila Santiago e Kewen Luz pelo apoio nos meus momentos de dedicação a este trabalho.

Aos alunos, que se tornaram amigos, Matheus Santiago, Eleny Pinto, Rosana Silva, Berta Kelly Pontes e Alice Soares, por não me deixarem desistir sempre alegrando até os momentos mais difíceis.

À Samara Brito, discente do curso de Tecnologia de Alimentos e bolsista do projeto de extensão o qual coordenei e que trouxe inúmeros resultados a esta pesquisa.

A todos os professores e todas as professoras do PRODEMA, como também aos técnicos administrativos que repassaram seus conhecimentos, ajudando, desta forma, com minha formação.

À turma de Tecnologia de Cereais, Tubérculos e Raízes de 2022.1, onde tive muito apoio e a oportunidade de ter contato com a docência.

A todos que fazem o CTDR na UFPB, sempre me incentivando a ir até o fim dessa jornada, mesmo que em muitos momentos pudesse parecer difícil.

À Professora Nely Pedrosa, minha chefe imediata, por toda a compreensão nos momentos de ausência, e às demais coordenadoras do CVTSAN-UFPB, Professoras Haíssa Cardarelli, Carolina Albuquerque e Fernanda Vanessa Gomes, por ceder o espaço dos laboratórios para a execução desta pesquisa.

À Professora Nataly Albuquerque pela oportunidade de receber suas orientações e conhecimentos.

Um especial agradecimento a Prof^a Dr^a Ana Luiza Mattos Braga, minha orientadora, que me cedeu sua mão amiga nos vários momentos de dificuldade tanto nesta pesquisa como na vida. Que compreendeu as diversas mudanças que ocorreram em minha vida e família, me acolhendo inúmeras vezes com suas palavras de conforto e incentivo. Seus conhecimentos tornaram o sonho do mestrado uma realidade. Meu muito obrigado a você.

A todos que fazem a UFPB gostaria de dizer muito obrigado pela oportunidade de realizar este mestrado.

Meu muito obrigada a todos!

“A História vai registrar o trabalho valoroso de todos aqueles que fizeram de tudo pra combater a pandemia, os profissionais de saúde em primeiro lugar” (Renata Vasconcellos, 2020).

“Mas a História vai registrar também os que foram negligentes, os que foram desrespeitosos. A História, atribui glória, e atribui desonra, e História fica para sempre” (William Bonner, 2020).

RESUMO

Com a pandemia da COVID-19, provocada pela disseminação do vírus SARS-CoV-2, surgiu a necessidade de cuidados redobrados com a higienização de mãos e superfícies. A OMS, recomenda em alguns casos a utilização de antissépticos a base de álcool, e por questões de mitigação de riscos de acidentes, recomenda-se o produto apresentado em gel. Com a isenção de registro deste produto por parte da ANVISA, abriu-se a possibilidade da utilização de biopolímeros em substituição ao carbômero, polímero sintético, que pode acarretar danos a ambientes aquáticos e em alergias. O objetivo geral deste projeto foi analisar e desenvolver produtos, processos e métodos analíticos de álcool saneante, mais especificamente, visando a promoção da segurança ambiental microbiana na cidade de João Pessoa – PB, durante e após a pandemia COVID-19. Foram desenvolvidas formulações de álcool em gel utilizando hidroxietil celulose (HEC), de duas marcas diferentes, variando entre métodos de adição dos espessantes e utilizando aquecimento ou não. Foram realizadas análises reológicas e microbiológicas para a caracterização do produto. Ainda se avaliou a conformidade alcoólica de produtos comerciais, bem como realizou-se produção de álcool 70% para garantir o funcionamento seguro dos serviços públicos de alimentação de João Pessoa – PB. Observou-se que o HEC da marca D resultou em produtos com maior variedade de comportamentos reológicos e de textura sem a necessidade de aquecer a base polimérica durante sua produção. Dois métodos analíticos de textura mostraram ser viáveis para caracterizar as formulações de álcool em gel, sendo o dual extrusion adequado para amostras fluidas e o Perfil de Análise de Textura (TPA) com melhor resolução para géis fortes. Nas análises reológicas observou-se que todos os tratamentos se comportaram como fluidos não-Newtonianos e quanto maior a concentração de polímero utilizada maior foi o caráter pseudoplástico do álcool gel. As amostras mais fluidas tiveram sua eficácia anti-microbiana demonstrada e são recomendadas para produção, também por apresentarem menor adesividade e espalhabilidade equivalente a de um óleo entre as mãos, características que vem sendo buscadas pelos consumidores.

Palavras-chave: Reologia. Hidroxietilcelulose. COVID-19. Saúde Pública

ABSTRACT

With the COVID-19 pandemic, caused by the spread of the SARS-CoV-2 virus, there arose a need for extra care in hand and surface hygiene. In some cases, the World Health Organization (WHO) recommends the use of alcohol-based antiseptics, and for risk mitigation, the use of gel-form products is recommended. With the exemption of registration for this product by ANVISA (Brazil's National Health Surveillance Agency), the possibility of using biopolymers as a substitute for carbomer, a synthetic polymer that can cause harm to aquatic environments and allergies, has been opened. The general objective of this project was to analyze and develop sanitizing alcohol products, processes, and analytical methods, specifically aiming at promoting microbial environmental safety in the city of João Pessoa, Brazil, during and after the COVID-19 pandemic. Formulations of gel alcohol were developed using hydroxyethyl cellulose (HEC) from two different brands, varying between thickening methods and using heating or not. Rheological and microbiological analyses were performed to characterize the product. Alcoholic conformity of commercial products was also evaluated, and 70% alcohol production was carried out to ensure the safe operation of public food services in João Pessoa. It was observed that HEC from brand D resulted in products with a greater variety of rheological behaviors and textures without the need to heat the polymeric base during production. Two texture analytical methods proved to be viable for characterizing alcohol gel formulations, with dual extrusion being suitable for fluid samples and Texture Profile Analysis (TPA) providing better resolution for strong gels. In rheological analyses, it was observed that all treatments behaved as non-Newtonian fluids, and the higher the polymer concentration used, the more pseudoplastic the alcohol gel became. The more fluid samples demonstrated their antimicrobial efficacy and are recommended for production, also because they have lower adhesiveness and spreadability equivalent to that of oil between hands, characteristics sought by consumers.

Keywords: Rheology. Hydroxyethyl cellulose. COVID-19. Public Health.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Visão geral das formulações de desinfetantes para mãos.....	21
Figura 2 - Interação entre polímeros e solventes.	25
Figura 3 - Esquema representando classificação e caracterização dos fluidos.	29
Figura 4 - Gráfico de força versus tempo, mostrando a consistência de dois tipos de <i>xampu</i> analisados sob as mesmas condições.	31
Figura 5 - Avaliação de teor alcóolico utilizando alcoômetro Gay-Lussac.....	36
Figura 6 - Coordenação e equipe técnica do CVTSAN-UFPB, em parceria com CRQ-XIX.	40
Figura 7 - Caminhão da UFPB em frente à fábrica da Ambev Pernambuco para receber doação de álcool etílico absoluto.	41
Figura 8 - Produção de álcool etílico 70°INPM no laboratório de análise sensorial do CVTSAN-UFPB.	42
Figura 9 - Rótulo de álcool 70°INPM produzido pelo CTDR-UFPB.	43
Figura 10 - Doações feitas pelo CVTSAN-UFPB de álcool 70°INPM por entidade em litros.....	43
Figura 11 - Distribuição de álcool etílico 70°INPM produzido no laboratório de análise sensorial do CVTSAN-UFPB.	44
Figura 12 - Apoio do CVTSAN-UFPB com produção de álcool 70°INPM à ação do projeto “bancos que alimentam” no São João.	45
Figura 13 - Kits de ingredientes juninos distribuídos pelo projeto “bancos que alimentam” da UFPB e contendo álcool 70°INPM produzido na UFPB.....	45
Figura 14 - Fluxograma do método direto e método indireto, utilizados para os ensaios preliminares.	50
Figura 15 - Discos de papel estéreis submersos nas amostras.	55
Figura 16 - Placas com triplicatas de amostras, controles positivo e negativo, para avaliação de seus efeitos sobre <i>e. coli</i> e <i>s. aureus</i>	56
Figura 17 - Características visuais de produtos obtidos com CMC.....	58
Figura 18 - Álcool em gel produzido com as bases de HEC.	60
Figura 19 - Curvas de escoamento de álcool gel produzido com diferentes processos e marcas de HEC.....	62
Figura 20 - Curvas de escoamento de álcool gel produzido com base HEC. ..	65
Figura 21 - Teste de varredura de tensão a frequência de 1 Hz para álcool gel produzido com HEC: efeito da concentração.	67
Figura 22 - Varredura de frequência para álcool gel base HEC.....	68
Figura 23 - <i>Dual Extrusion</i> para álcool gel base HEC.	70
Figura 24 - Placas com inóculo de <i>E. coli</i> e discos de difusão.....	73
Figura 25 - Placas com inóculo de <i>S. aureus</i> e discos de difusão.	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados de concentração de álcool em produtos comercializados em João Pessoa – PB.....	38
Tabela 2 - Composição das amostras em ensaios preliminares com diferentes polímeros celulósicos.	51
Tabela 3 - Descrição das características dos produtos obtidos com diferentes concentrações de CMC e HEC.	59
Tabela 4 - Parâmetros de ajuste do modelo de Lei da Potência aos dados da curva de escoamento de álcool gel preparado com diferentes processos e marcas de HEC.	61
Tabela 5 - Médias dos parâmetros de textura de álcool gel preparado com diferentes processos e marcas de HEC.	63
Tabela 6 - Parâmetros do modelo da lei da potência ajustados para os dados de escoamento em estado estacionário para álcool gel base HEC.	66
Tabela 7 - Parâmetros reológicos de amostras de álcool gel produzido com base de HEC.....	67
Tabela 8 - Parâmetros analisados por <i>Dual Extrusion</i> para álcool gel base HEC.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

5º BPM-PB - 5º Batalhão de Polícia Militar da Paraíba

ABHS – Alcohol based hand sanitizer

ANOVA – Análise de Variância

ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ATCC - Anatomical Therapeutic Chemical Code

BHI - Brain Heart Infusion

CCEN – Centro de Ciências Exatas e da Natureza

CEASA - Central de Abastecimento e Serviços Agrícolas

CG - Cromatógrafo Gasoso

CMC – Carboximetilcelulose

CRAS - Centro de Referência da Assistência Social

CRQ-XIX - Conselho Regional de Química 19ª Região

CTDR – Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional

CVTSAN-UFPB – Centro Vocacional Tecnológico em Segurança Alimentar e Nutricional da Universidade Federal da Paraíba

E. coli - Escherichia coli

EMPASA - PB - Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas

EN – European Norm

EUA – Estados Unidos da América

FAO – Food and Agriculture Organization

FID - Detector de ionização de chama

HEC - Hidroxietilcelulose

HPMC – Hidroxipropilmetilcelulose

LACOM – Laboratório de Combustíveis e Materiais

LAMES-UFG - Laboratório de Métodos de Extração e Separação da Universidade Federal de Goiás

LTSAN – Laboratório Tecnológico em Segurança Alimentar e Nutricional

MFC – Celulose Microfibrilada

MH – Müller Hinton

OMS – Organização Mundial de Saúde

PET - Politereftalato de Etileno

m/m – massa/massa

PRODEMA - Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

PVC - Policloreto De Vinila

RDC - Resolução da Diretoria Colegiada

S. aureus - Staphylococcus aureus

SAN – Segurança Alimentar e Nutricional

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

v/v – Volume/Volume

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	16
OBJETIVOS E HIPÓTESES	18
Objetivo geral.....	18
Objetivos específicos	18
Hipóteses.....	18
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
Antissépticos na prevenção de infecções	20
Antissépticos a base de álcool.....	21
Álcool gel	22
Celulose.....	24
Hidroxietilcelulose.....	26
Aplicação de biopolímeros em álcool gel 70°INPM	26
Reologia de géis	28
CAPÍTULO 1 - UFPB no combate à COVID-19: Pesquisa e Produção para enfrentamento da pandemia de COVID-19	33
INTRODUÇÃO	33
MATERIAIS E MÉTODOS	35
Área de Estudo	35
Análise da Qualidade de Álcool em Gel comercial	35
Uso do Álcool em Estabelecimentos Comerciais.....	35
Produção de Álcool 70° INPM	35
RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
Análise da Qualidade de Álcool em Gel comercial	37
Uso de álcool em estabelecimentos comerciais durante a Pandemia COVID- 19.....	39
Produção de Álcool 70°INPM no CTDR-UFPB.....	40
CONCLUSÃO	47
CAPÍTULO 2 - Desenvolvimento e avaliação de álcool gel espessado com polímero celulósico	48
INTRODUÇÃO	48
MATERIAL E MÉTODOS	49
Material.....	49

Desenvolvimento do álcool gel a base de polímeros celulósicos	49
Estudo das concentrações de álcool gel produzido com base de HEC	52
Análises reológicas do álcool gel 70°INPM com base de HEC.....	53
Análises microbiológicas.....	55
Análise estatística.....	56
RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	57
Desenvolvimento do álcool gel a base de biopolímeros celulósicos.....	57
Estudo das concentrações de álcool gel a base de HEC	65
Análises microbiológicas.....	72
CONCLUSÃO	76
REFERÊNCIAS.....	78

INTRODUÇÃO

O álcool em gel passou a ser de grande importância no combate à COVID-19 auxiliando na higienização das mãos, que é um dos meios de propagação do coronavírus mais preocupantes. Na tomada de medidas de combate ao COVID-19 foi perceptível para qualquer um o desabastecimento do produto e valores de venda acima do que se praticava anteriormente à pandemia.

Houve também escassez e adoção de preço acima do que vinha sendo praticado do carbômero, polímero sintético utilizado como agente espessante e gelificante. Diante desta situação a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), isentou, de forma extraordinária e temporária, esses produtos de registro, notificação e licenciamento sanitários como forma de estimular a produção de antissépticos alcoólicos, possibilitando a utilização de polímeros alternativos (Brasil, 2020).

Portanto, o controle de qualidade de álcool gel tornou-se necessário, principalmente voltado ao teor alcoólico, que tem relação direta com sua ação antisséptica. O desenvolvimento e validação de metodologias de verificação de teor alcoólico são importantes para os órgãos fiscalizadores, além de proporcionar o maior conhecimento para a população a respeito do que estão consumindo. Autores como Rochon-Edouard et al. (2004) e de Andrade et al. (2007) já tinham realizado testes com álcoois em forma de gel quanto ao seu poder antimicrobiano. Com a pandemia, inúmeros outros estudos foram realizados inclusive com possibilidades de estudos com polímeros alternativos, já que até então o Carbopol® era o principal agente espessante para antissépticos a base de álcool. Pesquisadores como Estevão et al. (2021a), Magalhães; Degenhardt (2020), Toigo et al. (2020), Macario et al. (2021), entre outros, trouxeram durante a pandemia resultados mais recentes sobre álcool gel, com dados reológicos e de atividade antimicrobiana.

A isenção do registro pela ANVISA abriu possibilidades para a utilização de biopolímeros, como por exemplo os éteres e ésteres celulósicos, devido às suas características mecânicas com diversas aplicações industriais. O biopolímero hidroxietilcelulose (HEC) tem chamado atenção por ser facilmente degradado pelas celulasas (Noreen et al., 2020). O emprego de biopolímeros na

produção de álcool gel traz benefícios à cadeia de produção devido a biodegradabilidade dos derivados e à abundância da celulose como matéria-prima no Brasil (Relatório IBÁ, 2019; Vlaia et al., 2016).

Já foi observado que os polímeros celulósicos HEC e carboximetilcelulose (CMC) possuem limitação de concentração alcoólica, sendo que o HEC espessou de forma satisfatória soluções $\leq 60\%$ p/p de etanol e o CMC soluções $\leq 40\%$ p/p etanol. No entanto, agências de saúde não recomendam a utilização de produtos com menos de 60% v/v de etanol.

Considerando o cenário de escassez de produtos saneantes ocorrido durante a pandemia COVID-19, é importante fornecer à sociedade alternativas de álcoois em gel produzidos a partir de biopolímeros, para o combate de infecções transmissíveis. O desenvolvimento de novos produtos saneantes tem ainda em vista os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável número três – Saúde e Bem-estar – e número nove – Indústria, Inovação e Infraestrutura.

Este trabalho foi dividido em dois capítulos. O capítulo 1 visa registrar algumas ações da UFPB, em específico do PRODEMA e do CTDR, quanto a produção de álcool 70° INPM e a investigação quantitativa do controle de qualidade produtos de álcool gel comercializados e de forma exploratória da forma de uso destes saneantes pela população. O capítulo 2 descreve o desenvolvimento de produtos, processo tecnológico social e de métodos de análise de textura de álcool em gel, com enfoque no biopolímero HEC.

OBJETIVOS E HIPÓTESES

Objetivo geral

O objetivo geral deste projeto foi analisar e desenvolver produtos, processos e métodos analíticos de álcool saneante, visando a promoção da segurança ambiental microbiana na cidade de João Pessoa – PB, durante e após a pandemia COVID-19.

Objetivos específicos

- Investigar a qualidade, em termos de teor alcóolico, de dez marcas de álcool gel vendidas no comércio de João Pessoa – PB;
- Produzir e doar álcool 70° INPM ao setor público de serviços de alimentação;
- Desenvolver um processo tecnológico social para produção de álcool gel com biopolímero HEC;
- Desenvolver formulações de álcool em gel com biopolímero HEC que atenda às demandas de mercado quanto a variação de fluidez do produto;
- Desenvolver métodos analíticos para avaliação da textura de álcool em gel;
- Analisar os produtos de álcool em gel desenvolvidos.

Hipóteses

Algumas hipóteses foram levantadas para realização deste trabalho: 1) a isenção de registro, notificação e licenciamento sanitários para produtos de álcool saneante durante a pandemia COVID-19 poderia elevar porcentagem de produtos comercializados em não conformidade quanto ao teor alcóolico mínimo para ação antimicrobiana; 2) os serviços públicos ficariam desabastecidos em álcool durante a fase inicial da pandemia devido a necessidade de um processo de compra institucional mais lento que o setor privado, além da falta da matéria-prima no mercado; 3) há necessidade de desenvolvimento de produtos e

processos com tecnologia social para produção de álcool saneante para enfrentamento de situações de agravo de saúde pública.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Antissépticos na prevenção de infecções

Sabe-se que as infecções podem ocorrer de diversas formas, sejam essas por contato direto com o ser infectado ou por meio do contato com a superfície contaminada, até mesmo por veículos indiretos, pode-se assim observar um caminho percorrido entre o agente infeccioso até o organismo hospedeiro. Dessa forma, a prática da prevenção e controle das infecções é complexa e os princípios apropriados à prevenção e controle da mesma é composta de fatores que formam a cadeia de transmissão (Kawagoe, 2004), tendo em vista a existência de uma estrutura de fatores que influenciam sequencialmente para o desenvolvimento e domínio do agente.

Os antissépticos para as mãos geralmente estão disponíveis em forma de espumas, líquidos ou géis, e podem ser classificados em alcoólicos e não alcoólicos, nos quais podem se diferir pela graduação alcoólica presente na formulação do mesmo e podendo ainda conter aditivos umectantes que inibem o crescimento dos germes e os matam (Prajapati; Desai; Chandarana, 2022).

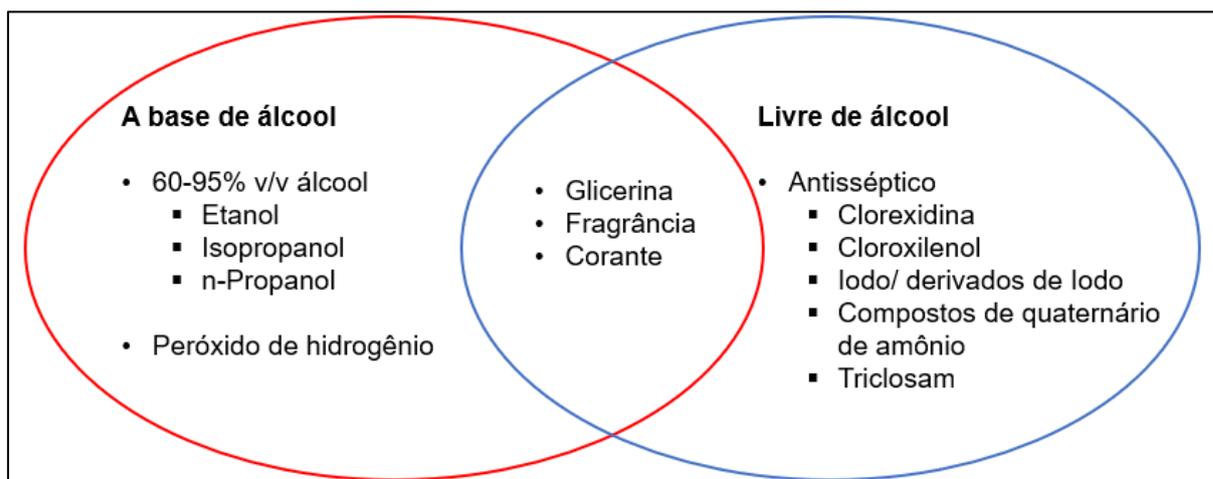
Segundo D' Angelo *et al.* (2022, p. 1) “a higienização das mãos é considerada uma das estratégias mais eficazes na prevenção da transmissão de microrganismos e infecções virais entre o público”. O ato de higienizar as mãos é uma forma de interrupção da proliferação de muitas doenças e da propagação de diversos vírus (Prajapati; Desai; Chandarana, 2022), sabendo o princípio fundamental dessa é a remoção da sujidade patógena e não patógena presente na superfície da pele.

Em sua maioria, o método comumente utilizado como forma de higienização das mãos é a lavagem com água corrente e sabão, porém em locais onde a população não tem fácil acesso a estes itens (pia, sabão e água tratada), como espaços de grande circulação de pessoas, hospitais com superlotação, transportes públicos, praças e shoppings, recomenda-se a utilização de antissépticos à base de álcool.

Antissépticos a base de álcool

O uso de antissépticos para as mãos à base de álcool é recomendado pela OMS para proteção contra vários vírus, incluindo a COVID-19, tendo em vista que estes foram eficazes nos testes de suspensão (Prajapati; Desai; Chandarana, 2022). Na Figura 1 pode-se ter um panorama geral de possíveis componentes de antissépticos a base de álcoois e livres de álcool.

Figura 1 - Visão geral das formulações de desinfetantes para mãos.



Fonte: adaptado de Jing et al. (2020)

Os antissépticos a base de álcool etílico são produtos obtidos pela mistura de álcool etílico 96°GL, água destilada, o polímero Carbopol® e uma substância de ajuste de pH (Brasil, 2012). A Organização Mundial de Saúde (OMS) (2010), recomenda que na composição destes antissépticos contenha álcool etílico 96°GL ou isopropílico 99,8°GL, nas concentrações finais de 80°GL e 75°GL, respectivamente. Adiciona-se ainda 0,125% de peróxido de hidrogênio para desativar esporos de bactérias e 1,45% de algum agente umectante, que pode ser glicerina ou propileno glicol, pois a solução de etanol tem o poder de desidratar a pele causando ressecamento e até ferimentos. Todos estes componentes devem ser diluídos em água destilada ou fervida.

Segundo Filipe *et al.* (2021), pode haver uma equivocada ideia de que uma maior concentração de álcool tem maior eficácia sobre microrganismos. O álcool etílico é utilizado para desinfecção de pele, mais frequentemente, na concentração de 70%, devido à sua boa ação germicida (Menegaro *et al.*, 2015). Sua atividade antimicrobiana decresce acentuadamente em concentrações inferiores a 50% e superiores a 70% (Rochon-Edouard *et al.*, 2004). Estudos

mais recentes têm mostrado que concentrações entre 62-80% de etanol e isopropanol têm maior eficácia em inativar o SARs-Cov-2 em superfícies (Meyers *et al.*, 2021).

Entre os antissépticos para as mãos, os que são à base de álcool (*ABHS*) são os mais empregados e recomendados pelas autoridades e isso se deve, principalmente, a capacidade de o etanol, do isopropanol e do n-propanol de dissolver as membranas lipídicas e desnaturar as proteínas microbianas (D'Angelo *et al.*, 2022).

O uso de um desinfetante para as mãos eficaz é considerado uma alternativa essencial à lavagem das mãos e é um dos protocolos atuais para prevenir a propagação de infecções virais e infecções secundárias relacionadas, diminuindo assim a necessidade de administração de terapia intensiva e uso de antibióticos (Booq *et al.*, 2021, p. 2).

Os álcoois têm ação sobre um grande número de microrganismos tais como bactérias, fungos e vírus envelopados, através da quebra da membrana lipídica e desnaturação das proteínas (Jing *et al.*, 2020). Quando comparado à lavagem de mãos com água e sabão, requer menos tempo para ser utilizado, prove uma maior acessibilidade e tem melhor eficácia antimicrobiana (Kawagoe, 2004).

Devido seu alto teor alcoólico e sua inflamabilidade, comercializa-se o produto em forma de gel, com o objetivo de mitigar riscos de acidentes. Com a pandemia, a ANVISA isentou, de forma extraordinária e temporária, o registro, notificação e licenciamento destes produtos, com o objetivo de estimular sua produção e abrindo possibilidade para utilização de polímeros alternativos como espessantes (Brasil, 2020). As concentrações recomendadas destes espessantes são de 0,5 a 12% (p/p) para os acrílicos e 0,5 a 1,0% (p/p), para derivados de celulose (Freitas, 2020).

Álcool gel

Álcoois são compostos orgânicos nos quais as moléculas possuem um grupo hidroxila ligado a um átomo de carbono saturado. O álcool em gel, trata-se de uma solução alcoólica, que tem atividade antimicrobiana por meio da

atividade de dissolução das membranas lipídicas e desnaturação das proteínas microbianas (D'Angelo *et al.*, 2022) , realizada pelo álcool.

O álcool etílico (etanol) possui dois carbonos em sua molécula e é obtido a partir da fermentação de açúcares. Esta reação ocorre com a adição de fermento que consome os açúcares e formam o álcool etílico e dióxido de carbono, de acordo com a Equação 1 (Solomons, 2004).



O etanol é o álcool mais empregado na produção de antisséptico com base alcoólica, mesmo que em casos de uso contínuo ocasione ressecamentos a pele, ainda possui eficácia e compatibilidade com a pele quando combinado ao agente emoliente glicerina (D'Angelo *et al.*, 2022). Esta por sua vez, além de reduzir o efeito da secagem do álcool na pele, também é responsável por aumentar a biocompatibilidade do álcool com a superfície da pele do usuário.

A utilização do etanol se deve ao fator deste apresentar uma toxicidade cutânea muito baixa para os seres humanos e é um antisséptico e desinfetante eficaz em soluções de 60 a 80% em peso em água (Estevão *et al.*, 2021a).

Os géis, por sua vez, são redes poliméricas reticuladas que possuem comportamento semelhante ao de sólidos viscoelásticos e sua capacidade de resistências a forças externas está diretamente relacionado a escala de aplicação de força por uma determinada quantidade de tempo. E suas características físicas se devem a fatores químicos como a adição de agentes umectantes, adição de solventes e líquidos que não fazem parte da cadeia polimérica.

Um gel pode ficar mais macio aumentando o espaçamento entre as ligações cruzadas, seja aumentando o peso molecular da cadeia polimérica que conecta as ligações cruzadas ou diluindo o gel com um líquido. O líquido no gel que não faz parte da rede reticulada é referido como o sol e pode consistir de um solvente como água, polímeros de cadeia curta ou polímeros emaranhados longos (Grillet; Wyatt; Gloe, 2012, p. 1).

Alguns desses aglomerados físicos de polímeros podem ser facilmente confundidos com os denominados pseudogéis, pois estes imitam as ligações cruzadas químicas e se assemelham estruturalmente aos géis (Grillet; Wyatt;

Gloe, 2012). Conforme Ramachandran et al. (1999) “um fluido viscoelástico com um alto módulo de elasticidade exibirá excelentes propriedades de suspensão, pois as partículas dispersas serão efetivamente aprisionadas dentro de um quase gel”.

A principal característica que infere diretamente na preferência de utilização do álcool em gel como antisséptico é sua propriedade viscoelástica de formar uma camada protetora no local onde o mesmo é aplicado e o maior tempo de proteção na pele em comparação com outras formas de desinfetante (Booq et al., 2021). Além disso, para as mãos é preferível, tendo em vista o tempo de retenção e a sensação de hidratação que se assemelha a outros géis que possuem aplicação cutânea.

Celulose

Celulose é um polissacarídeo, insolúvel em água, composta por várias moléculas de β -(1–4)-D-glicose, e é utilizada de várias formas como produção de papel, fibras têxteis, material da construção civil e biomedicina. Esta apresenta características cristalina e rígidas, além disso, é quase insolúvel em água, atribuições decorrentes da estrutura que os monômeros de glicose possuem na forma de piranose (Vlaia et al., 2016). Estes estão ligados a cadeias não ramificadas por ligações β -1,4-glicosídicas e cada monômero de glicose é invertido em relação ao próximo.

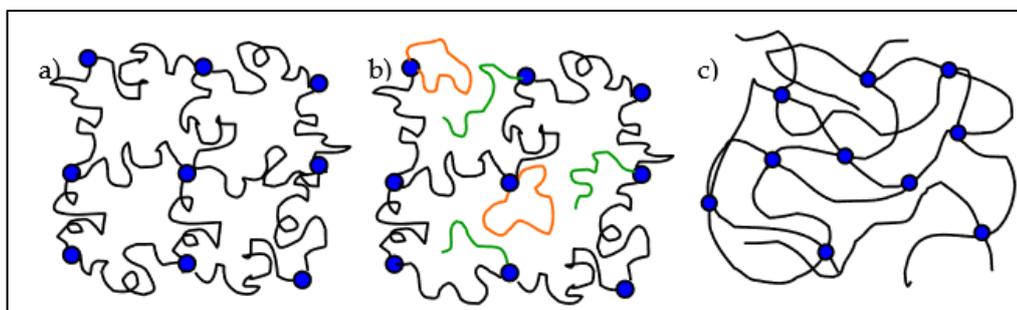
A celulose pode ser obtida de diferentes resíduos como bagaço de cana-de-açúcar e microrganismos, e apresentam diferentes propriedades e características como grau de polimerização, cristalização, morfologia e resistência mecânica (Collins et al., 2019). É um polímero biodegradável de ocorrência natural proveniente de subprodutos vegetais, como algodão, casca de milho, trigo, arroz, milho e caule de cevada (Rai et al., 2021a).

Há uma estimativa de crescimento de 4,9% até 2027 no mercado de ésteres e éteres de celulose (Grand view research, 2020). A utilização destes biopolímeros na produção de álcool gel trará benefícios à cadeia produtiva não apenas por atender a requisitos de biocompatibilidade e biodegradabilidade e

abundância como matéria prima no Brasil (Vlaia *et al.*, 2016), mas também por suas características químicas e mecânicas que otimizam o tempo de produção (Estevão *et al.*, 2021b).

Uma problemática relacionada a produção de géis está pautada no equilíbrio entre a quantidade de cadeias poliméricas e os solventes adicionados, como mostrado na Figura 2, na qual se observa que quando existe uma maior quantidade de solventes em relação aos polímeros. Ocorre uma desordem na formação da rede polimérica ocasionando quebras e extremidades com ligações pendentes, como observado no “c)”, diferentemente da interação decorrente do equilíbrio entre componentes visualizados no “a)” (Grillet; Wyatt; Gloe, 2012).

Figura 2 - Interação entre polímeros e solventes.



Fonte: (Grillet; Wyatt; Gloe, 2012)

Assim sendo, para uma determinada aplicação, existem muitas maneiras de ajustar as propriedades de um gel de polímero para otimizar o desempenho, controlando a microestrutura do gel e as condições de processamento (Grillet; Wyatt; Gloe, 2012).

Os tipos comerciais de éteres de celulose para aplicações farmacêuticas estão disponíveis em vários graus, com diferentes pesos moleculares, fórmulas estruturais e distribuição de grupos substituintes e com diferentes graus de substituição (Rai *et al.*, 2021a). Essas características são responsáveis pela determinação das propriedades químicas e físicas dos éteres de celulose, sendo estas: viscosidade, solubilidade, tensão superficial e estabilidade à biodegradação, ao calor e à degradação hidrolítica e oxidativa.

Hidroxietilcelulose

HEC é um polímero, obtido a partir da reação entre celulose e eteno, formando assim o agente gelificante capaz de aumentar a viscosidade do produto final e é, comumente, utilizado como estabilizante em emulsões na indústria de cosmético (Ramachandran; Chen; Etzler, 1999). Além disso, esse polímero é classificado como não iônico, hidrofílico, de cadeia linear e filiforme, e aparece como um pó branco, branco-amarelado ou branco-acinzentado, inodoro e insípido e higroscópico. (Rai *et al.*, 2021a).

As diluições da HEC podem ser feitas, segundo Vlaia *et al.* (2016, p. 163) da seguinte forma:

Dissolve-se prontamente em água quente ou fria, formando soluções límpidas, lisas e uniformes, com pH 5,0–8,5. O HEC é praticamente insolúvel em acetona, etanol (95% m/v), éter e na maioria dos outros solventes orgânicos, mas incha ou é parcialmente solúvel em solventes polares, geralmente aqueles que são miscíveis com água, como glicóis, dimetilformamida, dimetil sulfóxido e misturas de etanol e água.

Estevão *et al.* (2021) produziram amostras de álcool gel utilizando HPMC, HEC e Carbopol®, utilizando um planejamento fatorial para avaliar interações entre os diferentes componentes utilizados. Avaliaram também a utilização de duas metodologias para avaliação de teor alcoólico das amostras, onde houve a necessidade de acidificar aquelas com o polímero Carbopol®.

Em sua dissertação, (Serafim, 2016) aponta a diversidade de aplicações de POLI (METIL METACRILATO) por diversas características físicas e químicas, entre elas sua boa resistência a intempéries naturais (como umidade, radiação e temperatura). Sendo o Carbopol® um polímero do ácido acrílico, é importante uma investigação mais aprofundada sobre o efeito de seu acúmulo, principalmente em ambientes aquáticos, apesar de diversos fabricantes apontarem sua não toxicidade em Ficha de Segurança de Produtos Químicos (FISPQ).

Aplicação de biopolímeros em álcool gel 70°INPM

Os biopolímeros são materiais muito abundantes encontrados nos resíduos agroindustriais, em especial os resíduos lignocelulósicos têm chamado maior

atenção devido seu montante produzido (Rai *et al.*, 2021b), e assim como os polímeros, tratam-se de emaranhados de redes poliméricas que se intitulam dessa forma devido possuírem sua fonte de extração natural.

Os polímeros se integraram completamente à vida cotidiana, como evidenciado pelo aumento do volume de produção e uso nas últimas décadas. Mas como suas fontes são finitas e se esgotam rapidamente, sua substituição por uma opção sustentável como os biopolímeros se apresenta como uma opção viável (Rai *et al.*, 2021^a, p. 6).

Com o crescimento da produção agroindustrial nas últimas décadas, vem crescendo também a preocupação com os resíduos provenientes desde o campo até o consumidor final. Estima-se que 1/3 dos alimentos potencialmente destinados ao consumo humano são desperdiçados, seja como resíduos, oriundos do processamento, ou como perda na cadeia produtiva (FAO, 2013a).

Dependendo da quantidade de resíduos adicionada ao solo, pode haver contaminação de águas encontradas abaixo do solo, que traz riscos não somente ao meio ambiente, mas também à saúde da população (Tran; Gin; Ngo, 2015).

O aproveitamento destes resíduos pode gerar biocombustíveis, ácidos orgânicos, triacilgliceróis, polihidroxialcanoatos, enzimas e outras biomoléculas (Marzo *et al.*, 2019). A sua valorização direciona para a produção de itens de alto valor e contribui para a economia (Prakash *et al.*, 2018), gerando renda para agricultores e agroindústrias, e se torna uma alternativa frente à limitação de recursos fósseis, problemas ambientais e sustentabilidade (Diaz; Blandino; Caro, 2018).

Magalhães, Degenhardt (2020) avaliaram formulação de álcool gel com celulose microfibrilada (MFC), quanto ao seu efeito sobre a bactéria *Escherichia coli* e efeito *rolling out*, efeito que o resíduo do polímero utilizado gera durante o espalhamento por entre as mãos. Gel antisséptico de folhas de *Ocimum tenuiflorum* com adição de 1% de CMC-Na tem qualidade física mais estável (Swari; Udayana; Shantini, 2020).

Reologia de géis

O comportamento reológico de álcoois em gel utilizando HEC, CMC, HPC e HPMC em diferentes concentrações alcoólicas foi estudado por Perinelli et al. (2021). Os autores observaram uma boa ação espessante do HPC que foi compatível com todas as concentrações alcoólicas utilizadas. Já o HPMC e HEC tiveram boa ação em concentrações menores ou igual a 60% m/m de etanol. CMC não teve uma boa ação em concentrações maiores que 40% m/m de etanol e, portanto, não se recomenda sua utilização na produção de produtos antissépticos para mãos.

Segundo Ramachandran (1999a), um ponto chave a ser considerado na reologia dos polímeros é a sua viscoelasticidade, sabendo que esta é uma capacidade de exibição de propriedades sólidas e líquidas de uma só vez pelo fluido. Essa capacidade de resistência ao escoamento e manutenção do caráter sólido estará diretamente relacionada a alteração de temperatura, força e cisalhamento aplicados ao gel.

Para Tadini *et al.* (2016), reologia é a ciência que estuda o escoamento e as deformações dos sólidos e fluidos, quando submetidos à ação de forças mecânicas, isto é, a forma como os materiais respondem à aplicação de tensões ou deformações.

Os materiais podem ser divididos em:

- Reversíveis ou elásticos: obedecem à lei de Hooke, possuem deformação reversível e não apresentam escoamento;
- Irreversíveis ou viscosos: obedecem à lei de Newton, possuem deformação irreversível e apresentam escoamento.

Os fluidos podem ainda ser divididos em dois grandes grupos segundo seu comportamento reológico:

- Fluidos Newtonianos: a viscosidade é constante a uma certa temperatura e pressão, independente da tensão de cisalhamento. A Equação 2 rege este tipo de fluido. São exemplos de fluidos Newtonianos água, leite, soluções de sacarose, óleos vegetais;

$$\sigma = \eta \dot{\gamma} \quad (2)$$

Onde:

σ = tensão de cisalhamento (N/m²);

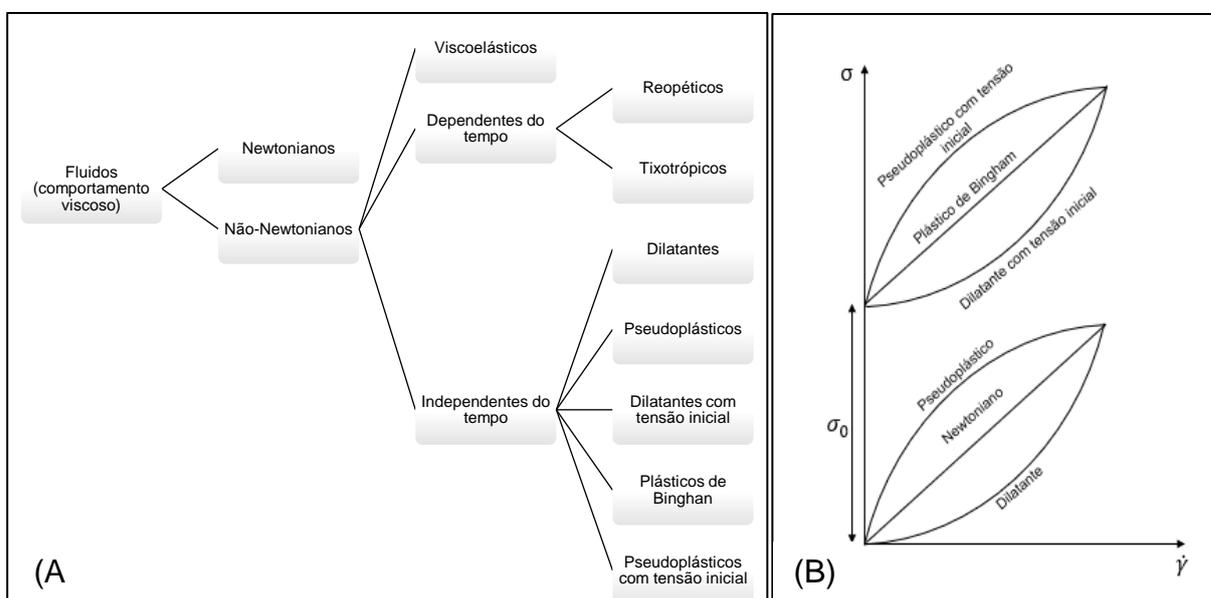
η = viscosidade Newtoniana (Pa.s);

$\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s^{-1}).

- Fluidos não-Newtonianos: a viscosidade do fluido não é constante para uma certa temperatura e pressão, em função da tensão de cisalhamento. Para este tipo de fluido são utilizados ajustes com modelos matemáticos.

Como mostrado na Figura 3, existem ainda mais subclasses e pode-se observar as curvas de escoamento para fluidos Newtonianos e não-Newtonianos independentes do tempo.

Figura 3 - Esquema representando classificação e caracterização dos fluidos.



(A) a classificação de fluidos de acordo com o seu comportamento reológico; (B) curvas de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo.

Fonte: Adaptado de Tadini *et al.*, 2016.

Para fluidos não-Newtonianos é bastante utilizada a Lei da Potência (Equação 3). Também se utilizam modelos matemáticos que apresentam em sua equação a representação da tensão inicial, como por exemplo os modelos de Bingham, Casson e Herschel-Bulkley (Steffe, 1996).

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad (3)$$

Onde:

σ = tensão de cisalhamento (Pa);

K = índice de consistência (Pa.sⁿ);

$\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s^{-1});

n = índice de comportamento (adimensional).

O índice de consistência indica o grau de resistência ao escoamento do fluido, ou seja, quanto maior o valor de K , mais viscoso será o fluido.

O índice de comportamento (n) indica o grau de afastamento do fluido do modelo newtoniano. Se $n = 1$, a Equação 3 se torna igual a Equação 2, onde $K = \eta$, ou seja, torna-se um modelo newtoniano. Se $n < 1$, o comportamento do fluido é pseudoplástico. Se $n > 1$, o fluido se classifica como dilatante.

Para fluidos não-Newtonianos dependentes do tempo existem duas classificações, os tixotrópicos e os reopéticos. Os tixotrópicos têm aglomerados mantidos juntos por forças fracas, e com o cisalhamento estas partículas se separam causando uma diminuição da viscosidade com o tempo até um valor constante. Já com os reopéticos, a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo a uma taxa constante de cisalhamento (Izidoro, 2007).

Ainda como parte dos ensaios não oscilatórios, para materiais viscoelásticos, pode-se citar os ensaios de *creep and recovery*. Nestes ensaios, aplica-se um estresse instantâneo observando-se a mudança na deformação ao longo do tempo. Ao retirar a tensão, o material se recupera e tenta voltar ao estado original (Steffe, 1996). A deformação de alguns materiais é consequência da quebra da estrutura do material pela aplicação do estresse e este material perde a habilidade de se recuperar (Spotti *et al.*, 2017).

No regime oscilatório, também são realizadas análises importantes para avaliar o comportamento viscoelástico de fluidos, principalmente géis, gomas, gelatinas etc.

No teste de varredura de tensão, se determina a faixa de viscoelasticidade linear, como teste preliminar para definir o limite de tensão de cisalhamento que se deve realizar uma posterior varredura de frequência.

Neste segundo ensaio, é possível se obter várias propriedades reológicas, sendo o principal a comparação entre as curvas do módulo de armazenamento (G') e do módulo de perda (G'') *versus* frequência angular (ω). Quando os valores de $G' > G''$, então, a amostra é mais elástica. Quando $G'' > G'$, a natureza é mais viscosa.

A Equação 4 é um parâmetro comumente utilizado para descrever o comportamento viscoelástico do material e está diretamente relacionado à energia perdida dividida pela energia armazenada.

$$\tan \delta = \frac{G''}{G'} \quad (4)$$

Onde:

$\tan \delta$ = tangente da fase shift ou fase angular;

G'' = módulo de perda (Pa);

G' = modulo de armazenamento (Pa).

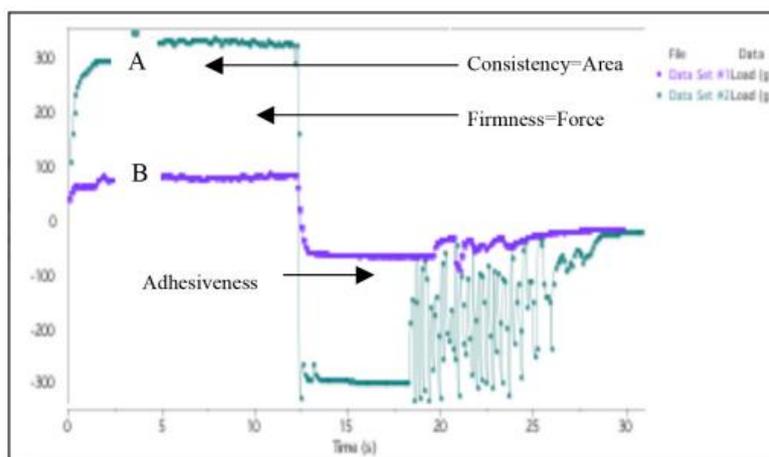
Para materiais sólidos viscoelásticos com maior caráter elástico, existem metodologias para determinação de diversos parâmetros que podem ser relacionados a características sensoriais.

O *Texture Profile Analysis (TPA)*, que é uma análise que simula a mastigação dos dentes molares em alimentos, fornecendo uma série de parâmetros primários e secundários. Algumas das características analisadas são dureza, coesão, adesividade, elasticidade e fraturabilidade (Rosenthal, 2010).

Para produtos cosméticos ou de cuidados pessoais realizam-se ensaios de *Back Extrusion* e *Dual Extrusion*. São ensaios que comparam consistência, adesividade e firmeza de materiais viscoelásticos com maior característica viscosa (Ametek, 2022).

Na Figura 4, observa-se uma análise feita pela fabricante Brookfield de duas marcas de xampu. A área na parte positiva do gráfico indica a consistência da amostra e a força máxima atingida indica a firmeza.

Figura 4 - Gráfico de força versus tempo, mostrando a consistência de dois tipos de *xampu* analisados sob as mesmas condições.



Fonte: <https://www.brookfieldengineering.in/brookfield-university/learning-center/application-notes/texture-applications/personal-care-products/shampoo>

A área formada na parte negativa do gráfico é conhecida como adesividade que pode ser definida como a energia necessária para quebrar o contato da amostra da sonda, e dá uma indicação das forças coesivas. Quanto maior o valor, mais energia é necessária (Ametek, 2022). Observa-se na Figura 4 que a amostra A é mais firme, mais consistente e possui maior adesividade que a amostra B.

CAPÍTULO 1 - UFPB no combate à COVID-19: Pesquisa e Produção para enfrentamento da pandemia de COVID-19

INTRODUÇÃO

Desde o surgimento do primeiro caso de contaminação pelo Sars-CoV-2 em Wuhan, China, no início de 2020, o mundo foi impactado de diversas formas pela pandemia de COVID-19. Por se tratar de uma doença, até então, desconhecida e a possibilidade de vacinas ainda muito distante, a higienização das mãos e superfícies passou a ser, mais do que nunca, um aliado no combate à infecção, haja vista serem meios de propagação preocupantes.

O álcool em gel passou a ser de grande importância no combate ao COVID-19 e no início da tomada de medidas de combate à doença a busca pelo produto se tornou mais um problema, devido à alta demanda, falta de reposição e/ou valores de venda acima do que se praticava anteriormente à pandemia. Outro produto que ficou escasso ou com preço acima do que vinha sendo praticado no mercado foi o CARBOPOL, um polímero sintético utilizado para dar a textura característica do álcool gel. Diante desta situação a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), a partir da RDC nº 350, de 19 de março de 2020, isentou, de forma extraordinária e temporária, esses produtos de registro e liberou a notificação como forma de estimular a produção de antissépticos alcoólicos, especialmente álcool em gel.

Dessa forma, foram surgindo polímeros substitutos ao Carbopol®, principalmente derivados da celulose, mas que não trazem as mesmas características desejadas ao produto pelos consumidores. A falta de controle nos produtos comercializados foi de grande preocupação, pois a eficiência do produto está diretamente ligada à concentração de álcool, que deve ser de 70% p/p, bem como orientações sobre a utilização do produto fora da data de validade. Observou-se também a falta de informações sobre os perigos do álcool gel nas suas novas formas de apresentação comercial ou utilização residencial (embalagens recicladas, totens).

Houve também escassez de informações sobre os aspectos desejados do produto pelos consumidores. As características sensoriais das marcas

existentes no mercado como viscosidade, adesividade, cor, bolhas, resíduos que ficam após a aplicação do produto, podem ser guias para melhor escolha do consumidor e padronização do produto.

É um direito dos consumidores ter acesso a informações dos produtos relacionadas à forma adequada de utilização, à sua composição e os perigos que estes podem trazer durante seu uso, principalmente se for inadequado. Com o álcool gel não é diferente, principalmente, por se tratar de um produto que determinadas informações são de extrema necessidade para que sua ação seja a desejada e para que sejam evitados acidentes. Desta forma, o consumidor poderá buscar seus direitos e saberá utilizar bem seu poder de compra, observando qual o produto que traz as melhores informações, composição e instruções, evitando ser levado ao erro.

Assim, o objetivo deste capítulo foi avaliar quantitativamente a qualidade do álcool gel comercializado em João Pessoa e qualitativamente o uso correto dos produtos nas suas diversas formas de apresentação e produzir álcool 70% para abastecimento do setor público de serviço de alimentação de João Pessoa – PB, de forma a garantir a manutenção de suas atividades com segurança em meio à pandemia, possibilitando o acesso deste produto às pessoas atendidas pelos equipamentos públicos de alimentação e que se encontram em situação de vulnerabilidade social.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório Tecnológico de Segurança Alimentar e Nutricional do CTDR-UFPB, quanto a produção de álcool, no Laboratório de Métodos de Extração e Separação da Universidade Federal de Goiás (LAMES-UFG) e no bairro de Mangabeira no município de João Pessoa – PB.

Análise da Qualidade de Álcool em Gel comercial

Álcoois em gel de diferentes marcas produzidas no Nordeste Brasileiro e comercializadas no município de João Pessoa - PB foram analisados quanto ao teor de álcool no LAMES – UFG, de acordo com metodologia descrita por Batista; Antoniosi Filho (2020), utilizando um Cromatógrafo Gasoso (CG) acoplado a espectro de massa e detector de ionização de chama (FID).

Uso do Álcool em Estabelecimentos Comerciais

Foi realizada uma pesquisa qualitativa observacional no bairro de Mangabeira no município de João Pessoa – PB sobre preferência de características sensoriais do consumidor de álcool. Os pesquisadores da UFPB percorreram ao menos 50 estabelecimentos alimentícios e de vestuário e coletaram informações sobre o tipo de álcool utilizado (gel ou líquido), o tipo de *dispenser* que armazenava o produto e comentários dos usuários. As informações foram coletadas observando-se o estabelecimento e por meio de entrevistas informais sem uso de questionário.

Produção de Álcool 70° INPM

Esta produção teve início em abril de 2020 e durou até outubro do mesmo ano. Para a produção utilizou-se um total de 1800L de álcool bruto doados pela Destilaria Tabu e pela Ambev, que também doou 2400 embalagens para o envase do produto pronto.

O álcool bruto foi diluído com água destilada proveniente do Laboratório de Microbiologia do CTDR, até concentração de 70° INPM ou 77% v/v. Para

avaliação do teor alcóolico, utilizou-se alcoômetro Gay-Lussac (Figura 5) e densímetro KYOTO KEN.

Figura 5 - Avaliação de teor alcóolico utilizando alcoômetro Gay-Lussac.



Fonte: Próprio autor, 2020.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Análise da Qualidade de Álcool em Gel comercial

A avaliação de marcas de produtos existentes no mercado local é importante para obtenção de informações como controle de qualidade da concentração de álcool. A Tabela 1 apresenta o resultado obtido em 2021 para 10 marcas comercializadas em João Pessoa – PB. Observou-se que 30% das marcas encontravam-se fora do padrão de qualidade recomendado pela RDC nº 422, da ANVISA (2020).

Para Andrade et al. (2007), o grau de hidratação é um fator importante para sua atividade antimicrobiana, sendo a solução alcoólica a 70% (massa/massa) a mais eficiente. Sua atividade antimicrobiana decresce acentuadamente em concentrações inferiores a 50% e superiores a 70% (Rochon-Edouard et al., 2004).

Tabela 1 - Dados de concentração de álcool em produtos comercializados em João Pessoa – PB.

Nome fantasia	Lote	Local de produção	Teor alcoólico descrito no rótulo (%)	Em não conformidade (fora dos 10% do rótulo*) (%)	Em conformidade (dentro dos 10% do rótulo*) (%)
Álcool gel	P00784	Abreu E Lima - PE	70,0	-	65,2
Becker	29042021	São José De Mipibu - RN	70,0	-	68,4
Fattore	347	Euzébio - CE	70,0	-	64,3
Hanova	6754	Euzébio - CE	70,0	57,0	-
Max clear	-	Bayeux - PB	70,0	49,7	-
Oris	260004	Jaboatão Dos Guararapes - PE	70,0	-	65,0
Power+	P02144	Abreu E Lima - PE	70,0	-	65,4
Sheron	70521	João Pessoa - PB	70,0	-	71,6
Brilux	179	Paulista - PB	65,0	-	58,9
Quasar	440005/1.2	Novo Horizonte - PB	67,0	57,7	-

*Limites definidos pela RESOLUÇÃO DE DIRETORIA COLEGIADA – RDC Nº 422, DE 16 DE SETEMBRO DE 2020 do Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária/Diretoria Colegiada.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Uso de álcool em estabelecimentos comerciais durante a Pandemia COVID-19.

A fim de nortear o desenvolvimento de produto de álcool gel a base de polímero HEC (capítulo 2), investigou-se como estava sendo feito o uso de saneantes a base de álcool pela população, por meio de visita a estabelecimentos comerciais no bairro de mangabeira. Houve diversos relatos de comerciantes de que o álcool em gel causava problema de entupimento nos *dispensers*. Grande parte dos comerciantes de mangabeira utilizam álcool em gel do quase fluido, inclusive misturam álcool em gel com álcool líquido antes de colocarem nos *totens* para evitar este entupimento.

Os comerciantes relataram que “os clientes não gostam do aspecto que o álcool em gel deixa nas mãos. Não seca rápido ou é do tipo pegajoso / esfarelado”. Os clientes preferem álcool líquido em estabelecimentos alimentícios como restaurantes, padarias e mercados públicos.

Quanto ao tipo de *dispensers*, os comerciantes preferem utilizar material personalizado com a logo da empresa. No entanto, quando não utilizavam o *dispenser* personalizado, observou-se o uso de borrifadores com álcool líquido. Foi observado que os *dispensers* personalizados são de cano PVC em sua maioria e o tubo que transporta o álcool vem em grande velocidade projetando o fluido para frente, além de ser muito baixo, podendo causar acidentes em crianças.

Quanto ao uso de Equipamentos de Proteção, foi observado que em estabelecimentos comerciais no centro de Mangabeira (Avenida Josefa Taveira), bem como dentro do mercado público de alimentos, os funcionários não faziam uso de nenhum tipo de álcool e preferiam ficar sem máscara.

Quanto ao uso perigoso do álcool, foi relatado no mercado público de Mangabeira que algumas pessoas de extrema pobreza utilizam o álcool líquido para fazer fogo e substituir o gás, por conta do alto preço do gás.

Produção de Álcool 70°INPM no CTDR-UFPB

O álcool 70°INPM foi um aliado contra a propagação do COVID-19, pois os meios de combater e se proteger do vírus, antes do desenvolvimento de vacinas, foi por meio de higienização e distanciamento social. No início da pandemia, em meados de março de 2020, o mercado local estava com seus estoques de álcool em gel e álcool líquido 70°INPM esgotados ou com valores de venda acima do que se praticava.

O Centro de Vocação Tecnológica em Segurança Alimentar e Nutricional (CVTSAN) do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional (CTDR) e o Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da UFPB, observaram a necessidade de abastecer com álcool 70°INPM equipamentos públicos de segurança alimentar e nutricional (SAN) do município de João Pessoa e do estado da Paraíba. Em parceria com XIX Conselho Regional de Química (CRQ-XIX), fizeram parte desta ação servidores docentes e técnico-administrativos e discentes dos departamentos de Tecnologia de Alimentos e de Tecnologia de Produção Sucrialcooleira da UFPB (Figura 6).

Figura 6 - Coordenação e equipe técnica do CVTSAN-UFPB, em parceria com CRQ-XIX.



Fonte: Braga, 2020.

Para a produção utilizou-se um total de 1800L de álcool bruto doados pela Destilaria Tabu, localizada em Recife – PE, e pela Ambev, localizada em

Itapissuma – PE, (Figura 7), que também doou 2400 embalagens para o envase do produto pronto.

Figura 7 - Caminhão da UFPB em frente à fábrica da Ambev Pernambuco para receber doação de álcool etílico absoluto.



Fonte: Próprio autor, 2020.

Com uma ação voltada para este público, observou-se também o potencial de adequação de laboratórios do CTDR para a produção de álcool 70°INPM, com rigoroso controle de qualidade. Na Figura 8, pode-se observar o laboratório de Análise Sensorial do CVTSAN-UFPB, reorganizado para a produção. As atividades de produção foram realizadas seguindo as normas de biossegurança indicadas pela Organização Mundial de Saúde (OMS). Estas ações deram a oportunidade aos discentes dos cursos de graduação em Tecnologia Sucroalcooleira, Tecnologia de Alimentos e Engenharia Química de adquirir mais conhecimento a respeito de normas de produção de álcool 70°INPM.

Figura 8 - Produção de álcool etílico 70°INPM no laboratório de análise sensorial do CVTSAN-UFPB.



Fonte: Próprio autor, 2020.

Foram produzidos um total 2.289L de álcool líquido 70°INPM e envasado e rotulado (Figura 9) de acordo com as normas da ANVISA. Foram produzidos álcool líquido 70°INPM e álcool glicerinado. De Andrade et al. (2007), já observavam que embora tenham grande aceitabilidade de profissionais comparado à lavagem das mãos com água e sabão, não se deve utilizar álcoois para higiene das mãos sem emoliente, pela possibilidade de causar ressecamento das mãos e lesões. O álcool adicionado de glicerina é recomendado para o uso em mãos, pois o álcool etílico pode causar irritações na pele causados pela desidratação gerada no uso contínuo do produto (Jing et al., 2020).

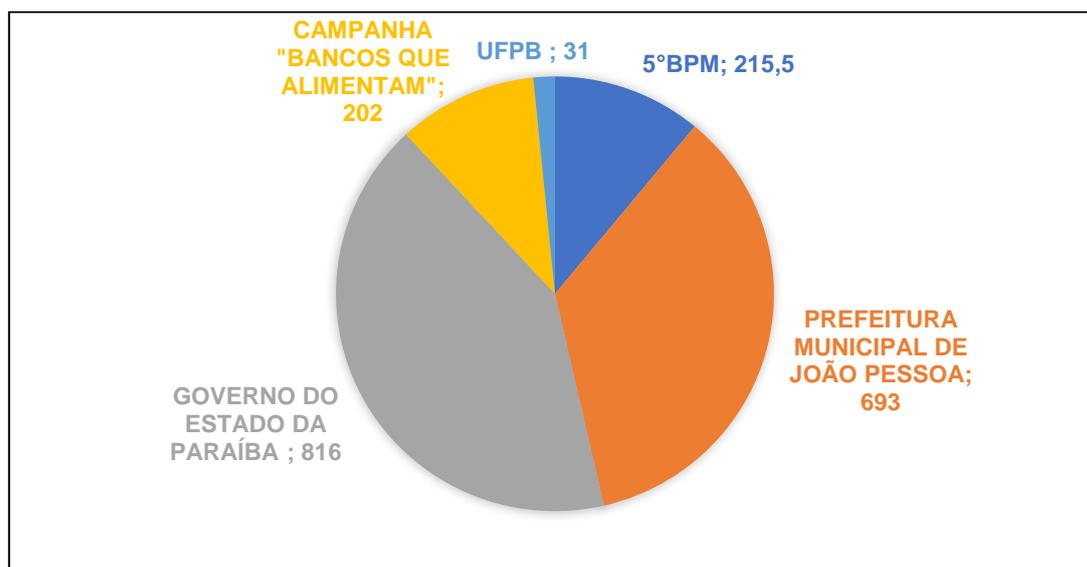
Figura 9 - Rótulo de álcool 70°INPM produzido pelo CTRD-UFPB.



Fonte: Pereira; Wanderley, 2020.

Do total da produção, 1.850L foram doados para os equipamentos públicos de SAN entre os meses de abril e setembro de 2020, como mostrado na Figura 10.

Figura 10 - Doações feitas pelo CVTSAN-UFPB de álcool 70°INPM por entidade em litros.



Fonte: Próprio autor, 2020.

Foram realizadas a produção e a distribuição de álcool 70°INPM para as cozinhas comunitárias, restaurante popular, banco de alimentos, instituições socioassistenciais, Centro de Referência da Assistência Social (CRAS) do município de João Pessoa, Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA - PB), 5º Batalhão de Polícia Militar da Paraíba (5º BPM-PB) (Figura 11).

Figura 11 - Distribuição de álcool etílico 70°INPM produzido no laboratório de análise sensorial do CVTSAN-UFPB.



Fonte: Próprio autor, 2020.

Em junho de 2020, através de um projeto de extensão, destaca-se a doação para o Projeto “Bancos que alimentam” no São João. Esta ação ajudou a produzir comidas típicas juninas com a arrecadação de insumos e como na Figura 12, trocando 500mL do álcool produzido por alguma contribuição financeira, que foi utilizada para aquisição de mais ingredientes de comidas típicas juninas. Foram destinados 152L de álcool líquido 70°INPM para que os produtores pudessem fazer a correta higienização de embalagens, bancadas e mãos.

Figura 12 – Apoio do CVTSAN-UFPB com produção de álcool 70°INPM à ação do projeto “bancos que alimentam” no São João.



Fonte: Braga, 2020.

Na Paraíba, no mês de junho muitas famílias obtêm renda ou renda extra através da produção e comercialização de comidas típicas a base de milho. A pandemia causou falta de recursos financeiros para a aquisição de ingredientes, principalmente em famílias mais vulneráveis socialmente. Com esta ação pôde-se dar condições de renda e trabalho para 80 famílias.

Foram doados 160 kits (Figura 13) às mulheres usuárias das cozinhas comunitárias atendidas pela Associação Comunitária do Clube de Mães da Paraíba, para produção de comidas típicas juninas, que foram comercializadas através de redes-sociais e entregues *delivery* ou retirada em local definido.

Figura 13 – Kits de ingredientes juninos distribuídos pelo projeto “bancos que alimentam” da UFPB e contendo álcool 70°INPM produzido na UFPB.



Fonte: Braga, 2020.

Este projeto resultou em um capítulo do livro “UFPB no combate ao COVID-19”, um compilado de projetos desenvolvidos com foco nos estudos e ações realizadas no combate ao COVID-19, no âmbito da UFPB.

CONCLUSÃO

O controle de qualidade do teor alcoólico de produtos comercializados em João Pessoa – PB e fabricados no Nordeste resultou na aprovação de 70% das marcas, sendo que duas das três marcas tinham produção na Paraíba.

A produção do álcool 70°INPM, em conjunto com ações extensionistas da UFPB contribuíram para garantir o acesso a alimentos seguros em qualidade e quantidade adequada às famílias em situação de vulnerabilidade, tendo em vista que a prefeitura municipal de João Pessoa estava sem estoques de álcool nos equipamentos públicos de alimentação. A experiência com a produção agregou conhecimento e formação acadêmica cidadã aos estudantes da UFPB, que mesmo em meio a uma pandemia dedicaram-se em prol de uma causa urgente.

CAPÍTULO 2 – Desenvolvimento e avaliação de álcool gel espessado com polímero celulósico

INTRODUÇÃO

O álcool em gel passou a ser de grande importância no combate à COVID-19 auxiliando na higienização das mãos, que é um dos meios de propagação do coronavírus mais preocupantes. Na tomada de medidas de combate ao COVID-19 foi perceptível para qualquer um o desabastecimento do produto e valores de venda acima do que se praticava anteriormente à pandemia.

Houve também escassez e adoção de preço acima do que vinha sendo praticado do carbômero, polímero sintético utilizado como agente espessante e gelificante. Diante desta situação a ANVISA, isentou, de forma extraordinária e temporária, esses produtos de registro, notificação e licenciamento sanitários como forma de estimular a produção de antissépticos alcoólicos, possibilitando a utilização de polímeros alternativos (Brasil, 2020). Esta isenção abriu possibilidades para a utilização de biopolímeros, como por exemplo os éteres e ésteres celulósicos, devido às suas características mecânicas com diversas aplicações industriais.

O biopolímero HEC tem chamado atenção por ser facilmente degradado pelas celulasas (Noreen et al., 2020). O emprego de biopolímeros na produção de álcool gel traz benefícios à cadeia de produção devido a biodegradabilidade dos derivados e à abundância da celulose como matéria-prima no Brasil (Relatório IBÁ, 2019; Vlaia *et al.*, 2016). Já foi observado que os polímeros celulósicos HEC e CMC possuem limitação de concentração alcoólica, sendo que o HEC espessou de forma satisfatória soluções $\leq 60\%$ p/p de etanol e o CMC soluções $\leq 40\%$ m/m etanol. No entanto, agências de saúde não recomendam a utilização de produtos com menos de 60% v/v de etanol.

O objetivo geral dessa pesquisa foi desenvolver formulação, processo de produção e de avaliação da textura de álcool em gel, a base do espessante HEC, que seja um produto que apresente ação antimicrobiana e características similares a outros produtos comerciais.

MATERIAL E MÉTODOS

Material

Foi utilizado álcool etílico PA SCIAVICCO (Brasil) e glicerina bidestilada SCIAVICCO (Brasil). O álcool etílico utilizado como insumo para a produção de álcool em gel deve ter o seu grau alcoólico determinado e para isso foi utilizado um alcoômetro de Gay-Lussac. Segundo a Farmacopéia Brasileira (2012), a concentração de etanol (v/v) deve ser medida na temperatura de 15°C. Quando não for possível a utilização desta temperatura, o volume deve ser convertido à temperatura de referência utilizando-se a Tábua da Força Real dos Líquidos Espirituosos da Farmacopéia Brasileira (Brasil, 2012).

Os polímeros celulósicos utilizados foram carboximetilcelulose (CMC); e hidroxietil celulose (HEC) de duas marcas, uma comercializada no estado da Paraíba (D) e outra no estado de São Paulo (K).

Para ser utilizado como controle negativo nas análises microbiológicas, foi utilizada solução de clorexidina 4,0% obtida em farmácia de manipulação no comércio local. No Laboratório de Microbiologia do CTDR foram obtidos a cepa de *Escherichia coli* ATCC 11301, caldo *Brain Heart Infusion* (BHI) da marca MERCKY (Alemanha) e meio de cultura Ágar Müller Hinton (MH) da marca ION CULT (Brasil). A cepa de *Staphylococcus aureus* ATCC 25923 foi obtida no Hospital Universitário Lauro Wanderley (HULW).

Desenvolvimento do álcool gel a base de polímeros celulósicos

O desenvolvimento do álcool gel foi realizado no LTSAN, localizado no CTDR/UFPB. Foram testados diferentes formulações e métodos de preparo, variando de acordo com o polímero celulósico, seguindo as recomendações da Farmacopéia Brasileira (ANVISA, 2012).

O volume de etanol PA foi calculado a partir da Equação 4:

$$V_1 = \frac{c_2 \cdot V_2}{c_1} \quad (4)$$

Onde:

C_1 = Concentração de etanol absoluto;

C_2 = Concentração final do álcool gel (70°INPM ou 77% v/v);

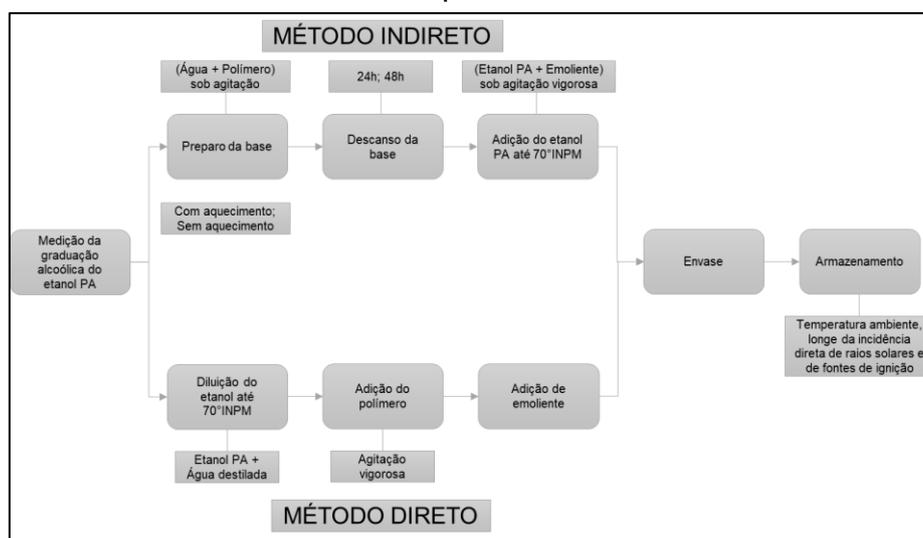
V_1 = Volume de etanol PA;

V_2 = Volume final do álcool gel.

O volume de água destilada foi determinado pela diferença do volume final de álcool gel e o volume de etanol PA. O volume de glicerina foi de 1,45% do volume final de álcool gel, baseando-se nas orientações da ANVISA (2020).

Na Figura 14, a partir de um fluxograma, pode-se resumir dois métodos testados para a produção do álcool gel. No método de adição direta, preparou-se a solução alcoólica 70°INPM ou 77% v/v. O polímero celulósico foi adicionado lentamente no vórtice da solução sob vigorosa agitação em agitador mecânico FISATOM 715 (Brasil). Ao final, adicionou-se o umectante.

Figura 14 – Fluxograma do método direto e método indireto, utilizados para os ensaios preliminares.



Fonte: Próprio autor, 2022.

No método de adição indireta, o polímero celulósico foi adicionado na água sob agitação vigorosa por 30 minutos para formação da base em gel. A base foi dividida em três lotes, um lote para uso imediato, outro com repouso de 24 horas e o último com repouso de 48 horas. Umectante e etanol foram adicionados lentamente à base de duas formas diferentes. No primeiro teste, utilizou-se um agitador mecânico FISATOM 715 (Brasil) e no segundo teste, utilizou-se um

homogeneizador a facas, liquidificador OSTER BLSTMG-RR8-357 (Brasil), com quatro lâminas, sendo duas inclinadas para baixo e duas inclinadas para cima, com potência de 750 W.

A nomenclatura das formulações é apresentada na Tabela 2. A concentração de polímero foi calculada com base na massa final do produto.

Tabela 2 - Composição das amostras em ensaios preliminares com diferentes polímeros celulósicos.

Polímero	Concentração de polímero (%p/p)	Nomenclatura
HEC	0,15;	D0,15SA
	0,3;	D0,3CA / D0,3SA / K0,3CA
	0,9	D0,9CA / D0,9SA / K0,9CA
CMC	0,15;	CMC0,15
	0,26;	CMC0,26
	0,3	CMC0,3

Fonte: Próprio autor, 2022.

Para estas amostras utilizou-se as letras K ou D para representar a marca do polímero, seguido de valor da concentração do polímero e por fim das letras CA ou SA que representam, respectivamente, com aquecimento e sem aquecimento.

Para o preparo da base polimérica, o polímero foi pesado em balança analítica BIOSCALE Fa-2204-Bi (Brasil). No processo sem aquecimento, adicionou-se o polímero lentamente em água sob agitação mecânica a 1500 rpm, no equipamento de marca FISATOM 715 (Brasil) equipado com hélice de quatro pás, com 3 cm comprimento. Essa mistura foi agitada por 15 minutos. O processo com aquecimento foi realizado a 40°C com o auxílio da chapa aquecedora do agitador magnético SOLAB SL – 95 (Brasil). A base polimérica foi armazenada por 24h, em recipiente fechado, a temperatura ambiente.

Para a produção do álcool gel, transferiu-se toda a base polimérica para uma jarra de vidro de um homogeneizador a facas, de quatro lâminas, sendo duas inclinadas para baixo e duas inclinadas para cima, com potência de 750 W, liquidificador OSTER BLSTMG-RR8-357 (Brasil). Ligou-se o equipamento no

nível um de velocidade e apenas com a tampa menor aberta, adicionou-se aos poucos todo o volume de álcool no centro do vórtex formado. Após, adicionou-se 1,45% (m/v) de glicerina bidestilada.

As amostras foram armazenadas em garrafas de politereftalato de etileno (PET) de 500mL, mantendo um espaço livre superior de 4 cm, fechadas com tampa com lacre, em temperatura ambiente, longe da incidência direta de raios solares e de fontes de ignição, até as análises do álcool gel.

Foram observados a consistência, o teor alcóolico suportado, cor e presença de partículas. A consistência foi classificada por níveis e comparadas entre os tratamentos de forma crescente, ou seja, consistência nível 1, a menor, foi próximo de um gel de cabelo e a consistência nível 3, a maior, próximo da sobremesa gelatina.

A cor foi classificada visualmente como transparente quando há a passagem total de luz, translúcido quando há passagem parcial da luz e amarelado quando há tons amarelos.

A presença ou não de partículas foi observada no polímero que não suportava teores alcoólicos superiores a 40%, e, portanto, inadequados para produção álcool gel.

Estudo das concentrações de álcool gel produzido com base de HEC

Desenvolveram-se formulações com varredura de concentração de HEC, proveniente do estado da Paraíba (D), de 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; e 1,0% com relação ao produto final. O preparo do álcool gel foi realizado conforme descrito na etapa de desenvolvimento do álcool gel a base de polímeros celulósicos sem aquecimento.

Para realização de análises, foi necessário transferir o álcool gel para tubos Falcon de 50ml e foi realizada a etapa de centrifugação em centrífuga refrigerada EPPENDORF 5430R (Alemanha), a velocidade de 3500rpm, por cinco minutos, a temperatura de 15°C, para remoção de bolhas formadas durante o processo. Manteve-se este álcool gel em repouso de 24h para proceder com as análises.

Análises reológicas do álcool gel 70°INPM com base de HEC

A caracterização reológica do gel foi realizada em texturômetro BROOKFIELD CT3 (EUA) e em reômetro THERMO SCIENTIFIC Haake MARS III (Alemanha).

No texturômetro foi utilizado o método para *TPA* nas amostras obtidas nos ensaios preliminares. Foi utilizado probe cilíndrico de acrílico de diâmetro 50,8mm por 20,0 de altura. As amostras foram dispostas em placas de *Petri* de 60mm, com a intenção de simular a fina camada que se deposita nas mãos. Foram realizadas duas compressões de 60% da altura do material depositado nas placas, com intervalo de 5s entre cada uma, velocidade de teste de 1mm/s e força inicial de 0,05N. A análise só foi possível ser realizada com amostras de HEC D0,9CA; D0,9SA; e K0,9CA. Foram avaliados parâmetros de coesão, adesividade, elasticidade e formação de fio.

O ensaio de *Dual Extrusion* foi adaptado a partir de material disponibilizado pela fabricante do equipamento, utilizando uma célula de acrílico de 39 mm de diâmetro e o *plunger* de 38 mm, adequados para este ensaio. Foi realizada uma compressão até a distância de 20 mm, numa velocidade de teste de 2,0 mm/s. Este ensaio foi realizado em todas as amostras da etapa de estudo das concentrações de álcool gel a base de HEC. Foram avaliados parâmetros de adesividade, firmeza e consistência.

Os parâmetros das análises realizadas no texturômetro foram calculados através do *software* TexturePro CT V1.3 Build 15 (EUA), fornecido com o equipamento.

No reômetro foram realizados ensaios em regime estacionário e transiente. Para obtenção de curvas de escoamento com taxa de deformação controlada avaliou-se a viscosidade e o tipo de fluido a partir de três curvas. Na primeira, ascendente, variou-se a taxa de deformação de 0 a 300s⁻¹. A segunda curva, descendente, variou-se a taxa de deformação de 300 a 0s⁻¹. Foi ainda realizada uma terceira curva com os mesmos parâmetros da primeira, para avaliar equação de viscosidade, ajuste de curva e tipo de fluido. As curvas foram

ajustadas pelo modelo da Lei da Potência (Equação 5). Utilizou-se geometria de placa de 35mm.

$$\sigma = K\dot{\gamma}^n \quad (5)$$

Onde:

σ = tensão de cisalhamento (Pa);

K = índice de consistência (Pa.sⁿ);

$\dot{\gamma}$ = taxa de cisalhamento (s⁻¹);

n = índice de comportamento (adimensional).

As amostras foram centrifugadas, logo após a produção e antes das análises reológicas, para evitar a interferência de bolhas de ar.

O índice de tixotropia foi calculado segundo a Equação (6), como descrito por Schumacher et al. (2009).

$$IT = \frac{A_2 - A_1}{A_2} \quad (6)$$

Onde:

IT= Índice tixotrópico;

A₂= Área formada sob a curva de dados reológicos ascendente;

A₁= Área formada sob a curva de dados reológicos descendente.

Ensaio em estado oscilatório foram realizados inicialmente a partir de curva de tensão em frequência 1Hz para determinar o intervalo de linear de resposta à tensão e ensaios de varredura de frequência entre 0,05 e 10 Hz com tensão fixa dentro do intervalo de linear para avaliação da formação do gel. Utilizou-se geometria de placa de 35mm.

Em todos os ensaios do reômetro foi utilizado o acessório *sample hood* com compartimento interno abastecido com álcool 70°INPM, com a finalidade de manter o sistema fechado e saturado de álcool, evitando que a evaporação da amostra em análise.

Os dados das análises realizadas no reômetro foram obtidos através do *software* HAAKE RheoWin Data Manager 4.63.0004 (Alemanha).

Análises microbiológicas

As análises microbiológicas foram realizadas no Laboratório de Microbiologia do CTDR. O crescimento dos inóculos de *Escherichia coli* (*E. coli*) e *Staphylococcus aureus* (*S. aureus*) foi realizado pelo método *overnight* por 24h em caldo BHI. Após o tempo de descanso, analisou-se a turvação em bioespectrofotômetro EPPENDORF 6135 (Alemanha) em comprimento de onda 600 nm. Foram feitas diluições até obter-se absorvância de 0,5, correspondente a $1-2 \cdot 10^8$ UFC/mL.

Seguiu-se com o método de disco de difusão adaptado de (Macario *et al.*, 2021), utilizando água como controle positivo, solução de clorexidina 4% como controle negativo e as formulações desenvolvidas no estudo das concentrações de álcool gel a base de HEC, sendo avaliado seu efeito sobre microrganismos. Em cada placas de Petri contendo meio de cultura ágar MH, adicionou-se 1mL da solução de *Escherichia coli*. Foi feito o estriamento com auxílio de alça de Drigalki de vidro. O mesmo foi feito para *S. aureus*.

Como mostrado na Figura 15, discos de papel estéreis foram submersos nas amostras durante um minuto. Com auxílio de pinças estéreis, os discos foram transferidos para as placas de Petri após a solução, que havia sido estriada anteriormente, estar seca.

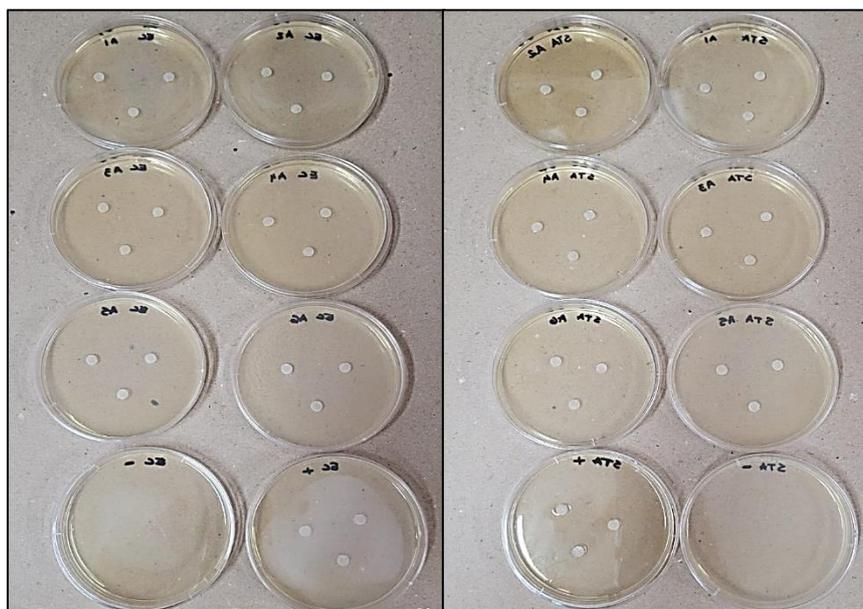
Figura 15 - Discos de papel estéreis submersos nas amostras.



Fonte: Próprio autor, 2023.

Esperou-se as amostras secarem e as placas foram levadas para estufa a 35°C durante 24h, como mostrado na Figura 16. As análises foram realizadas em triplicata e observou-se a formação de halos ao redor dos discos.

Figura 16 - Placas com triplicatas de amostras, controles positivo e negativo, para avaliação de seus efeitos sobre *e. coli* e *s. aureus*.



Fonte: Próprio autor, 2023.

Os diâmetros dos halos formados em cada repetição foram obtidos através de imagens feitas em estereomicroscópio LEICA S9i (Alemanha), e posteriormente, medidos através do software Leica Application Suite X (LAS X) 3.7.4.23463 (Alemanha).

Análise estatística

Os resultados foram expressos pela média \pm desvio padrão. Cada replicação consistiu em 3 medições independentes. Os resultados estatísticos foram realizados para todos os parâmetros analisados em texturômetro, índices tixotrópicos e viscosidade aparente.

Os resultados formaram um banco de dados criado em planilha Excel® e posteriormente foi transferido para o software STATISTICA (*data analysis software system*) 7.0 (EUA) para Windows®. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e foi aplicado o teste de Tukey a 5% de probabilidade, para comparação das médias.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Desenvolvimento do álcool gel a base de biopolímeros celulósicos

Para o desenvolvimento de álcool gel isento de Carbopol®, inicialmente testou-se a capacidade do polímero substituto em espessar soluções aquosas com a formação de géis sem partículas.

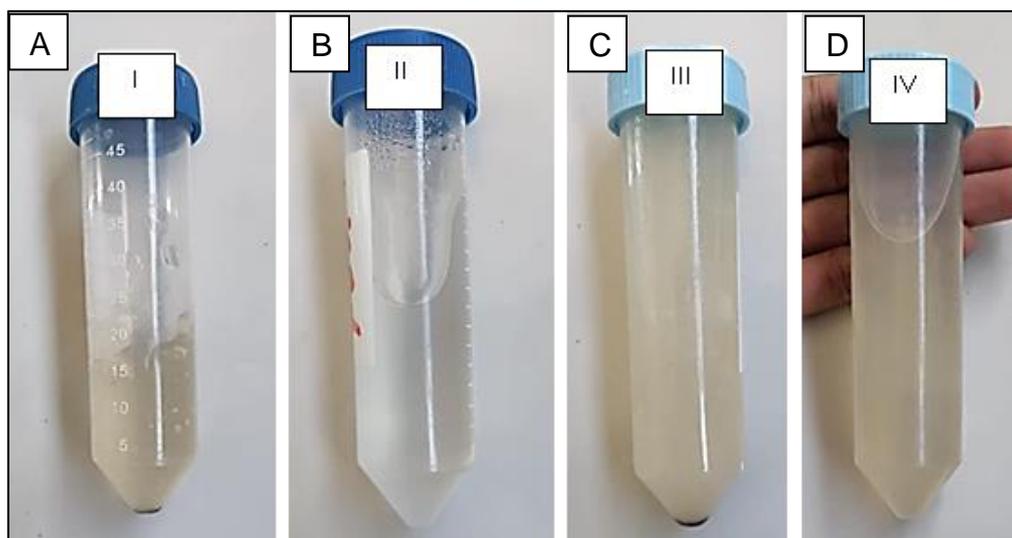
As características observadas nos produtos obtidos no estudo dos polímeros derivados de celulose, tais como aspectos visuais e teor alcoólico máximo do álcool gel produzido com adição de álcool etílico 77°GL, foram apresentados nas Figuras 17 e 18, e Tabela 3.

Para o processo de homogeneização da base aquosa de CMC com o álcool etílico 77°GL observou-se que o homogeneizador a facas, de quatro lâminas, sendo duas inclinadas para baixo e duas inclinadas para cima, com potência de 750 W (liquidificador OSTER 750W) apresentou melhor resultado em produzir uma base gel uniforme do que o agitador mecânico de 70 W com geometria de turbina de 4 pás. Este último apresentou potência insuficiente tanto para produção da base quanto para mistura da base com etanol, a baixa rotação do meio fazia com que o polímero desidratasse com menos de 40% do álcool necessário para formulação.

Na Figura 17, as imagens A e B representam, respectivamente, o gel obtido pela hidratação do CMC sem a presença de etanol e o gel com a adição de etanol, porém o gel não se mantém quando a adição de etanol se aproxima de 50%, conforme ilustrado nas imagens C e D. Nestas condições, o gel perde a característica de semissólido e passa a apresentar turbidez caracterizada pela desidratação da molécula da CMC pelo álcool.

As amostras CMC 0,26% e CMC 0,3%, apresentaram uma base gel com aspecto consistente nível 2 e consistente nível 3, respectivamente. Entretanto ao ser adicionado o álcool também não alcançaram o teor mínimo em °GL para ser utilizado como agente antisséptico. Desta forma, o CMC não foi considerado como uma opção polimérica para substituir o carbômero.

Figura 17 - Características visuais de produtos obtidos com CMC.



A) base aquosa de CMC 0,3%, B) álcool gel com CMC em 40 °GL, C) álcool gel com CMC em 50 °GL, D) álcool gel com CMC em 60 °GL.

Fonte: Próprio autor, 2021.

No Tabela 3 é possível comparar as características dos produtos obtidos durante os ensaios realizados com os biopolímeros. Para CMC a 0,15% foi obtida uma base aquosa consistente nível 2. Porém, ao ser adicionado o álcool houve precipitação, formação de grumos e perda de viscosidade na amostra e compactação do CMC (desidratação), indicando uma baixa solubilidade em meio alcoólico, alcançando apenas 40°GL. Conseqüentemente não atendeu o requisito mínimo em teor alcoólico para ser considerado álcool em gel de acordo com as normas da ANVISA.

Não foi possível de solubilizar/hidratar o polímero HEC da marca K a temperatura ambiente. Ao ser adicionada a água o polímero precipitou e mesmo sob agitação mecânica não houve hidratação necessária para formação de gel. A hidratação do polímero só foi possível por meio de aquecimento e agitação constante, deste modo, foi necessário realizar o aquecimento da água a 38°C, adicionar o polímero a 0,3% e a 0,9% sob agitação por 25 minutos, e esperar o resfriamento para assim, obter a base em gel.

Tabela 3 - Descrição das características dos produtos obtidos com diferentes concentrações de CMC e HEC.

Formulações	Características da base aquosa	Máximo teor alcoólico °GL	Aparência do álcool em gel
CMC 0,15%	consistência nível 2	40	Fluido, translúcido, com partículas
CMC 0,26%	consistência nível 2	50	Gel, translúcido
CMC 0,3%	consistência nível 3	50	Gel, translúcido
D0,15SA	consistência nível 1, amarelada e com espuma	79	Fluido, transparente
D0,3SA	consistência nível 1, amarelada e com espuma	79	Gel, transparente
D0,9SA	consistência nível 3, amarelada, sem espuma	79	Gel, translúcido
D0,3CA	consistência nível 2, amarelada e com espuma	79	Gel, transparente
D0,9CA	consistência nível 3, amarelada, com espuma	79	Gel, translúcido
K0,3CA	Consistência nível 1, esbranquiçada e com espuma	79	Gel, transparente
K0,9CA	Consistência nível 2, esbranquiçada e com espuma	79	Gel, transparente

Fonte: Próprio autor, 2022.

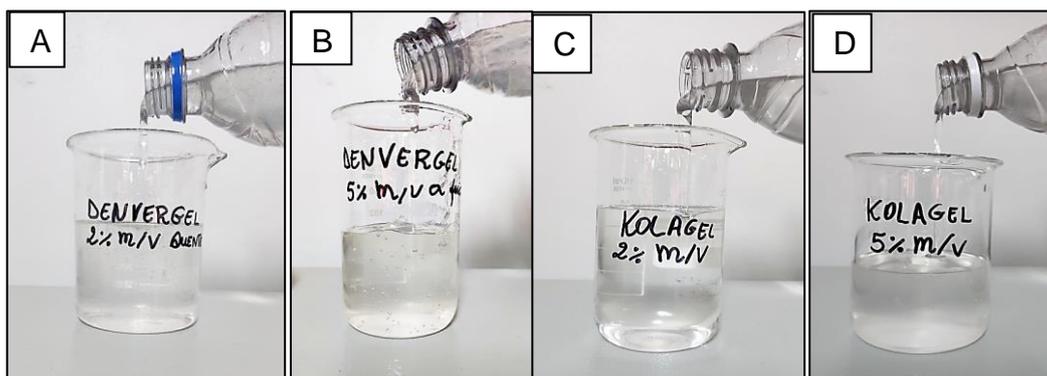
Com a concentração do polímero HEC D0,15SA foi obtido uma base gel consistência nível 1. Ao adicionar o etanol percebeu-se uma perda na força do gel, resultando em um produto líquido. Este fato se deu, pois o percentual de polímero empregado estava fora do mínimo recomendado.

No entanto, com o aumento de concentração para 0,3% e 0,9%, a base apresentou um aspecto consistente, alcançando também o teor alcoólico dentro da norma. O álcool em gel apresentou aspecto transparente para os tratamentos com menor concentração de polímero e translúcido para maiores concentrações. Na segunda situação, pode-se justificar pela presença de bolhas no produto. As amostras diferiram na consistência, onde a concentração de 0,3%, com ou sem aquecimento, seria mais recomendada para gel do tipo spray, enquanto a 0,9, com e sem aquecimento, apresentou maior viscosidade, recomendado para álcool em gel com consistência similar ao carbômero.

Os álcoois em gel obtidos a partir da base HEC KCA, tanto para 0,3% quanto para 0,9%, apresentaram resultados similares quanto a viscosidade, formação de espuma, coloração, teor de álcool (Tabela 3).

Como exemplificado na Figura 18, o álcool com D0,3SA apresenta uma fluidez maior do que o álcool em gel obtido com a base D0,9SA. Na concentração mais elevada, o produto flui do interior da garrafa para o béquer em bloco gelificado, enquanto o de menor concentração de polímero escoava de forma contínua para o béquer. Há presença de pequenas bolhas nas duas formulações e visualmente não apresentam diferença de cor.

Figura 18 - Álcool em gel produzido com as bases de HEC.



A) D0,3SA; B) D0,9SA; C) K0,3CA e D) K0,9CA.

Fonte: Próprio autor, 2021.

Os resultados reológicos de escoamento para as amostras de álcool gel produzido com HEC de duas marcas distintas são apresentados na Figura 19 e na Tabela 4. Nesta tabela são apresentados os parâmetros de ajuste do modelo

lei da potência aos dados obtidos em estado estacionário (curva 3) para cada amostra, sendo eles o índice de consistência e o índice de comportamento, bem como o coeficiente de correlação do modelo.

Tabela 4 - Parâmetros de ajuste do modelo de Lei da Potência aos dados da curva de escoamento de álcool gel preparado com diferentes processos e marcas de HEC.

Formulação	K (Pa.s ⁿ)	n (adimensional)	R ²
D0,3SA	0,1319	0,702	0,9988
D0,3CA	0,0734	0,860	0,9960
D0,9SA	6,2112	0,398	0,9974
D0,9CA	8,7761	0,374	0,9964
K0,9CA	0,4638	0,691	0,9981

K (Pa.sⁿ) é o índice de consistência e n (-) é o índice de comportamento.

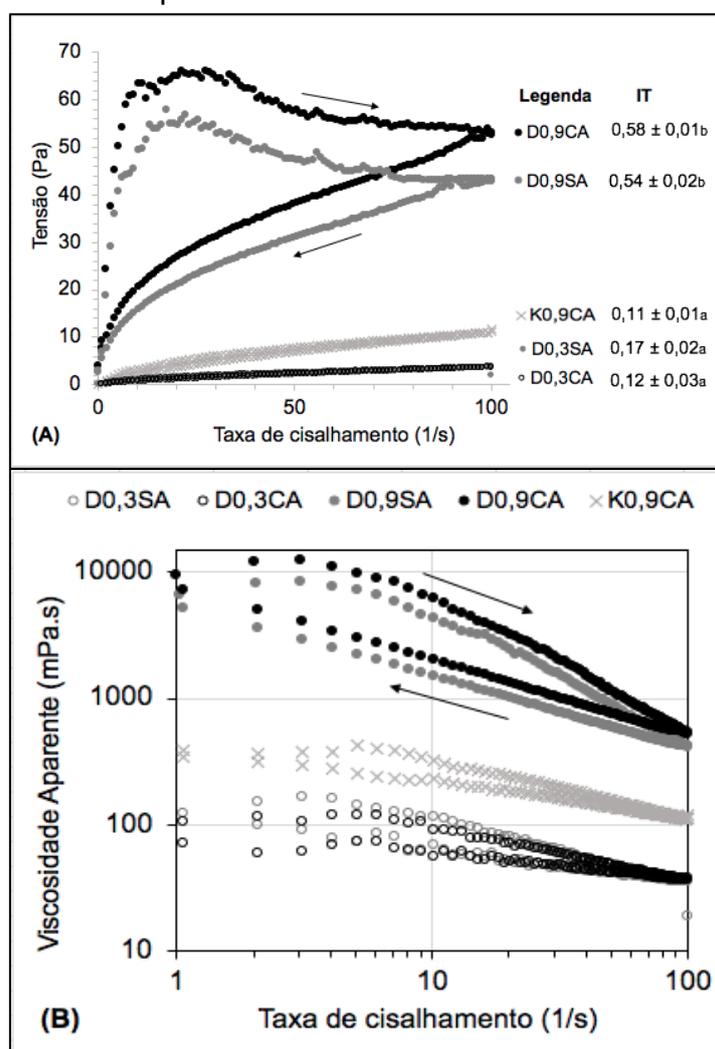
Fonte: Próprio autor, 2022.

Os produtos podem ser classificados como fluidos não-newtonianos, pois não possuem relação linear entre a tensão de cisalhamento aplicada e a taxa de deformação. Além disto, pode-se classificá-los como pseudoplásticos, pois todos possuem $n < 1$.

O índice de comportamento (n) indica o grau de pseudoplasticidade que um fluido possui. Valores muito menores do que um indicam que o fluido tem maior pseudoplasticidade que os outros (Steffe, 1996). Desta forma, as amostras com 0,9% de HEC da marca D são mais pseudoplásticas que um álcool produzido na mesma concentração polimérica com a marca K. Se comparado visualmente (Figura 18) o álcool em gel K0,9CA ao D0,9CA, observa-se que o primeiro apresentou um produto menos firme (maior fluidez) que o álcool D0,9CA. Pode-se ainda notar que o produto K0,9CA apresenta um comportamento de escoamento mais próximo ao HEC da marca D com 0,3% de concentração polimérica, com valores similares de índice de comportamento (Tabela 4). Para um mesmo polímero, o aumento da concentração polimérica aumenta o caráter pseudoplástico do produto (D'Angelo *et al.*, 2022).

A Figura 19 (A) apresenta os resultados quantitativos e qualitativos da presença ou não de tixotropia nos produtos por meio do teste de *looping*. As amostras com polímero D em alta concentração apresentaram uma histerese nos valores de tensão entre os dois primeiros ciclos de cisalhamento, o que define estes produtos como fluidos tixotrópicos. Qualitativamente, observou-se uma menor tixotropia para as amostras em menor concentração polimérica ou preparada com polímero da marca K.

Figura 19 - Curvas de escoamento de álcool gel produzido com diferentes processos e marcas de HEC.



A) Tensão em função da taxa de cisalhamento; B) Viscosidade Aparente em função da taxa de cisalhamento.

Fonte: Próprio autor, 2022.

Nas formulações D0,9 houve um grande aumento da tensão, seguido de um decréscimo, de forma que os dados não seguiram no primeiro ciclo de cisalhamento a lei da potência. Sugere-se que este aumento seja relacionado

com a ruptura de agregados de géis no escoamento ainda em estado transiente, visto que este comportamento foi observado apenas nas formulações mais estruturadas. O índice de tixotropia foi calculado, tendo as amostras com D0,9 com e sem aquecimento um valor três vezes maior e significativamente diferentes das demais amostras.

Ainda na Figura 19 (B), o comportamento de escoamento em estado estacionário tem importância no planejamento de uma planta de produção e durante o processo produtivo. Os álcoois gel formulados com polímero D e 0,9% de concentração apresentaram uma viscosidade aparente similar a produtos com carbômero em baixa taxa de deformação (Estevão *et al.*, 2021b). Ainda podem proporcionar uma redução de custos de processo pela redução da ordem de mais de 10 vezes no valor de viscosidade em taxas de deformação mais elevadas, equivalentes a processos de escoamento em tubos, bombeamentos e envase.

Nos ensaios de *TPA* (Tabela 5), apenas as amostras com 0,9% de HEC foram analisadas por apresentarem boa resolução de dados durante a análise. Observa-se D0,9CA possui maior dureza, seguido dos produtos K0,9CA e D0,9SA. Observa-se um alto desvio padrão para o parâmetro dureza possivelmente causado pelos produtos estarem no limite de detecção de força do equipamento.

Tabela 5 - Médias dos parâmetros de textura de álcool gel preparado com diferentes processos e marcas de HEC.

Amostra	Análise do Perfil de Textura (<i>TPA</i>)			
	Dureza (N)	Adesividade (mJ)	Filamento (mm)	Índice de Coesividade (-)
D0,9CA	2,00 ± 0,55 ^b	1,8 ± 0,3 ^b	0,19 ± 0,04 ^a	0,92 ± 0,08 ^a
D0,9SA	0,68 ± 0,06 ^a	0,5 ± 0,15 ^a	4,32 ± 0,76 ^b	0,80 ± 0,05 ^a
K0,9CA	1,28 ± 0,75 ^{a,b}	1,1 ± 0,38 ^a	0,13 ± 0,06 ^a	0,81 ± 0,10 ^a

*Valores médios com letras minúsculas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes ($p < 0,05$), pelo teste de Tukey.

Fonte: Próprio autor, 2022.

Com relação à adesividade, observa-se que o tratamento D0,9SA tem o menor valor, seguido do tratamento K0,9CA, sem diferença significativa. Estes tratamentos seriam interessantes para situações de uso frequente do produto, para evitar o incômodo sensorial de uma pele que fica “grudenta”/adesiva.

Outro parâmetro que se observa é o filamento, que é relacionado a formação de um fio quando o probe está retornando à posição inicial do ensaio. Na Figura 18, pode-se observar que os tratamentos com polímero D escoam formando aglomerados. Porém no tratamento com aquecimento esse comportamento é mais nítido. Nos ensaios de retorno com D0,9CA e K0,9CA, o fio é formado inicialmente, mas com pouca distância é quebrado (0,13 e 0,19 mm), ao contrário de D0,9SA (4,32 mm) que o fio formado é mais longo denotando maior elasticidade da amostra.

Todas as formulações de álcool testadas apresentaram um alto valor de índice de coesividade, não havendo diferença estatisticamente significativa entre nenhuma das amostras. Isto indica que estes produtos são materiais estruturados com certa dificuldade de serem desintegrados sob compressão (Chandra; Shamasundar, 2015).

No uso do álcool, primeiramente as pessoas realizam uma compressão do produto entre as mãos seguido de um movimento cisalhante. As amostras de HEC da marca D preparadas com e sem uso de calor apresentaram valores de índice de comportamento (Tabela 4) e de coesividade (Tabela 5) de similar magnitude.

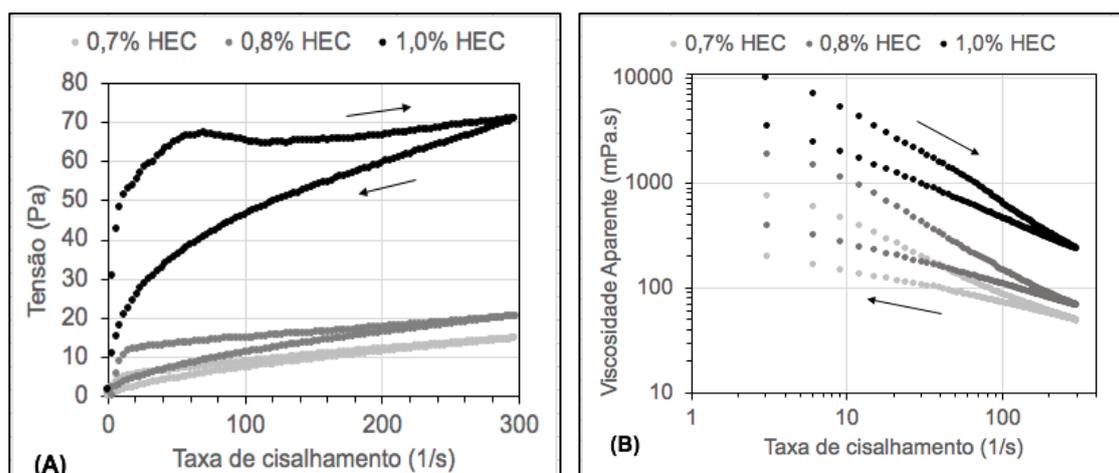
Por outro lado, os parâmetros de dureza e adesividade foram significativamente menores para a formulação sem aquecimento, o que favorece a espalhabilidade do produto entre as mãos e colabora para reduzir o aspecto “grudento” das formulações de álcool gel observadas no mercado durante a pandemia COVID-19.

Estudo das concentrações de álcool gel a base de HEC

A partir dos ensaios preliminares constatou-se que o HEC da marca D possibilita uma maior variedade de comportamento reológico em função da concentração permitida por legislação. Desta forma, descartou-se a marca K e avaliou-se a reologia de formulações do HEC D numa faixa de concentração de 0,5 a 1,0% no álcool gel. Nas bases de gel aquosas, observou-se que ao aumentar a quantidade de polímero, aumentou-se também a consistência destas bases. Com a adição do etanol, há uma perda na viscosidade, porém foi possível obter álcool espessado com todas as concentrações deste HEC.

Os ensaios realizados no estado estacionário podem ser observados nas curvas de escoamento com deformação controlada, presente na Figura 20. Pode-se observar que a tensão em resposta ao cisalhamento empregado é maior para a formulação que contém 1% de HEC.

Figura 20 - Curvas de escoamento de álcool gel produzido com base HEC.



A) Tensão em função da taxa de cisalhamento; B) Viscosidade Aparente em função da taxa de cisalhamento.

Fonte: Próprio autor, 2023.

Comparando com resultados obtidos por (D'Angelo *et al.*, 2022), observa-se que as amostras com concentrações a partir de 0,7% HEC têm comportamento e valores de viscosidade aparente semelhantes ao Carbopol® em concentração de 0,5% com 2% de glicerol. Este resultado se mostra interessante pois, com a ação espessante do HEC da marca D, é possível realizar a substituição do Carbopol® em novos casos de emergência que poderão surgir.

Na Tabela 6 constam os parâmetros do ajuste do modelo matemático da lei da Potência aos dados de tensão versus taxa de deformação no terceiro ciclo de cisalhamento. Todos os índices de ajuste de curva (R^2) são maiores que 0,9900, demonstrando que os ajustes para este modelo matemático estão adequados.

Tabela 6 - Parâmetros do modelo da lei da potência ajustados para os dados de escoamento em estado estacionário para álcool gel base HEC.

Formulação (% HEC)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	R ²
0,5	0,58	0,599	0,9987
0,6	0,65	0,587	0,9993
0,7	0,37	0,645	0,9995
0,8	0,81	0,565	0,9992
0,9	5,76	0,419	0,9974
1,0	6,66	0,412	0,9961

K (Pa.sⁿ) é o índice de consistência e n (-) é o índice de comportamento.

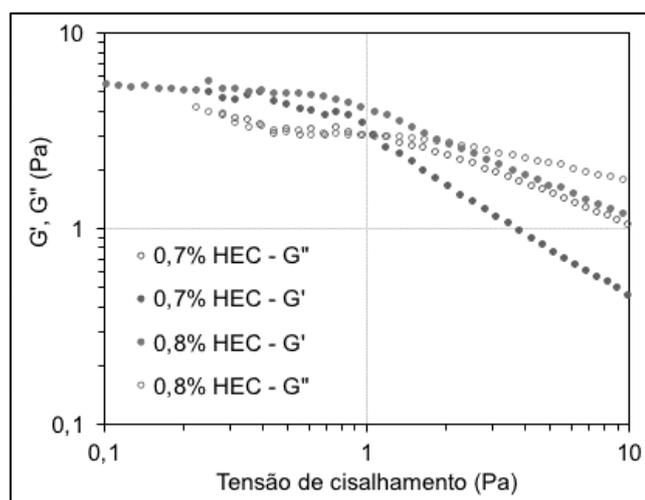
Fonte: Próprio autor, 2023.

Ainda de acordo com a Tabela 6, observa-se que o índice de consistência (k) aumenta com a concentração de HEC, exceto para a formulação com 0,7% HEC. O aumento da concentração de polímero nas formulações aumentou em cerca de seis vezes o valor do índice de consistência. Já o índice de comportamento (n) das amostras diminuiu de acordo com o aumento da concentração do polímero, de forma que o caráter pseudoplástico do material se intensificou, e mais uma vez observa-se a formulação com 0,7% HEC sendo uma exceção. Este maior caráter pseudoplástico de amostras com menor índice de escoamento pode ser explicado pela maior concentração de partículas de polímero nas amostras.

A Figura 21 apresenta os resultados do teste de varredura de tensão, para avaliação do limite da faixa de viscoelasticidade linear e início de escoamento (tensão inicial). As amostras com 0,7% e 0,8% são apresentadas para observar-se o efeito do aumento de concentração nos parâmetros. Inicialmente, todas as amostras apresentaram uma região de valores quase-constante dos módulos elástico e viscoso, seguido de um decréscimo destes valores com o aumento da tensão. Ellis et al. (2017), em estudos sobre géis, observaram que o aumento

da concentração de hidrocolóides causa um aumento no módulo de armazenamento (G') e o limite da faixa de viscoelasticidade linear, devido interações das partículas.

Figura 21 - Teste de varredura de tensão a frequência de 1 Hz para álcool gel produzido com HEC: efeito da concentração.



Fonte: Próprio autor, 2023.

A Tabela 7 apresenta os parâmetros reológicos a baixas deformações (oscilatório) e a altas deformações em estado transiente (curva de escoamento) para as formulações de álcool em gel produzido com HEC da marca D.

Tabela 7 - Parâmetros reológicos de amostras de álcool gel produzido com base de HEC.

Formulação (% HEC)	Parâmetros Reológicos				
	G' (Pa) no IVL a 1 Hz	Tensão Inicial (Pa) (em $G'=G''$)	Índice Tixotrópico (-)	Viscosidade Aparente (mPa.s) em 3 s^{-1}	Viscosidade Aparente (mPa.s) em 300 s^{-1}
0,5	$1,8 \pm 0,3^a$	$3,4 \pm 0,2^a$	$4,6 \pm 0,1^a$	$1201 \pm 49^{a,b}$	$60 \pm 0^{a,b}$
0,6	$4,1 \pm 0,9^{a,b}$	$3,4 \pm 0,7^a$	$6,4 \pm 0,2^a$	$1947 \pm 58^{b,c}$	$64 \pm 2^{b,c}$
0,7	$2,1 \pm 1,1^a$	$0,8 \pm 0,3^b$	$2,9 \pm 0,5^a$	793 ± 142^a	50 ± 1^a
0,8	$4,7 \pm 0,2^b$	$2,1 \pm 0,2^{a,b}$	$4,8 \pm 0,7^a$	2224 ± 426^c	74 ± 8^c
0,9	$19,8 \pm 0,9^c$	$21,4 \pm 1,5^c$	$7,3 \pm 0,3^a$	7163 ± 417^d	212 ± 1^d
1,0	$27,9 \pm 0,6^d$	$31,0 \pm 0,4^d$	$6,7 \pm 0,3^a$	10144 ± 110^e	234 ± 2^e

*Valores médios com letras minúsculas diferentes na mesma coluna são significativamente diferentes ($p < 0.05$), pelo teste de Tukey.

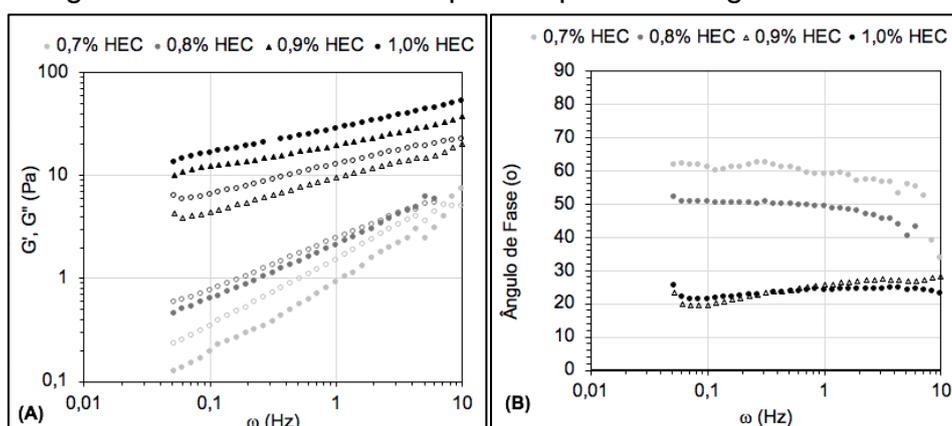
Fonte: Próprio autor, 2023.

Até 0,8% de polímero o valor de $G'(\omega)$, dentro do intervalo linear, foi menor do que 5 Pa, não havendo significativa variação de valores entre as amostras. Com o aumento da concentração para 0,9% e 1,0% houve incremento significativo nos valores de $G'(\omega)$ de aproximadamente 4 e 6 vezes, respectivamente. Resultado similar pode ser observado para tensão inicial de escoamento.

Os parâmetros de escoamento em estado transiente também seguiram a mesma tendência das amostras de 0,5 a 0,8% serem mais fluidas e formulações com 0,9% ou 1,0% apresentarem uma viscosidade significativamente maior, seja a baixa ou alta taxa de deformação. Com o aumento da taxa de deformação, a viscosidade aparente do produto caiu aproximadamente 30 vezes, com exceção da formulação 1,0% que apresentou uma queda de 40 vezes. Em alta taxa de deformação os valores de viscosidade sugerem que amostras até 0,8% são facilmente espalháveis, com viscosidade aparente similar à de óleos.

Na Figura 22 observa-se que as amostras com 1,0% e 0,9% de HEC possuem valores de $G'(\omega) > G''(\omega)$ durante toda a faixa de frequência. O fato de G' ser maior que G'' durante toda a varredura de frequência, demonstra o comportamento mais elástico do polímero. Este comportamento foi observado por Estevão *et al.* (2021) na formulação com a utilização de Carbopol®.

Figura 22 - Varredura de frequência para álcool gel base HEC.

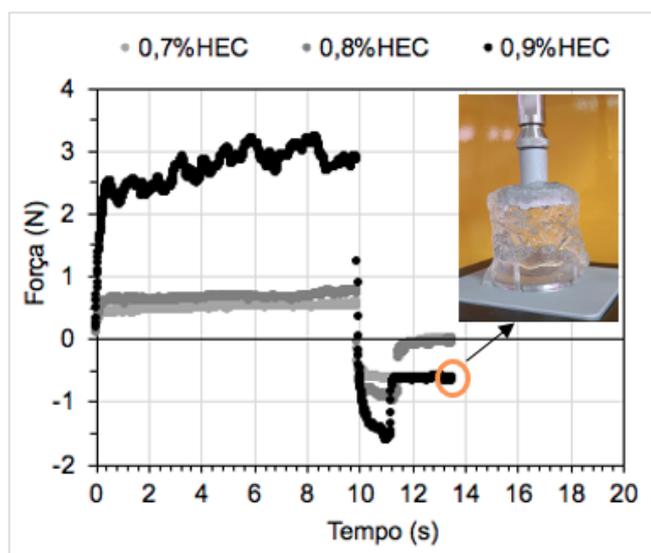


Símbolo aberto representa $G''(\omega)$ e símbolo fechado representa $G'(\omega)$.

Fonte: Próprio autor, 2023.

Para as amostras com 0,8% HEC, ao longo de todos os valores de frequência os valores de $G'(\omega)$ e $G''(\omega)$ foram similares, sendo possível observar o cruzamento dos módulos elástico e viscoso na frequência de 4 Hz. Enquanto que formulações abaixo de 0,7% apresentaram $G''(\omega)$ maior do que $G'(\omega)$ em toda faixa de frequência, denotando comportamento de solução concentrada. A análise do ângulo de fase [Figura 22 (B)] explicita que a formulação de 0,7% e menores apresentam um ângulo entre 45 e 90° típico do caráter viscoso do produto. Por outro lado, as formulações com 0,9 e 1,0% de HEC apresentaram ângulo de fase entre 20 e 30°, classificando como gel. As formulações menos concentradas em polímero (0,5; 0,6; 0,7%) apresentam um decaimento do ângulo de fase com o aumento da frequência, o que é devido ao maior caráter sólido/elástico do produto em altas frequências. Sendo que a formulação 0,8% apresenta-se como gel em frequências maiores que 4 Hz. Pode-se indicar que esta formulação marca uma transição entre os comportamentos do material em função da concentração polimérica.

Na Figura 23, são apresentados os resultados de textura de 3 formulações de álcool gel com HEC, variando-se a concentração de polímero, por meio do teste de *Dual Extrusion*. O perfil da resposta de força de penetração ao longo do tempo apresentou uma maior instabilidade (pequenos picos) para as amostras mais concentradas, o que pode ser associado a ruptura de pequenos agregados de gel. Também não foi possível caracterizar o grau de adesividade do material para estas formulações com concentração de 0,9% ou acima, devido à forte aderência da amostra a geometria no retorno do teste à origem, como observado visualmente pela imagem fotográfica na Figura 23. Isto causou em um peso extra a geometria, que fez com que os dados de força percebido pelo equipamento não retornasse ao nível zero.

Figura 23 - *Dual Extrusion* para álcool gel base HEC.

Fonte: Próprio autor, 2023.

Na Tabela 8, observa-se a avaliação quantitativa dos parâmetros obtidos nos ensaios de *Dual Extrusion*. Nota-se, mais uma vez, que o aumento da concentração de HEC aumenta os valores de consistência e firmeza. Destaca-se a formulação 1,0% de HEC sendo a que possui mais consistência, o que junto aos resultados das análises de curva de escoamento, corrobora com a ideia de que o aumento da concentração do polímero, o caráter pseudoplástico e viscoso do material se intensificaram.

Tabela 8 - Parâmetros analisados por *Dual Extrusion* para álcool gel base HEC.

Formulação (% HEC)	Parâmetros de <i>Dual Extrusion</i>		
	Consistência (mJ)	Firmeza (N)	Adesividade (mJ)
0,5	11,10 ± 0,64 ^a	0,67 ± 0,07 ^a	-517,6 ± 290,9 ^a
0,6	13,25 ± 0,50 ^a	0,77 ± 0,05 ^a	-239,2 ± 61,1 ^a
0,7	13,25 ± 0,50 ^a	0,52 ± 0,05 ^a	-103,9 ± 104,8 ^a
0,8	13,95 ± 0,88 ^a	0,80 ± 0,03 ^a	-334,2 ± 11,9 ^a
0,9	55,25 ± 2,33 ^b	3,34 ± 0,31 ^b	-
1,0	66,60 ± 5,03 ^c	4,31 ± 0,37 ^c	-

Fonte: Próprio autor, 2023.

O aumento de 0,5% de HEC no produto dá um incremento de aproximadamente seis vezes na consistência e firmeza do álcool gel. Este comportamento é explicado por Filipe *et al.* (2021), onde citam que em solução,

os polímeros formam uma rede através da expansão das suas estruturas gerando aumento na viscosidade do produto que é aplicado.

Segundo Jelvehgari; Rashidi; Mirza Mohammadi (2007), o aumento da concentração de polímeros aumentam parâmetros de dureza, devido ao aumento da viscosidade, e adesividade, devido grupos responsáveis por realizar ligações secundárias. Ghebremedhin *et al.* (2021) observaram em géis de agarose que a diminuição das concentrações do polímero causou um amolecimento nos géis, o que acaba influenciando na plasticidade e elasticidade das amostras. Este é o mesmo comportamento que se observa com géis de HEC, ou seja, o aumento das concentrações do polímero aumenta a consistência e a firmeza, e esse aumento é observado na força gerada durante a compressão das amostras.

Para avaliação da adesividade, na Figura 23, observa-se um comparativo entre as formulações com menor e maior concentração de HEC. Na região negativa do gráfico, observa-se que ao final do ensaio com a amostra de 0,9% de HEC se mantêm valores negativos de força. Isto se deu pois durante a realização dos ensaios, esta amostra, por ser a que possui uma maior consistência, acabou aderindo à geometria, de forma que o equipamento detectou como uma força negativa. Além disso, a amostra acabou sendo expulsa da célula. Desta maneira, por esta metodologia não há a possibilidade de avaliar parâmetro de adesividade para amostras de álcool gel com maior consistência.

Adesivos poliméricos combinam características de líquidos e sólidos para funcionar adequadamente, resistindo a uma tensão aplicada (Grillet; Wyatt; Gloe, 2012). Com o álcool gel deseja-se que se tenha essas duas características para que haja uma boa espalhabilidade (característica líquida) porém com uma certa adesividade para fazer com que o produto tenha um maior tempo de contato para a sanitização.

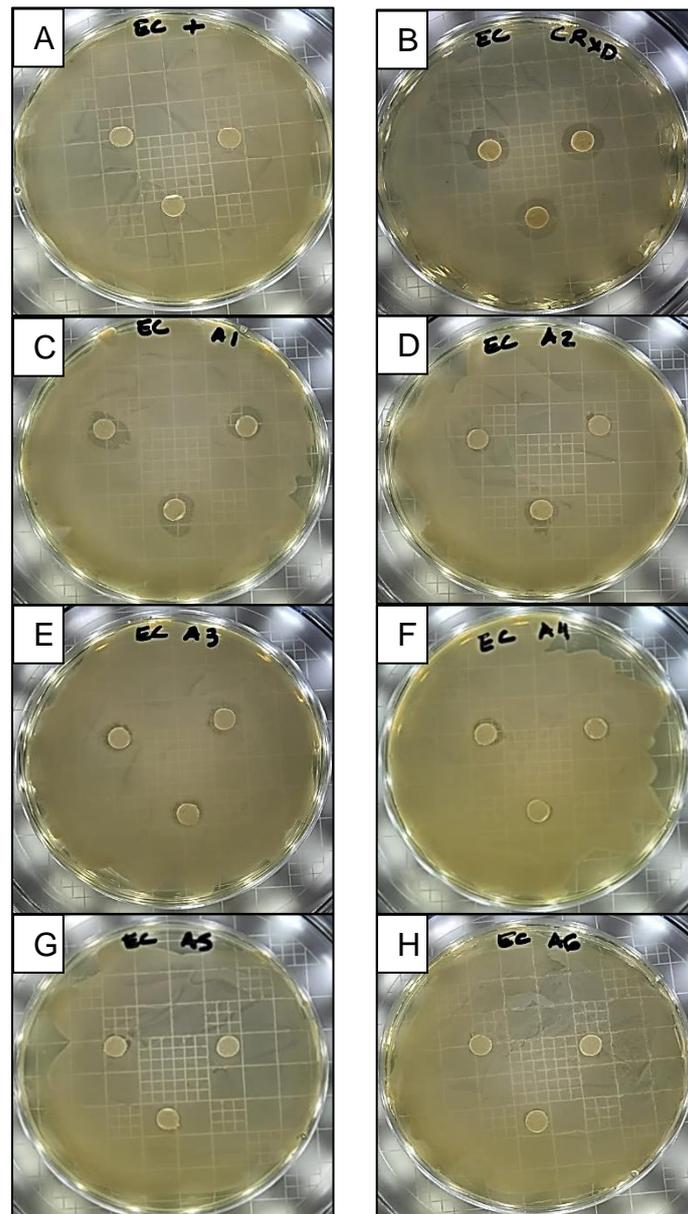
Fazendo uma conexão com os dados da varredura de frequência e dados de *Dual Extrusion* observa-se que as formulações 0,5; 0,6; e 0,7%HEC são soluções concentradas do polímero. A formulação 0,8%HEC é o ponto de gel, onde G' e G'' se sobrepõem, podendo ser considerada como a concentração de

transição de solução concentrada para gel. As formulações 0,9 e 1,0%HEC tem o caráter de gel propriamente dito. Por esta característica das formulações com maiores concentrações de HEC o álcool gel teve maior coesão e consistência, fazendo com que na proposta do ensaio de *Dual Extrusion* não fosse possível avaliar a adesividade. Como sugestão, recomenda-se a avaliação da adesividade através de *TPA*, já que nas etapas preliminares foi possível ter uma resposta do equipamento para formulações com maior consistência.

Análises microbiológicas

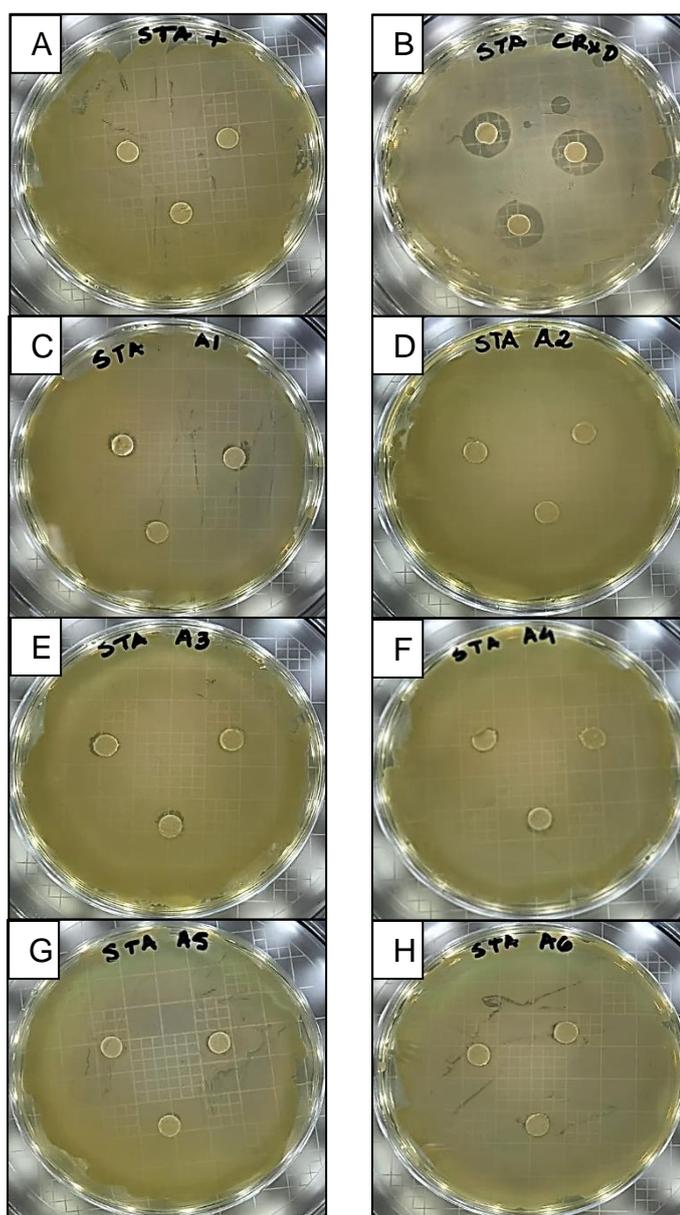
Na Figura 24, nas placas contendo *E. coli*, observa-se que os discos com controles positivo e negativo tiveram o comportamento esperado, com a não formação de halo e a nítida formação de halo, respectivamente. Para as amostras de álcool gel com HEC, observam-se a não formação de halos.

Na Figura 25, nas placas contendo *S. aureus*, observa-se que os discos com controles positivo e negativo também tiveram o comportamento esperado, com a não formação de halo e a formação de halo, respectivamente. Para as amostras de álcool gel com HEC, observam-se uma pequena formação de halos nas amostras com 0,5% HEC, porém para as demais formulações não foi detectada atividade inibitória.

Figura 24 - Placas com inóculo de *E. coli* e discos de difusão.

A) Controle positivo; B) Controle com solução de clorexidina 4,0%; C) Álcool gel base 0,5% HEC; D) Álcool gel base 0,6% HEC; E) Álcool gel base 0,7% HEC; F) Álcool gel base 0,8% HEC; G) Álcool gel base 0,9% HEC; H) Álcool gel base 1,0% HEC.

Fonte: Próprio autor, 2023.

Figura 25 - Placas com inóculo de *S. aureus* e discos de difusão.

A) Controle positivo; B) Controle com solução de clorexidina 4,0%; C) Álcool gel base 0,5% HEC; D) Álcool gel base 0,6% HEC; E) Álcool gel base 0,7% HEC; F) Álcool gel base 0,8% HEC; G) Álcool gel base 0,9% HEC; H) Álcool gel base 1,0% HEC.

Fonte: Próprio autor, 2023.

Em seu estudo, De Andrade *et al.* (2007), observaram atividade antibacteriana em amostras de álcool gel de um hospital de Ribeirão Preto, em São Paulo (Brasil). Os autores chegaram à conclusão de que a técnica de gotejamento frente às bactérias *S. aureus* e *E. coli*, entre outras, é adequada, enquanto nenhum efeito foi observado pela técnica do poço.

Igualmente, Toigo *et al.* (2020), observaram formação de halos inibitórios para formulações de álcool gel de uma indústria de cosméticos do Paraná

utilizando diferentes técnicas. Ainda segundo este estudo os melhores resultados foram obtidos pela técnica do gotejamento.

Kawagoe (2004) obteve resultados de inibição microbiológica satisfatórios com álcool gel, por metodologia adaptada da *European Standard* EN 1500, comparando sua ação com PVPI e clorexidina.

Algumas questões podem ser levantadas e levadas em consideração para justificar os resultados obtidos para as formulações de álcool gel com HEC do presente estudo. A resistência da *S. aureus* à ação do álcool etílico pode ser devido ao fato de ser uma bactéria Gram-positiva e sua parede celular ser mais espessa, dificultando a ação da substância (Bernardi; Costa, 2017). Outra questão levantada por De Andrade *et al.* (2007) relaciona a viscosidade com a difusão do álcool em forma de gel, que em algumas técnicas não consegue se difundir no meio de cultura e agir sobre as bactérias. Ainda segundo o autor, essa consistência de gel tem a vantagem de aumentar o tempo de contato do álcool para agir sobre os microrganismos.

Observa-se que as formulações com maior concentração de HEC, podem não ter tido resultado na inibição microbiológica por causa da dificuldade em se difundir para o meio contaminado, e talvez, técnicas que utilizem cisalhamento do produto nas mãos e em superfícies sejam as mais recomendadas.

Apesar de inúmeros estudos mostrarem eficácia do álcool gel sobre diversos microrganismos, é necessária uma melhor investigação com relação à técnica que mais se adeque a este tipo de produto.

De acordo com RDC nº 350, de 19 de março de 2020, da ANVISA, para registro de produtos, o teor alcóolico é o que vale para controle antisséptico, quando comprovado que possui de 68-72% de etanol.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos neste estudo, constatou-se que o CMC não é um polímero adequado para a formulação de álcool em gel a 77 °GL devido a sua baixa solubilidade em álcool. Foi possível produzir álcool em gel com o biopolímero HEC, de dois fornecedores distintos, com graduações maiores que 77 °GL, utilizando-se um processo com equipamentos caseiros. O biopolímero HEC comercializado no estado da Paraíba (marca D) proporcionou maior flexibilidade para a formulação do produto em gel, por ser possível o processo em temperatura ambiente e por resultar em uma amplitude maior de textura do produto final. É possível obter-se produtos com caráter de solução concentrada ou de gel, sendo ambos os tipos com redução da viscosidade aparente de ao menos 30 vezes em alta taxa de deformação, simulando o espalhamento do produto.

Dentre os dois métodos de textura avaliados para caracterização de produtos de álcool gel, recomenda-se que o teste de TPA seja usado para produtos mais consistentes com caráter de gel, como as formulações acima de 0,9% de HEC da marca D. Enquanto o teste de *dual extrusion* é mais adequado para formulações com caráter mais viscoso, ou seja definidas como fluido concentrado. Ambas as análises permitiram a avaliação do comportamento de textura sob compressão resultando em parâmetros sensoriais como consistência, firmeza, adesividade e formação de filamento.

Conclui-se que não há necessidade de aplicação de calor no processo de produção da base polimérica aquosa, de forma a obter uma produção mais econômica. Se o objetivo é entregar ao consumidor um produto seguro contra acidentes e com garantia ambiental microbiana, o uso das formulações com concentrações 0,5; 0,6; e 0,7% de HEC seriam as mais indicadas para a produção, por utilizarem menores quantidades de polímero.

Apesar da menor consistência, ainda se tem um produto em gel quando espalhado entre as mãos, o que auxilia na mitigação de riscos de acidentes. Além disto, observa-se uma menor adesividade, o que é positivo tendo em vista que este caráter tem afastado consumidores do álcool gel que vem migrando para o consumo de álcool líquido 70%. Sugere-se que a análise de textura de

amostras com comportamento tipo gel (oscilatório) seja realizada pelo método de *TPA*. Enquanto amostras mais fluidas devem ser analisadas pelo método de *Dual Extrusion*.

REFERÊNCIAS

AMETEK BROOKFIELD. <https://www.brookfieldengineering.in/>. Disponível em: <https://www.brookfieldengineering.in/brookfield-university/learning-center/application-notes/texture-applications/personal-care-products/shampoo>. Acesso em 19 set 2022.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da diretoria colegiada- RDC Nº 350, de 19 de março de 2020. Disponível em:

http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Portaria/RES/Resolucao%20n%C2%BA%20350-ANVISA.htm. Acesso em: 22 de março 2021.

ANVISA. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução da diretoria colegiada- RDC Nº 422, de 16 de setembro de 2020. Disponível em:

<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/resolucao-de-diretoria-colegiada-rdc-n-422-de-16-de-setembro-de-2020-277906952>. Acesso em: 22 de março 2021.

BATISTA, L.; ANTONIOSI FILHO, N. Ethanol Content Determination in Medicine Syrups Using Headspace and Multidimensional Heart-Cut Gas Chromatography Coupled to Mass Spectrometry. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2020.

BERNARDI, G. A.; COSTA, T. C. M. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DO ÁLCOOL 70% EM SUPERFÍCIES CONTAMINADAS. AVALIAÇÃO DA ATIVIDADE ANTIMICROBIANA DO ÁLCOOL 70% EM SUPERFÍCIES CONTAMINADAS, v. 6, 2017.

BOOQ, R. Y. et al. Formulation and Evaluation of Alcohol-Free Hand Sanitizer Gels to Prevent the Spread of Infections during Pandemics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 18, n. 12, p. 6252, 9 jun. 2021.

CHANDRA, M. V.; SHAMASUNDAR, B. A. Texture Profile Analysis and Functional Properties of Gelatin from the Skin of Three Species of Fresh Water Fish. *International Journal of Food Properties*, v. 18, n. 3, p. 572–584, 4 mar. 2015.

COLLINS, M. N. et al. Valorization of lignin in polymer and composite systems for advanced engineering applications – A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 131, p. 828–849, 15 jun. 2019.

D'ANGELO, I. et al. Alcohol-Based Hand Sanitizers: Does Gelling Agent Really Matter? *Gels*, v. 8, n. 2, p. 87, 29 jan. 2022.

DE ANDRADE, D. et al. ATIVIDADE ANTIMICROBIANA IN VITRO DO ÁLCOOL GEL A 70% FRENTE ÀS BACTÉRIAS HOSPITALARES E DA COMUNIDADE*
In vitro ANTIMICROBIAL ACTIVITY OF GEL ALCOHOL 70% AGAINST HOSPITAL AND COMMUNITY BACTERIA. [s.l: s.n.].

DIAZ, A. B.; BLANDINO, A.; CARO, I. Value added products from fermentation of sugars derived from agro-food residues. *Trends in Food Science and Technology*, v. 71, p. 52–64, 1 jan. 2018.

ELLIS, A. L. et al. Stabilisation of foams by agar gel particles. *Food Hydrocolloids*, v. 73, p. 222–228, dez. 2017.

ESTEVIÃO, P. et al. Alcoholmeter as a Simple and Accessible Way for Ethanol Determination in Alcohol-Based Hand Sanitizers. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2021a.

ESTEVIÃO, P. et al. Alcoholmeter as a Simple and Accessible Way for Ethanol Determination in Alcohol-Based Hand Sanitizers. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 2021b.

FILIFE, H. A. L. et al. Antiviral and antibacterial activity of hand sanitizer and surface disinfectant formulations. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 609, 20 nov. 2021.

GHEBREMEDHIN, M.; SEIFFERT, S.; VILGIS, T. A. Physics of agarose fluid gels: Rheological properties and microstructure. *Current Research in Food Science*, v. 4, p. 436–448, 2021.

GRILLET, A. M.; WYATT, N. B.; GLOE, L. M. *Polymer Gel Rheology and Adhesion*. USA: [s.n.]. v. 03

GRILLET, A. M.; WYATT, N. B.; GLOE, L. M. *Polymer Gel Rheology and Adhesion*. [s.d.].

JELVEHGARI, M.; RASHIDI, M. R.; MIRZA MOHAMMADI, S. Adhesive and spreading properties of pharmaceutical gel composed of cellulose polymer. *Adhesive and spreading properties of pharmaceutical gel composed of cellulose polymer*, p. 45–58, 2007.

JING, J. L. J. et al. Hand sanitizers: A review on formulation aspects, adverse effects, and regulations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 9, 1 maio 2020.

KAWAGOE, J. Y. Higiene das mãos: comparação da eficácia antimicrobiana do álcool - formulação gel e líquida - nas mãos com matéria orgânica. *Doutorado em Enfermagem na Saúde do Adulto—São Paulo: Universidade de São Paulo*, 26 jul. 2004a.

KAWAGOE, J. Y. Higiene das mãos: comparação da eficácia antimicrobiana do álcool - formulação gel e líquida - nas mãos com matéria orgânica. *Doutorado em Enfermagem na Saúde do Adulto—São Paulo: Universidade de São Paulo*, 26 jul. 2004b.

MACARIO, L. et al. Determinação do teor alcoólico e da eficácia antimicrobiana de diferentes marcas de álcool 70% INPM. *Conjecturas*, v. 21, n. 5, p. 23–35, 27 out. 2021.

MAGALHÃES, W. L. E.; DEGENHARDT, J. avaliação em *Escherichia coli*. p. 9, [s.d.].

MARZO, C. et al. Valorization of agro-industrial wastes to produce hydrolytic enzymes by fungal solid-state fermentation. *Waste Management and Research*, v. 37, n. 2, p. 149–156, 1 fev. 2019.

MEYERS, C. et al. Ethanol and isopropanol inactivation of human coronavirus on hard surfaces. *Journal of Hospital Infection*, v. 107, p. 45–49, jan. 2021.

NOREEN, A. et al. Hydroxyethylcellulose-g-poly(lactic acid) blended polyurethanes: Preparation, characterization and biological studies. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 151, p. 993–1003, 15 maio 2020.

PERINELLI, D. R. et al. Rheological properties of cellulosic thickeners in hydro-alcoholic media: The science behind the formulation of hand sanitizer gels. *International Journal of Pharmaceutics*, v. 604, p. 120769, jul. 2021.

PRAJAPATI, P.; DESAI, H.; CHANDARANA, C. Hand sanitizers as a preventive measure in COVID-19 pandemic, its characteristics, and harmful effects: a review. *Journal of the Egyptian Public Health Association*, v. 97, n. 1, p. 6, dez. 2022.

PRAKASH, H. et al. Development of eco-friendly process for the production of bioethanol from banana peel using inhouse developed cocktail of thermo-alkali-stable depolymerizing enzymes. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, v. 41, n. 7, p. 1003–1016, 1 jul. 2018.

RAI, P. et al. Recent advances in the sustainable design and applications of biodegradable polymers. *Bioresource Technology*, v. 325, p. 124739, abr. 2021a.

RAI, P. et al. Recent advances in the sustainable design and applications of biodegradable polymers. *Bioresource Technology*, v. 325, 1 abr. 2021b.

RAMACHANDRAN, S.; CHEN, S.; ETZLER, F. Rheological Characterization of Hydroxypropylcellulose Gels Drug Development and Industrial Pharmacy. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <www.dekker.com>.

RAMACHANDRAN, S.; CHEN, S.; ETZLER, F. Rheological Characterization of Hydroxypropylcellulose Gels. *Drug Development and Industrial Pharmacy*, v. 25, n. 2, p. 153–161, jan. 1999b.

ROCHON-EDOUARD, S. et al. Comparative in vitro and in vivo study of nine alcohol-based handrubs. *American Journal of Infection Control*, v. 32, n. 4, p. 200–204, jun. 2004.

ROSENTHAL, A. J. TEXTURE PROFILE ANALYSIS - HOW IMPORTANT ARE THE PARAMETERS?: PARAMETERS IN TEXTURE PROFILE ANALYSIS. *Journal of Texture Studies*, v. 41, n. 5, p. 672–684, 20 jul. 2010.

SCHUMACHER, A. B. et al. ESTUDO DA TIXOTROPIA EM CHOCOLATES. 2009.

SERAFIM, B. M. MICROESTRUTURAS POROSAS DE POLI (METIL METACRILATO) DEPOSITADAS/FUNCIONALIZADAS POR ELETROFIAÇÃO. 2016.

SPOTTI, M. J. et al. Whey protein gelation induced by enzymatic hydrolysis and heat treatment: Comparison of creep and recovery behavior. *Food Hydrocolloids*, v. 63, p. 696–704, fev. 2017.

STEFFE, J. F. *FOOD PROCESS ENGINEERING*. p. 428, [s.d.].

SWARI, D. A. M. A.; UDAYANA A, N. P.; SHANTINI S, N. M. D. STABILITY COMPARISON OF TULASI (*Ocimum tenuiflorum* L.) LEAF GEL HAND SANITIZER USING 0.5% AND 1% CMC-Na. *Journal of Pharmaceutical Science and Application*, v. 2, n. 1, p. 23, 18 jun. 2020.

TOIGO, L. et al. Atividade Antimicrobiana do Álcool em Gel. *Brazilian Journal of Development*, v. 6, n. 7, p. 49558–49571, 2020.

TRAN, N. H.; GIN, K. Y. H.; NGO, H. H. Fecal pollution source tracking toolbox for identification, evaluation and characterization of fecal contamination in receiving urban surface waters and groundwater. *Science of the Total Environment*, v. 538, p. 38–57, 5 dez. 2015.

VLAIA, L. et al. Cellulose-Derivatives-Based Hydrogels as Vehicles for Dermal and Transdermal Drug Delivery. Em: *Emerging Concepts in Analysis and Applications of Hydrogels*. [s.l.] InTech, 2016.