



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciências e Engenharia – Câmpus de Itapeva

FRANCIELE APARECIDA ARRUDA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPAPEL
PARA APLICAÇÃO EM MÁSCARAS DE PROTEÇÃO CONTRA
PARTÍCULAS VIRAIS**

Itapeva - SP
2024

FRANCIELE APARECIDA ARRUDA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPAPEL
PARA APLICAÇÃO EM MÁSCARAS DE PROTEÇÃO CONTRA
PARTÍCULAS VIRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Industrial -
Madeira pela Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho", Câmpus de Itapeva.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Danielle Goveia

Itapeva - SP
2024

FICHA CATALOGRÁFICA

S586d Silva, Franciele Aparecida Arruda da
Desenvolvimento e caracterização de nanopapel para aplicação em máscaras de proteção contra partículas virais / Franciele Aparecida Arruda da Silva. -- Itapeva, 2024
44 f. : il., tabs.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Industrial - Madeira) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva
Orientadora: Danielle Goveia

1. Celulose. 2. Nanotecnologia. 3. Sustentabilidade. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Instituto de Ciências e Engenharia - Câmpus de Itapeva

FRANCIELE APARECIDA ARRUDA DA SILVA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE NANOPAPEL PARA
APLICAÇÃO EM MÁSCARAS DE PROTEÇÃO CONTRA
PARTÍCULAS VIRAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Bacharela em
Engenharia Industrial - Madeira, da Universidade Estadual Paulista - UNESP -
Campus de Itapeva.

BANCA EXAMINADORA

Orientadora: Prof.^a Associada Danielle Goveia
Universidade Estadual Paulista - UNESP - Campus de Itapeva.

2º Examinador 
Prof.^a Dr.^a Gláucia Aparecida Prates


3º Examinador
Prof.^a Dr.^a Marília da Silva Bertolini

Itapeva, 07/06/2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo dom da vida e saúde, além de permitir vivenciar essa experiência incrível.

Aos meus familiares, em especial meus pais Benedito e Rosinei, bem como meus irmãos Felip e Bruna por todo apoio, amor e carinho.

Ao meu namorado, Tiago Olegario, por me apoiar, motivar, incentivar e estar sempre ao meu lado, impulsionando para ser cada dia melhor.

Quero expressar minha gratidão aos meus amigos, em especial Emanuelle Antunes e Diego Veiga, que sempre estiveram comigo e me encorajaram a perseguir meus objetivos e me ajudaram a manter a motivação em momentos difíceis.

À minha orientadora, Prof^a. Dr^a. Danielle por ser uma profissional ímpar, não medindo esforços para me auxiliar em todos os momentos, desempenhando tal função com dedicação e amizade.

Ao Anderson, técnico do laboratório por todos ensinamentos e disponibilidade.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto de Oliveira Matos por não medir esforços em me auxiliar nessa jornada bem como pelo auxílio na realização dos testes estatísticos.

Agradeço a UNESP de Itapeva por proporcionar infinitos momentos de alegria, tristeza, dificuldades, aprendizado e muita superação, proporcionando um ensino de altíssima qualidade impactando no meu desenvolvimento pessoal e profissional.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Instituto de Ciências e Engenharia – Câmpus de Itapeva

“Os sonhos não determinam o lugar onde iremos chegar, mas produzem a
força necessária para tirar-nos do lugar em que estamos.”

Augusto Curi

RESUMO

A nanotecnologia desempenha papel de extrema importância referente a estudos e manipulação de matéria em escala atômica e molecular, bem como o desenvolvimento de novos materiais e estruturas estáveis, aplicados em diversas áreas, especialmente na engenharia. Também é a base para o emprego de tecnologias como o nanopapel, produzido através da polpa celulósica, que pode ser encontrada facilmente na natureza, além de ser um polímero biodegradável e sustentável, sendo eficaz na produção de filmes devido à alta resistência mecânica e propriedades de bloqueio e retenção de partículas virais. A principal forma de contaminação viral ocorre através de gotículas infectadas que são dispersas no ar por meio de espirros. Estudos demonstram quão benéfico é a utilização das máscaras como equipamento de proteção individual, que, além de proteger evitam a transmissão do vírus para outras pessoas, com isso, demonstra-se de grande importância a fabricação e combinação de materiais que auxiliem nesse processo. O objetivo deste trabalho foi o desenvolvimento e a caracterização de nanopapéis produzidos a partir de polpas celulósicas. A celulose foi obtida através de um processo químico, cujo rendimento varia entre 50% a 65%, posteriormente utilizou-se a polpa Kraft pré-hidrolizada de Eucalipto, para extração dos cristais de nanocelulose. Os resultados evidenciaram que há uma diferença significativa entre os tratamentos e para a lisura conforme se aumentou a quantidade de nanocelulose e diminuiu-se a proporção de celulose ocorre um aumento da lisura superficial do papel, sendo mais lisa a superfície. Observou-se que na resistência a compressão há uma tendência de redução no índice aumentando a quantidade de nanocelulose e diminuindo a quantidade de polpa. A variância não é homogênea no índice de tração e os resultados não foram significativos para a variação da proporção de celulose e nanocelulose. O rasgo não é influenciado pela quantidade de celulose e nanocelulose dos ensaios, permanecendo estatisticamente igual para os tratamentos. Conforme a realização da caracterização do nanopapel e das análises estatísticas pode-se constatar que a variação da quantidade de polpa celulósica e de nanocelulose na confecção de uma folha de nanopapel foi significativa para análise de lisura.

Palavras-chave: Celulose. Nanotecnologia. Sustentabilidade.

ABSTRACT

Nanotechnology plays an extremely important role in the study and manipulation of matter on an atomic and molecular scale, as well as the development of new materials and stable structures, applied in various areas, especially in engineering. It is also the basis for the use of technologies such as nanopaper, produced from cellulose pulp, which can be easily found in nature, in addition to being a biodegradable and sustainable polymer, being effective in the production of films due to its high mechanical resistance and bonding properties. blocking and retention of viral particles. The main form of viral contamination occurs through infected droplets that are dispersed into the air through sneezing. Studies demonstrate how beneficial it is to use masks as personal protective equipment, which, in addition to protecting, prevents the transmission of the virus to other people. Therefore, the manufacture and combination of materials that assist in this process are of great importance. The objective of this work was the development and characterization of nanopapers produced from cellulosic pulps. The cellulose was obtained through a chemical process, whose yield varies between 50% and 65%, subsequently using pre-hydrolyzed Eucalyptus Kraft pulp to extract the nanocellulose crystals. The results showed that there is a significant difference between the treatments and in terms of smoothness, as the amount of nanocellulose increases and the proportion of cellulose decreases, there is an increase in the surface smoothness of the paper, making the surface smoother. It was observed that in the compressive strength there is a tendency to reduce the index by increasing the amount of nanocellulose and decreasing the amount of pulp. The variance is not homogeneous in the traction index and the results were not significant for the variation in the proportion of cellulose and nanocellulose. The tear is not influenced by the amount of cellulose and nanocellulose in the tests, remaining statistically the same for the treatments. As the nanopaper characterization and statistical analyzes were carried out, it can be seen that the variation in the amount of cellulosic pulp and nanocellulose in the production of a nanopaper sheet was significant for smoothness analysis.

Keywords: Cellulose. Nanomaterial. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Cadeia de Celulose.....	18
Figura 2 – Célula infectada x célula vizinha.	23
Figura 3 – Amostra após a desfibrilação.	26
Figura 4 – Pesagem da amostra de celulose e solução de nanocelulose 3%.....	27
Figura 5 – Desagregador de laboratório e polpa desagregada.	28
Figura 6 – Mistura no homogeneizador.....	28
Figura 7 – Máquina formadora de papel.	29
Figura 8 – Folha formada e prensagem das folhas.	29
Figura 9 – Acondicionamento das amostras.	30
Figura 10 – Equipamento utilizado para teste de Resistência à Compressão.	31
Figura 11 – Equipamento utilizado para teste de Resistência à Tração.....	31
Figura 12 – Equipamento utilizado para teste de Resistência ao rasgo.	32
Figura 13 – Equipamento utilizado para teste de Lisura.	33
Figura 14 – Teste de comparação múltipla das médias dos tratamentos para a variável lisura.....	35
Figura 15 – Teste de comparação múltipla das médias dos tratamentos para a variável compressão.....	36
Figura 16 – Teste de comparação múltipla das médias dos tratamentos para a variável tração.	37
Figura 17 – Teste de comparação múltipla das médias dos tratamentos para a variável rasgo	38



LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sintomas clínicos da via respiratória.	23
Tabela 2 – Produção do nanopapel.	27
Tabela 3 – Procedimentos para análise das folhas.....	30
Tabela 4 – Resultado médio dos ensaios para cada tratamento.....	34
Tabela 5 – Teste de normalidade dos dados.	34



LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
BNC	Nanocelulose Bacteriana
CNC	Nanocristais de celulose
ECF	Livre de cloro elementar (Elemental Chlorine Free)
I.C	Índice de compressão
I.R	Índice de rasgo
I.T	Índice de tração
NFC	Nanofibras de celulose
OMS	Organização Mundial da Saúde
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry (Associação Técnica da Indústria de Celulose e Papel)

Sumário

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Definições e aplicações da celulose	17
3.1.1 Estrutura química da celulose	17
3.2 Nanocelulose: Obtenção, propriedades e aplicações.....	19
3.3 Nanopapel	20
3.4 Doenças transmissíveis – partículas virais	21
3.5 Máscaras faciais.....	25
4. METODOLOGIA	26
4.1 Obtenção da celulose	26
4.2 Obtenção da nanocelulose	26
4.3 Obtenção do nanopapel.....	26
4.4 Ensaios físicos-mecânicos	30
4.4.1 Resistência à compressão	30
4.4.2 Resistência à tração	31
4.4.3 Resistência ao rasgo	32
4.4.4 Lisura	32
4.4.5 Tratamento estatístico dos dados	33
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 Propriedades do nanopapel.....	34
5.1.1 Lisura.....	35
5.1.2 Resistência à compressão.....	36
5.1.3 Resistência à tração	37
5.1.4 Resistência ao rasgo	38
6. CONCLUSÃO	40
REFERÊNCIAS	41

INTRODUÇÃO

Desde 1950, o setor de papel e celulose vem se destacando e passando por grande desenvolvimento, onde, naquela época, a indústria era responsável por cerca de 28% do consumo nacional. Passando por desenvolvimentos que envolvem tanto a madeira como matéria-prima base até os equipamentos e processos de obtenção de papel. Inclusive, no ano de 2003 o Brasil garantiu o 6º lugar como maior produtor de celulose do mundo e atualmente ocupa o 4º lugar no ranking geral (Bracelpa, 2009).

Com o grande destaque da celulose por ser um polímero natural abundante, surgem novas pesquisas com demandas por materiais sustentáveis e biodegradáveis em escalas nanométricas, oriundos de fontes renováveis contribuindo para fabricação de novos produtos com características superiores e que auxiliem na manutenção do meio ambiente com infinitas possibilidades de aplicação, tanto em filmes flexíveis (nanofilmes) voltados para impressão de circuitos eletrônicos, células solares, mostradores (displays), indústria de fármacos, medicina, entre outros (Mesquita, 2012).

Embora existam avanços no setor, surgem novas demandas de mercado, como o desenvolvimento de alternativas capazes de suprir tais necessidades, em especial de caracterização e fabricação de novos elementos filtrantes, para aplicação em equipamentos de proteção individual com caráter não tóxico, altamente sustentável e com um menor custo.

Desta forma, é desejável a produção de um nanopapel, material descartável, biodegradável e altamente eficaz na retenção e neutralização de partículas virais onde a matéria-prima utilizada tem em abundância na natureza, atua como uma barreira de proteção, garantindo assim que, quem está utilizando a máscara com esse tipo de tecnologia não seja contaminada e não contamine outras pessoas.

OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Desenvolver um novo material composto por celulose e nanocelulose, denominado, nanopapel, visando a aplicação em máscaras descartáveis.

2.2 Objetivos específicos

1. Preparar o nanopapel;
2. Preparação da folha de papel;
3. Realizar análises físicas e mecânicas no nanopapel;
4. Comparar com resultados obtidos na literatura / norma ABNT.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Definições e aplicações da celulose

Nos últimos anos observou-se uma crescente demanda por materiais oriundos de fontes renováveis, sendo biodegradáveis e sustentáveis, contribuindo para a manutenção do meio ambiente.

A celulose é um polímero natural que pode ser encontrada abundantemente no planeta, proveniente de fontes renováveis, especialmente de plantas. Também pode ser obtida em alguns animais marinhos e sintetizada por fungos e bactérias, com custo acessível quando comparado a outros materiais (Portella, 2018).

De acordo com Chin, Ting e Omar (2018), a estimativa de produção anual é superior a 100 bilhões de toneladas.

Conforme Klemm *et al.* (2005), A celulose nas plantas geralmente está associada à lignina e à hemicelulose. Após o processo de separação e purificação, a celulose apresenta uma estrutura supramolecular complexa, que combina regiões cristalinas e amorfas. É possível obter duas classes diferentes de celulose com dimensões nanométricas: as nanofibras de celulose (NFC) e os nanocristais de celulose (CNC). As NFC têm mais de 1µm de comprimento e diâmetro entre 5 e 20 nm, sendo organizadas em feixes paralelos. Já os CNC são semelhantes a minúsculos bastonetes cristalinos, com comprimento entre 100 e 400nm e diâmetro menor que 10nm.

A celulose está presente no cotidiano das pessoas e é utilizada como matéria-prima base para a produção de inúmeros tipos de papel, estabilizantes de alimentos industrializados, enchimento de comprimidos, entre outros. Na indústria, as aplicações mais comuns da celulose incluem a produção de bioetanol e biodiesel, que movimentaram mundialmente em 2017 cerca de US\$ 160 bilhões e US\$ 38 bilhões, respectivamente (Usp, 2018).

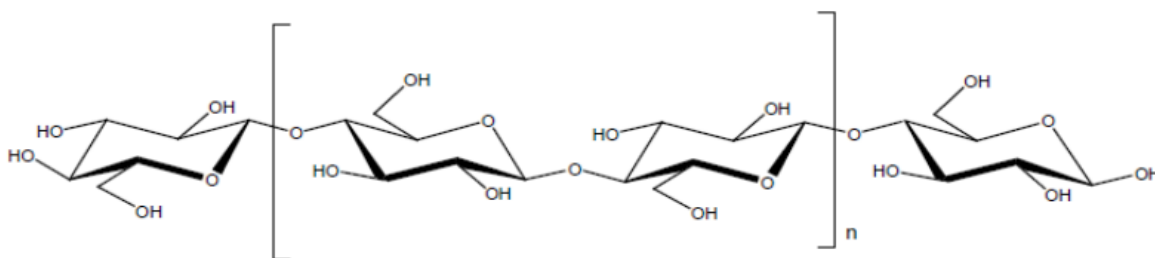
3.1.1 Estrutura química da celulose

Conforme Dufresne (2013), a celulose é uma macromolécula que compõe de 40 a 50% das plantas, sendo responsável por conferir importantes propriedades

mecânicas às células vegetais. Comumente encontrada na natureza, a celulose proporciona alta resistência mecânica, baixa densidade e boa flexibilidade.

De acordo com Klock (1998), a celulose é caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular, composto por β -D-glucose. É o principal componente da parede celular, especialmente presente na parede secundária das células vegetais. A figura a seguir representa a cadeia de celulose.

Figura 1 – Cadeia de Celulose.



Fonte: JARDIM (2012)

Para separar as frações de materiais lignocelulósicos, é necessário romper a estrutura da parede celular da biomassa vegetal. Isso pode ser feito por meio de processos mecânicos, físicos, biotecnológicos ou químicos, dependendo do material utilizado e do propósito final. De modo geral, na indústria de celulose e papel, são aplicados processos químicos que utilizam agentes específicos para cozinhar o material lignocelulósico sob pressão (Klock, 1988).

No processamento da madeira, cerca de 81% é realizado pelo método de polpação Kraft, que utiliza substâncias químicas como hidróxido de sódio e sulfeto de sódio. Essas substâncias são adicionadas ao processo para auxiliar na quebra da lignina e separação das fibras de celulose (Georg, 2010).

O processo Kraft apresenta várias vantagens, incluindo ciclos de cozimento mais curtos, recuperação economicamente viável dos reagentes, e produção de pastas de alto rendimento em comparação com outros métodos. Essas características tornam o processo Kraft eficiente e economicamente sustentável para a produção de celulose (Fantuzzi, 1997).

Já Assumpção *et al.* (1988) destacam as desvantagens do processo Kraft, que incluem o alto custo para o branqueamento, o elevado investimento necessário para a construção das fábricas, o odor desagradável gerado pelos gases produzidos durante o processo e o baixo rendimento de polpação.

No branqueamento, o processo mais utilizado e empregado mundialmente é conhecido como ECF (Elemental Chlorine Free), que basicamente produz polpas com alta resistência, alta estabilidade de alvura e bom rendimento (SUESS; LEPORINI FILHO; SCHMIDT, 2000). É importante destacar que esses reagentes são utilizados para remover a lignina e os ácidos hexenurônicos da polpa, visando obter o maior teor de alvura possível com mínima remoção de hemicelulose, além de reduzir o impacto ambiental e o custo de produção final (Navarro, 2004). Segundo D’Almeida (1988), o melhor reagente para branqueamento é aquele que reage seletivamente com a lignina e os extrativos, causando pouco ou nenhum dano aos carboidratos e resultando em menor custo de produção.

3.2 Nanocelulose: Obtenção, propriedades e aplicações

A nanocelulose vem ganhando destaque nos últimos anos, principalmente devido à sua vasta gama de aplicações e nichos de mercado. Ela é obtida através do processamento e desconstrução das macromoléculas de celulose utilizando processos biológicos, químicos ou mecânicos, com o objetivo de produzir partículas em escala nanométrica (Dufresne, 2013). O termo “nano” refere-se a uma escala de medida onde um nanômetro equivale a um bilionésimo de metro ou um milionésimo de milímetro. Estruturas nessa escala possuem propriedades funcionais únicas e bem definidas que não são encontradas na escala macro (Chau *et al.*, 2007).

Ranby em 1951 fez o primeiro registro da obtenção da nanocelulose através de uma hidrólise com ácido sulfúrico o qual foi o pontapé inicial para o desenvolvimento de diversos métodos de obtenção (Silva *et al.* 2010).

Com propriedades bem definidas, a nanocelulose viabiliza praticamente aplicações infinitas, podendo atuar dentro da indústria farmacêutica, tintas, papéis, alimentícia, construção civil, médica, entre outras, apresentando por exemplo alta resistência mecânica, maleabilidade, leveza, excelente biodegradabilidade e baixa densidade (CLARO; JORDÃO, 2018).

A nanocelulose é predominantemente obtida por hidrólise ácida utilizando ácidos fortes, onde diferentes condições de produção resultam em uma variedade de morfologias das nanofibras. Seu principal desafio é obter partículas homogêneas e estáveis, dado que a nanocelulose possui alta tendência de agregação devido à interação com as superfícies que contêm hidroxila (Dufresne, 2013).

De acordo com Abitbol (2016), diferentes métodos de obtenção da nanocelulose resultam em distintos graus de cristalinidade, superfície química e propriedades mecânicas. Eles podem ser divididos em:

1 – Nanocristais de celulose (CNC), também conhecidos como celulose nanocristalina, obtidos por hidrólise ácida, sendo o ácido sulfúrico o mais utilizado.

Após a obtenção, esses nanocristais de celulose apresentam uma suspensão homogênea visível a olho nu (Lavoratti, 2015).

Suas principais aplicações incluem a produção de papéis e embalagens mais resistentes, aerogéis, filmes com propriedades ópticas definidas em termos de transparência e revestimentos comestíveis (Klemm *et al.*, 2011; Lavoine *et al.*, 2012).

2 – Nanofibras de celulose ou celulose nanofibrilada (CNF), obtidas por tratamentos químicos, processos mecânicos ou uma combinação desses processos.

O resultado final é uma estrutura que se assemelha a uma rede de fibras rígidas, com uma aparência de gel viscoso esbranquiçado (Klemm *et al.*, 2011; Lavoine *et al.*, 2012).

Suas principais aplicações abrangem diversos setores industriais, como papel, fármacos, cosméticos, automobilístico, eletrônicos e alimentos, podendo substituir materiais como plástico, produtos químicos e alumínio (Cunha, 2017).

3 – Nanocelulose bacteriana (BNC), produzida por microrganismos, sendo o *Gluconacetobacter xylinum* o mais eficiente.

No final do processo, obtém-se um hidrogel estável, cuja estrutura é composta por uma rede de nanofibras ultrafinas, com até cerca de 99% de água (Corral *et al.*, 2017).

Suas principais aplicações estão no setor de biomateriais, especialmente em curativos para recuperação de tecidos, implantes cartilaginosos e enxertos vasculares, além da indústria de alimentos, atuando como agente estabilizador para a produção de uma variedade de produtos, como por exemplo sorvetes (Klemm *et al.*, 2011; Lavoine *et al.*, 2012).

3.3 Nanopapel

Nos últimos anos, houve um aumento significativo na pesquisa relacionada à ciência e tecnologia em nanoescala. Isso se deve à constante evolução e à busca pelo desconhecido, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida e preservar o ambiente.

A ideia fundamental por trás da pesquisa e desenvolvimento da nanotecnologia é a manipulação de estruturas em nível atômico, molecular e macromolecular, visando criar novos materiais, dispositivos e sistemas com propriedades bem definidas (Roco, 2001).

A partir de estudos voltados para a nanotecnologia, surgem os nanopapéis, cuja matéria-prima base para a sua produção provém da celulose, o polímero natural mais abundante do planeta. Este material apresenta uma densa rede de ligações e elevadas propriedades mecânicas devido às suas ligações de hidrogênio e interações de Van der Waals (Sehaqui, 2011).

Segundo Zheng (2013), o papel foi e continua sendo amplamente utilizado em todo o mundo para transmitir informações e expor ideias, devido à sua capacidade de absorver tintas e manter características inalteradas em condições atmosféricas adversas, além de possuir estabilidade química e mecânica, permitindo assim pesquisas em nanoestruturas de celulose aplicadas.

Conforme Matreveli (2014), pesquisas recentes da Universidade de Upsália, vêm buscando o desenvolvimento e aplicação de nanopapéis com elevada eficiência aplicada dentro da área da saúde, como por exemplo a aplicação de filtro de nanopapel em remoção de vírus e contaminantes de água visando a remoção de impurezas.

Outra característica de grande importância dos nanopapéis está no processo produtivo, que utiliza matéria-prima proveniente de fontes renováveis. Além disso, após o descarte adequado, os nanopapéis se decompõem rapidamente, em contraste com o plástico, que pode levar em média 150 anos para se decompor no meio ambiente, resultando em um produto 100% biodegradável (Moon, 2011).

3.4 Doenças transmissíveis – partículas virais

Existem inúmeros tipos de doenças presentes na sociedade. Até meados do século XIX, Canguilhem (1978) classificava as doenças em ontológicas e dinâmicas. As ontológicas eram predominantes na época, sendo atribuídas a alguma crença com explicações sobrenaturais. Acreditava-se que a enfermidade, de certa forma, era o castigo merecido por determinado ato ou comportamento. Já as dinâmicas desempenham papel fundamental nas teorias contemporâneas, objetivando o estudo acerca do desenvolvimento a partir da descrição do comportamento e propondo uma

explicação para tal. Isso implica em sair de ideias sobre "o que muda" para questionamentos acerca do "por que isso muda". (CLARK; WHITALL, 1989).

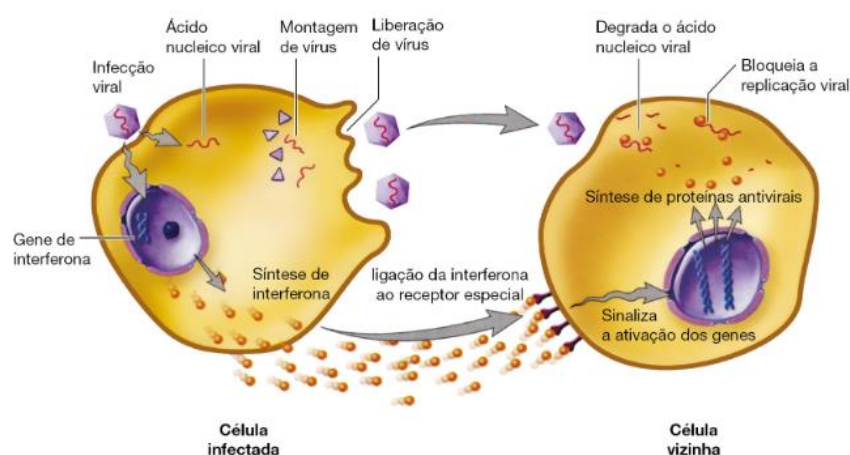
Rouquayrol (2003), define que as doenças transmissíveis são aquelas doenças que podem ser transmitidas através de um agente vivo e infeccioso apresentando sinais e sintomas que podem ser transmitidos e veiculados através de um vetor, ambiente ou indivíduo.

Conforme Stephens (2009), uma característica de extrema importância relacionada a distinção dos vírus e de outros microrganismos é o seu tamanho, podendo variar de 10 a 300nm, possibilitando a observação apenas através de equipamentos sofisticados de microscopia ótica. Além disso, os vírus possuem natureza particulada, ou seja, são capazes de se replicar formando componentes separadamente, uma das primeiras moléculas a serem formadas é o ácido nucleico os quais podem ser DNA (ácido desoxirribonucleico) ou RNA (ácido ribonucleico), tais ácidos nucleicos são responsáveis pelos genes com informações genéticas e produção de proteínas.

Segundo o mesmo autor, para que um vírus consiga completar seu ciclo de vida, necessita obrigatoriamente de uma célula viva, podendo ser de animais, vegetais ou microrganismos que não possuam atividade metabólica fora de células hospedeiras.

De acordo com Willey (2007), o vírus sendo uma ameaça para a célula, precisa de alguma forma se aliar a ela e fazer com que entenda da sua importância para somente após adentrar a célula realizar ali o seu ataque. A Figura 2 abaixo, representa os interferons que são classificados como grupo de proteínas produzidas de forma natural pelo organismo, têm função imunoreguladores, portanto, aumentam a capacidade de destruição de vírus, bactérias e células tumorais do organismo.

Figura 2 – Célula infectada x célula vizinha.



Fonte: Willey (2007)

Entre as principais doenças transmissíveis, as doenças respiratórias estão associadas às principais causas de morte ao redor do mundo, principalmente por afetarem pessoas de todas as faixas etárias. Elas afetam as estruturas e órgãos que compõem a região respiratória do corpo. Cada doença viral se manifesta de maneira diferente no hospedeiro, podendo ou não apresentar sintomas clínicos nos indivíduos. (Stephens, 2009).

Na Tabela 1 a seguir, é possível verificar a correlação entre alguns sintomas clínicos da via respiratória e o agente viral mais comum.

Tabela 1 – Sintomas clínicos da via respiratória.

Síndromes	Principais sintomas	Causas virais mais comuns		
		Lactantes	Crianças	Adultos
Laringite / gripe	Rouquidão, tosse “de cachorro”	Parainfluenza, Influenza	Parainfluenza, Influenza	Parainfluenza, Influenza
Traqueobronquite	Tosse	Parainfluenza, Influenza	Parainfluenza, Influenza	Influenza, Adenovírus
Bronquiolite	Tosse, dispneia	Vírus sincicial respiratório, Parainfluenza	Raro	Raro

Faringite	Faringite	Adenovírus, Herpes simples	Adenovírus, Vírus Coxsackie	Adenovírus, Vírus Coxsackie
Pneumonia	Tosse, dor torácica	Vírus sincicial respiratório, Influenza	Influenza, Parainfluenza	Influenza, Adenovírus
Resfriado comum	Obstrução nasal, secreção nasal	Rinovírus, Adenovírus	Rinovírus, Adenovírus	Rinovírus, Coronavírus

Fonte: Adaptado (Stephens, 2009)

Diferentes sinais e sintomas da doença viral podem ser observados em um hospedeiro, os quais são determinados pelas características específicas do agente e do hospedeiro, sendo influenciadas por fatores genéticos de ambos (Lopes, 2016).

Ainda segundo o autor, as doenças respiratórias estão diretamente relacionadas ao estilo de vida e à qualidade do ar que se respira, sendo muitas vezes invisíveis a olho nu. Essas doenças são transmitidas de pessoa para pessoa, podendo ocorrer através de:

Contato: onde há transferência física do patógeno a partir de um indivíduo infectado para outro não infectado através do contato, como por exemplo aperto de mão, abraço, etc.;

Gotícula: partículas respiratórias maiores de 5µm, expelidas no ar por um indivíduo infectado através de tosse, espiro ou fala;

Aerossóis: partículas respiratórias menores de 5µm, expelidas no ar por um indivíduo infectado através de tosse, espiro ou fala, contaminando outro indivíduo quando inspira os aerossóis.

A partir do momento em que se conhece as formas de transmissão, pode-se adotar medidas preventivas e cuidados especiais para combate do agente infectante.

3.5 Máscaras faciais

As máscaras faciais de proteção respiratórias são um dos itens fundamentais de proteção individual, atuando como uma barreira de vedação, inibindo assim a dispersão e inalação de partículas virais que se encontram no meio.

Conforme Casafirjan (2022), existem orientações técnicas do modo de fabricação, gramatura, espessura, densidade e até mesmo a forma que devem ser embalados para distribuição ao comércio conforme os órgãos de responsáveis ANVISA (Agência Nacional de Vigilância Sanitária), OMS (Organização Mundial da Saúde) e ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas).

A ANVISA cita três modelos principais de máscaras faciais com suas respectivas especificações, sendo:

Máscaras cirúrgicas: confeccionadas de material tecido-não tecido, com pelo menos uma camada filtrante interna e uma externa, com elemento filtrante com eficiência > 98% em filtração de partículas, > 95% de eficiência de filtração bacteriológica e > 95%, destinadas para profissionais da saúde e apoio assistência;

Modelo PFF2 com indicação para profissionais da área da saúde que atuam em situações geradoras de aerossóis, similar a N95, porém com eficiência de filtração $\geq 95\%$, estando em conformidade com a norma ABNT NBR 13.698.

As máscaras de tecido, recomendadas pelo Ministério da Saúde, destinadas a população em geral, com filtração acima de 50%, conforme cita Konda *et al.* (2020) e Shakya *et al.* (2017), e que quando produzidas e utilizadas de maneira adequada são capazes de fornecer proteção acima de 70%, sendo eficazes para proteção facial e inclusive utilizadas para redução de transmissão da COVID-19 ao longo da pandemia, funcionando como uma barreira, bloqueando a dispersão de gotículas afetadas (Macintyre *et al.*, 2011; Szapak *et al.*, 2020).

METODOLOGIA

4.1 Obtenção da celulose

A celulose, matéria-prima base para a realização do trabalho foi obtida no laboratório de Celulose e Papel, oriunda da indústria e produzida através da polpação Kraft e branqueamento ECF (*Elemental Chlorine Free*).

4.2 Obtenção da nanocelulose

A nanocelulose utilizada foi desenvolvida utilizando a metodologia desenvolvida pelo Araujo (2023).

Para a produção da nanocelulose foi preparada em solução de 2000 mL de água deionizada com 3% de polpa celulósica já branqueada. Em sequência submetida a agitação durante 60 minutos para pré-homogeneização, com delaminação das microfibrilas e afrouxamento das ligações de hidrogênio interfibrilar para posteriormente passar pelo moinho desfibrilador no mínimo de 15 a 20 passes para cisalhamento do material, obtendo como produto final a solução de nanocelulose 3%, conforme a Figura 3:

Figura 3 – Amostra após a desfibrilação.



Fonte: Autor (2020)

4.3 Obtenção do nanopapel

Com a celulose já branqueada iniciou-se o processo de obtenção do nanopapel utilizando a polpa celulósica seca 30%.

Pesou-se a polpa conforme Tabela 2, em uma balança semianalítica e posteriormente pipetou-se a respectiva proporção da solução de nanocelulose 3% e adicionou-se em um Becker, conforme a figura abaixo:

Figura 4 – Pesagem da amostra de celulose e solução de nanocelulose 3%.



Fonte: Autor (2020)

Foi feita a variação da proporção de polpa celulósica e nanocelulose com propriedades reforçadas, conforme a tabela abaixo:

Tabela 2 – Produção do nanopapel.

PRODUÇÃO DO NANOPAPEL			
TRATAMENTO	Polpa de celulose (g)	Nanocelulose Solução 3% (ml)	Água (ml)
A	0,4	41,03	1000
B	0,8	30,77	1000
C	1	25,64	1000
D	1,2	20,51	1000
E	1,6	10,26	1000
F	2	0	1000

Fonte: Autor (2020)

Após a realização da pesagem e coleta da solução de nanocelulose, ambas foram submetidas a um processo de desagregação das fibras com velocidade angular de 14.000 rpm, conforme a Figura 5:

Figura 5 – Desagregador de laboratório e polpa desagregada.



Fonte: Autor (2020)

Em sequência, foi adicionado água à polpa até a mistura atingir consistência de 0,2%, sendo transferida a solução para um homogeneizador até a formação de uma mistura homogênea (Figura 6).

Figura 6 – Mistura no homogeneizador.



Fonte: Autor (2020)

Utilizou-se a polpa que se encontrava em agitação mecânica no homogeneizador para a fabricação de folhas com gramatura de aproximadamente $60 \pm 2 \text{ g m}^{-2}$.

Para a confecção da folha de nanopapel, a mistura foi adicionada na máquina formadora de papel que de forma automática realiza as etapas de preenchimento com água, agitação mecânica, descanso e drenagem de água através de sucção, conforme a Figura 7, a seguir:

Figura 7 – Máquina formadora de papel.



Fonte: Autor (2020)

Em sequência, a formação da folha segue prensagem manual com auxílio de um rolo metálico e posterior à uma pressão de 2 kgf.cm^{-2} , conforme a Figura 8, a seguir:

Figura 8 – Folha formada e prensagem das folhas.



Fonte: Autor (2020)

Para cada amostra foram confeccionadas 10 folhas (Figura 9), submetidas à climatização com umidade relativa do ar de $50 \pm 2\%$ e temperatura de $23,0 \pm 1,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ para a secagem, acondicionamento e posterior realização dos testes físicos e mecânicos.

Procedimentos realizados seguindo as recomendações da Norma T 205 sp – 95.

Figura 9 – Acondicionamento das amostras.



Fonte: Autor (2020)

4.4 Ensaios físicos-mecânicos

As análises experimentais foram realizadas de acordo com os procedimentos e metodologias padronizadas conforme as normas técnicas da Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI), especificados na tabela abaixo:

Tabela 3 – Procedimentos para análise das folhas.

ENSAIO	PROCEDIMENTO
Resistência à compressão	T 826 pm-82
Resistência à tração	T 494 om-96
Resistência ao rasgo	T 414 om-98
Lisura	T 479 cm-99

Fonte: Autor (2023)

4.4.1 Resistência à compressão

O teste de resistência à compressão foi realizado utilizando um equipamento STC – Short Span Compression tester, modelo 18510, onde mede a força à compressão de uma amostra de papel em um curto espaço.

Nesse ensaio, as amostras foram preparadas com base a norma TAPPI 826, de 15mm x 70mm, sendo fixadas em dois grampos com uma distância de 0,7mm. As pinças são forçadas uma contra a outra até que ocorra uma falha na compressão,

essa força máxima para a falha é mensurada no teste em kN/m. O índice de compressão (I.C) relaciona a resistência a compressão com a gramatura da amostra. Ensaio foi realizado com 10 repetições para cada amostra (Figura 10).

Figura 10 – Equipamento utilizado para teste de Resistência à Compressão.



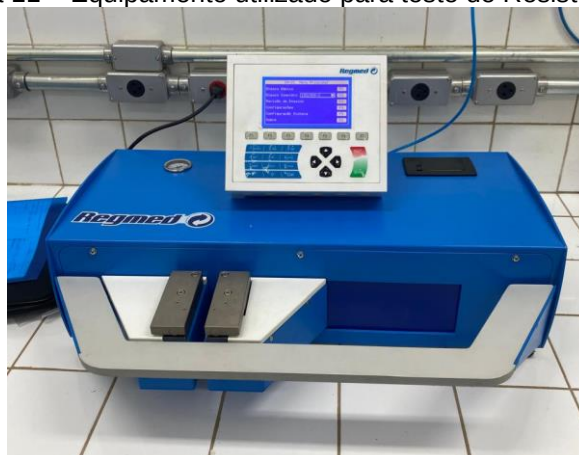
Fonte: Autor (2020)

4.4.2 Resistência à tração

A resistência à tração do papel tem como base dimensionar a força máxima de ruptura de uma amostra submetida a esforços de tração, medida em N. O índice de tração (I.T) refere-se a força máxima necessária para romper o corpo de prova com a sua largura e gramatura.

Nesse ensaio, as amostras foram preparadas com base a norma TAPPI 494, de 15mm x 70mm. Ensaio foi realizado com 6 repetições para cada amostra (Figura 11).

Figura 11 – Equipamento utilizado para teste de Resistência à Tração.



Fonte: Autor (2020)

4.4.3 Resistência ao rasgo

A resistência ao rasgo está diretamente relacionada com o trabalho necessário para um pêndulo rasgar o papel rompendo as fibras, avaliando posteriormente a capacidade do papel em resistir aos esforços do pêndulo em rasgar o produto. Esse procedimento é realizado em um equipamento digital do tipo Elmendorf, modelo 53984, conforme a Figura 12, onde, a resistência obtida no ensaio é medida em Newtons e o índice de rasgo (I.R) é calculado pela divisão da força média para o rasgo da folha pela sua gramatura.

Nesse ensaio, as amostras foram preparadas com base a norma T400, com folhas cortadas em guilhotina das dimensões de 76mm x 63mm $\pm$ 0,5mm. Ensaio foi realizado com 4 unidades amostrais e duas repetições para cada amostra.

Figura 12 – Equipamento utilizado para teste de Resistência ao rasgo.



Fonte: Autor (2020)

4.4.4 Lisura

O teste de lisura foi realizado utilizando um equipamento Bekk, modelo 33512, onde relaciona a habilidade da superfície da folha de papel em resistir à passagem de ar com a quantidade de espaços vazios presentes em sua estrutura superficial, dependendo do tamanho e da forma que os poros estão distribuídos ao longo da folha.

Basicamente, a lisura representa a dificuldade que um determinado volume de ar predefinido encontra para passar pela superfície de uma folha de papel, o resultado obtido é dado em segundos e o intervalo de pressão aplicada varia de 29,3 kPa à 50,7 kPa.

Este ensaio foi realizado com 10 repetições para cada amostra (Figura 13).

Figura 13 – Equipamento utilizado para teste de Lisura.



Fonte: Autor (2020)

4.4.5 Tratamento estatístico dos dados

Os pressupostos de normalidade e homocedasticidade foram previamente verificados para a realização da análise de variância ANOVA que permite verificar se há diferença entre as médias dos tratamentos.

Em sequência, aplicou-se o teste de Tukey, com intuito de verificar na comparação múltipla entre os tratamentos, quais deles diferiam entre si. O nível de significância adotado nas análises estatísticas foi de 5%.

Para demonstrar as diferenças entre as medidas, foi empregado o princípio de letras associadas aos resultados, onde médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si ao nível de significância adotado.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse estudo buscou-se desenvolver e avaliar as diferentes proporções de polpa celulósica e de nanocelulose para desenvolvimento de um nanopapel modificado, com propriedades melhoradas e capazes de filtrar/reter partículas virais em escala nanométricas.

As propriedades físico-mecânicas desempenham papel fundamental na caracterização do nanopapel produzido, objetivando correlacionar tais propriedades com os diferentes tipos de tratamento: A, B, C, D, E e F, sendo o último o nosso tratamento de referência, confeccionado apenas com polpa celulósica branqueada.

5.1 Propriedades do nanopapel

Na Tabela 4 é possível verificar os resultados médios dos tratamentos para cada ensaio:

Tabela 4 – Resultado médio dos ensaios para cada tratamento.

ENSAIO	TRATAMENTO					
	A	B	C	D	E	F
Índice de compressão (kN.m/g)	2,91	2,87	3,87	4,46	4,25	4,00
Índice de tração (N.m/g)	12,46	9,81	10,89	16,82	16,91	15,42
Índice de rasgo (mN.m ² /g)	3,84	2,77	4,75	4,75	4,83	4,83
Lisura (s)	68,70	31,60	32,10	25,30	17,30	14,1

Fonte: Autor (2024)

Os resultados obtidos para teste de normalidade dos dados com p-value ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 5):

Tabela 5 – Teste de normalidade dos dados.

P-VALUE	TRATAMENTO					
	A	B	C	D	E	F
Lisura	0,6699	0,7378	0,1973	0,7016	0,7114	0,0577
Compressão	0,1863	0,2964	0,8663	0,7466	0,3397	0,0498
Tração	0,01249	0,6658	0,7755	0,7655	0,2473	0,0592

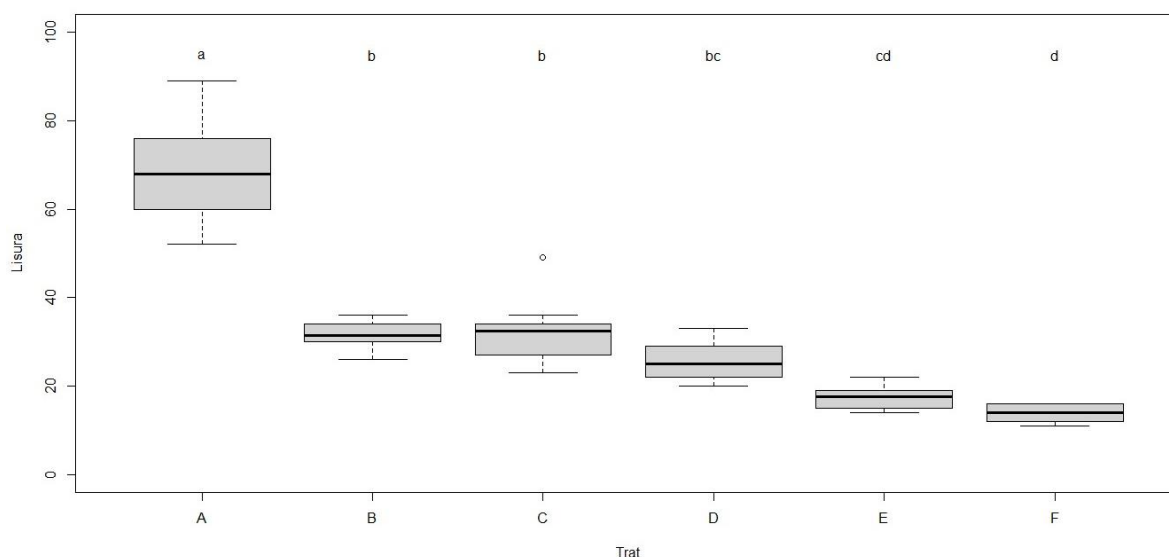
Fonte: Autor (2024)

5.1.1 Lisura

Para o teste de lisura dos diferentes tratamentos, a média dos resultados obtidos encontram-se na Tabela 4.

Na Figura 14, pode-se verificar o resumo da análise estatística da lisura.

Figura 14 – Teste de comparação múltipla das médias dos tratamentos para a variável lisura.



Fonte: Autor (2024)

As médias seguidas pela mesma letra, não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

De acordo com a Figura 14, nota-se que conforme aumento a quantidade de nanocelulose e diminuo a quantidade de celulose ocorre um aumento na lisura superficial do papel, portanto mais lisa é a superfície do papel formado. O teste de Tukey acusou diferença significativa entre os tratamentos à um nível de 5% de significância.

O tratamento A apresentou maior habilidade em resistir a passagem de ar, apresentando a média de 68,7 segundos, se comparado com a sequência de referência de F, indicando diferença estatística entre os tratamentos.

Os demais tratamentos não apresentaram uma diferença significativa entre si, indicando semelhança entre os tratamentos.

Conforme Morbeck (2013), a resistência a passagem de ar (lisura) relaciona-se de forma direta com elementos de grande importância, como à estrutura da folha, grau

de entrelaçamento entre as fibras e porosidade. Quanto maior o entrelaçamento das fibras menor seria a quantidade de espaços vazios e consequentemente maior a resistência a passagem de ar.

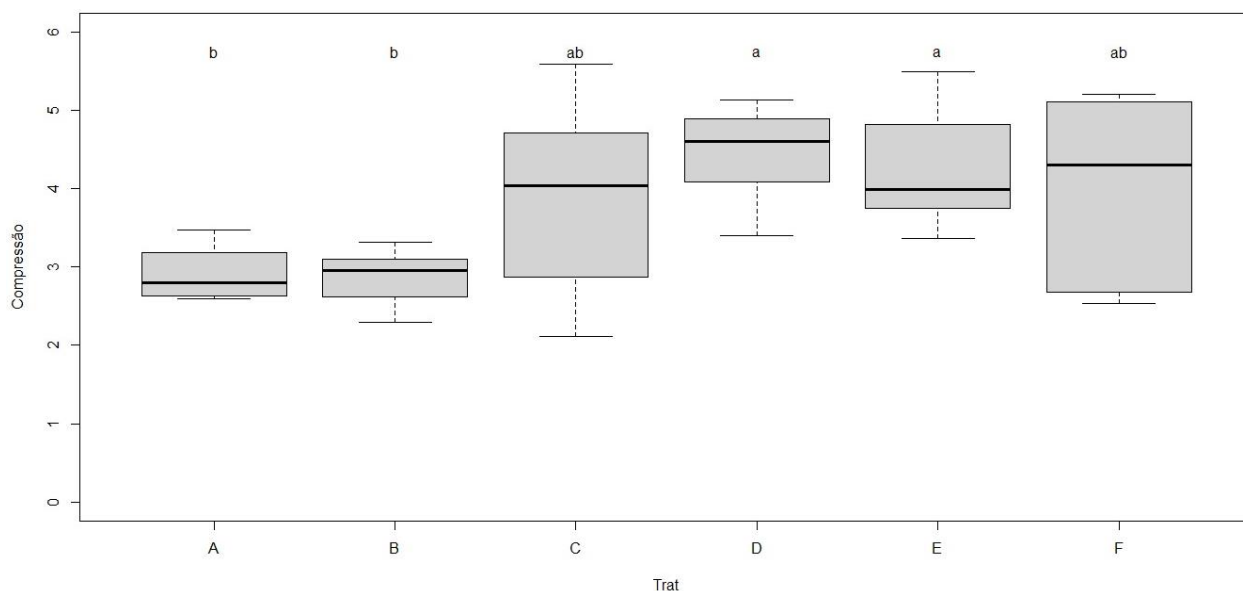
Pela leitura da Figura 14, é possível descrever que a lisura é influenciada pela quantidade de nanopapel e celulose, onde, houve uma tendência de aumento na lisura do papel com a adição da solução de nanocelulose. Porém estatisticamente (ao nível de 5% de significância) os tratamentos B, C, D e E são indiferentes na adição de nanocelulose, com efeito na lisura do papel. Há diferença apenas nos tratamentos de A e F (referência).

Vale a pena ressaltar que para o teste de lisura a variância não é homogênea, conforme Tabela 5.

5.1.2 Resistência à compressão

Os resultados médios para o índice de compressão podem ser verificados na Tabela 4 e na Figura 15 a seguir os resultados da análise estatística:

Figura 15 – Teste de comparação múltipla das médias dos tratamentos para a variável compressão.



Fonte: Autor (2024)

Os tratamentos apresentam diferença significativas entre si, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Analisando os dados da Figura 15, pode-se notar que o tratamento D apresentou o maior índice de resistência à compressão. O teste Tukey encontrou diferenças significativas entre os tratamentos, porém observa-se que o D não diferiu estatisticamente do tratamento de referência (F), não sendo influenciado pela adição de nanocelulose à polpa.

Conforme aumento a quantidade de nanocelulose e diminuo a quantidade de celulose há uma tendência de redução no índice de compressão.

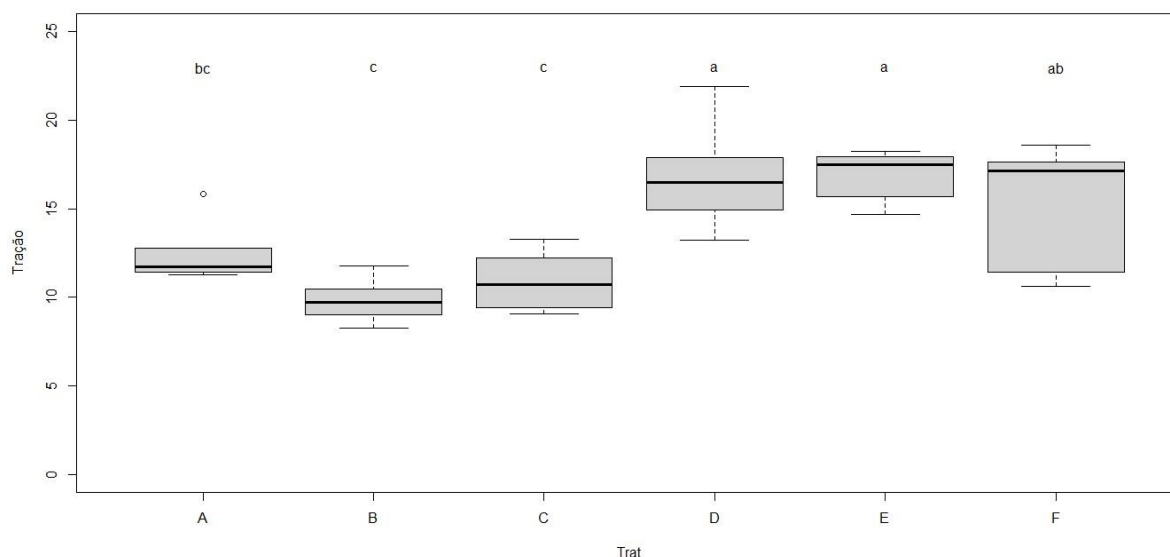
Nos tratamentos A, B, C e F não diferem estatisticamente entre si, assim como nos tratamentos C, D, E e F com semelhança entre os tratamentos estudados.

Conforme os valores de p-value Tabela 5, a variância não é homogênea.

5.1.3 Resistência à tração

Os resultados médios para o índice de tração podem ser verificados na Tabela 4 e os dados estatísticos na Figura 16:

Figura 16 – Teste de comparação múltipla das médias dos tratamentos para a variável tração.



Fonte: Autor (2024)

Os tratamentos apresentam diferença significativas entre si, pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pode-se notar que o tratamento E apresentou maior índice médio de tração se comparado com os demais tratamentos, porém não difere estatisticamente dos tratamentos D e F.

O tratamento A com maior quantidade de nanocelulose não difere estatisticamente do B e C e D.

Os tratamentos C e B diferem estatisticamente do D e E.

Teste de compressão obteve-se variância não é homogênea, conforme análise da Tabela 5.

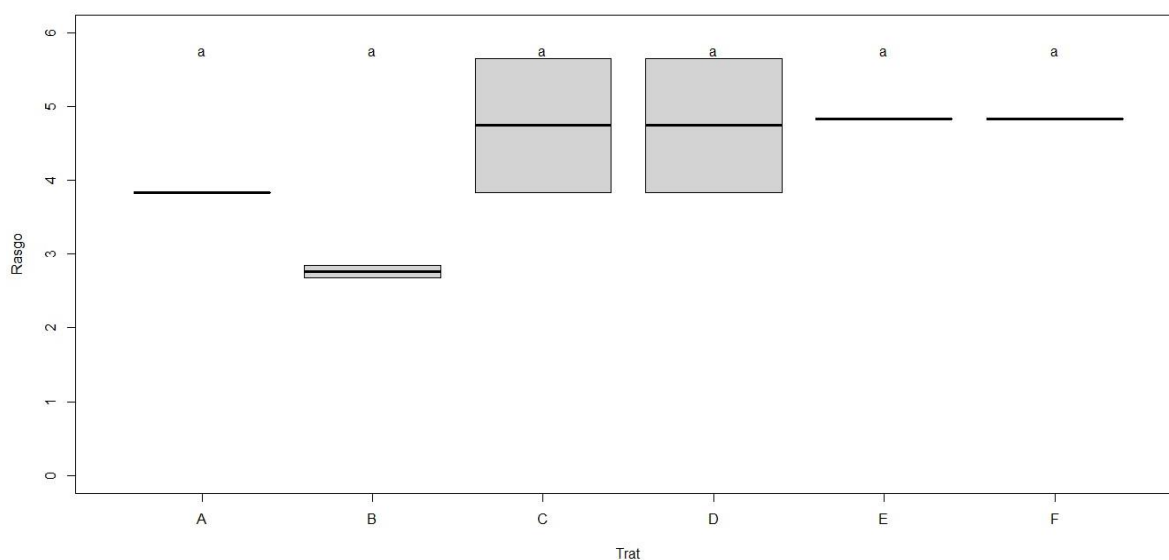
5.1.4 Resistência ao rasgo

Com base nos resultados obtidos através da média da resistência ao rasgo, pode-se observar que a análise de variância foi significativa, sendo o índice de rasgo considerado estatisticamente igual para todos os tratamentos. Independente dos tratamentos, a diferença não é significativa neste ensaio.

No entanto, pode-se destacar que mesmo reduzindo a quantidade de polpa celulósica e aumentando a quantidade de nanocelulose, conforme o tratamento D o índice de rasgo permanece o mesmo, se comparado com o de referência (F).

A menor resistência encontrada para o rasgo obtida foi no tratamento B.

Figura 17 – Teste de comparação múltipla das médias dos tratamentos para a variável rasgo



Conforme Sixta (2006), o índice de rasgo é uma particularidade extremamente ligada com a resistência intrínseca da fibra, afetada diretamente pelo comprimento da fibra, onde quanto maior o comprimento da fibra maior a resistência da folha de papel. A resistência ao rasgo depende de pelo menos três fatores, sendo: comprimento das fibras, resistências das fibras e o grau de ligação entre elas.

CONCLUSÃO

A partir do desenvolvimento, análise dos resultados obtidos e perante aos objetivos traçados, pode-se concluir que a variação da quantidade de polpa celulósica e de nanocelulose na confecção de uma folha de nanopapel foi significativa para análise de lisura. Quando da adição de aproximadamente 40 mL de uma solução à 3% de nanocelulose.

No teste de lisura, o tratamento A apresentou maior resistência à passagem de ar no intervalo de pressão predefinido, inclusive apresenta maior quantidade de nanocelulose adicionada, apresentando dentre os tratamentos a melhor lisura superficial do papel formado o que é bom para máscaras com maior retenção de partículas.

Para análise de rasgo, tração e compressão a variância não foi significativa, indicando que a adição de nanocelulose não foi significativa no percentual de biomaterial adicionado analisado, entretanto, os valores médios tiveram tendências de aumentar com maiores proporções de polpa.

Demonstra a necessidade de incluir novos percentuais de nanocelulose para melhoria dos demais parâmetros, porém, resultados positivos na lisura indicam que o reforço com a adição de nanomaterial é promissor para formar uma barreira física para bactérias, vírus e fungos.

Pesquisas futuras com a aplicação do nanopapel entre camadas de diferentes tipos de máscaras de proteção individual, realizando testes de elementos filtrantes e partículas em conformidade com a ABNT NBR 13698:2011, avaliando o percentual de retenção de partículas em escalas nanométricas com os equipamentos específicos de teste é primordial e demonstra inovação no desenvolvimento de produtos de nanocelulose. Além de explorar o tema com a adição de nanocelulose de prata com aplicações fungicidas ou bactericidas.

REFERÊNCIAS

ABITBOL, T. *et al.* Nanocellulose, a tiny fiber with huge applications. *Current Opinion In Biotechnology*, London, GB, v. 39, p.76-88. 2016. Elsevier BV.

ARAUJO, R.R. Funcionalização de nanocelulose para remediação de metais em sistemas aquáticos. 2023. 54f. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Ciências e Engenharia, Itapeva, SP, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 13698: equipamento de proteção respiratória: peça semifacial filtrante para partículas. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. Números do setor. 2009. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br>. Acesso em 05 de jan. 2024.

ASSUMPÇÃO, R. M. V.; PINHO, M. R. R.; CAHEN, R.; PHILIPP, P. Polpação química. In: D'ALMEIDA, M. L. O (coord.). *Celulose e papel: tecnologia de fabricação da pasta celulósica*. São Paulo: SENAI/IPT, v.1, p. 169-319, 1988.

CANGUILHEM, G. O normal e o patológico. Rio de Janeiro: Forense-Universitária, 1978.

CASAFIRJAN. Covid-19: guia de especificações para produção de máscaras e têxteis. Disponível em: <https://www.casafirjan.com.br/coronavirus/covid-19-guia-de-especificacoespara-producao-de-mascaras-e-texteis>. Acesso em: 25. jun.2022.

CHAU, C.F.; WU, S.H.; YEN, G.C. The development of regulations for food nanotechnology. *Trends in Food Science & Technology*, Amsterdam, v. 18, n. 5, p. 269-280, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2007.01.007>.

CLARO, F.C.; JORDÃO, C. Ensaio especial: nanocelulose. *Revista Opiniões, Ribeirão Preto*, v. 15, n. 53, set.-nov., p. 44 – 46, 2018. Disponível em: <https://florestal.revistaopinioes.com.br/pt-br/revista/leitura/online/inovacoes-tecnologicas-do-sistema-florestal/>. Acesso em: 21 jun. 2024.

CLARK, J. E.; WHITALL, J. What is motor development? The lessons of history. *Quest*. v41, p. 183-202,1989.

CHIN, Kwok-Mern; TING, Sam Sung; ONG, Hui Lin; OMAR, Mf. Surface functionalized nanocellulose as a veritable inclusionary material in contemporary bioinspired applications: a review. *Journal Of Applied Polymer Science*, [s.l.], v. 135, n. 13, p. 1-19, 5 april. 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/app.46065>. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/app.46065>. Acesso em: 25 maio 2024.

CUNHA, Renato. Nanocelulose: um inovador material extraído de plantas que revolucionará a ciência e a tecnologia. StyloUrbano, 2017. Disponível em: <https://www.stylourbano.com.br/nanocelulose-e-um-inovador-material-extraido-de-plantas-que-revolucionara-a-ciencia-e-a-tecnologia/>. Acesso em: 25 maio 2024.

CORRAL, M. L.; CERRUTI, P.; VÁSQUEZ, A.; CALIFANO, A. Bacterial nanocellulose as a potential additive for wheat bread. *Food Hydrocolloids*, v. 67, p. 189-196, 2017.

DUFRESNE, A. Nanocellulose: a new ageless bionanomaterial. *Materials Today*, Kidlington, Inglaterra, v. 16, n. 6, p.220-227, jun. 2013. Elsevier BV.

D'ALMEIDA, M. L. O (coord). Celulose e papel - Tecnologia de fabricação do papel. 2. ed. São Paulo: SENAI-IPT. v. 2. 1988. 964p.

FANTUZZI NETO, H. Dissolução de constituintes químicos da madeira de *E. grandis* durante a polpação Kraft convencional e modificada. Viçosa, 1997 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 1997.

GEORGE, T. Science and Technology of Wood, Van Nostrand Teinhold, New York, 1991, p.15.

JARDIM, C.M. Impactos de modificações físico-químicas das fibras de eucalipto na qualidade da polpa branqueada. 2012. Dissertação (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, Minas Gerais, 2012.

KLEMM, D.; Heublein, B.; Fink, H. P.; Bohn, A. Cellulose: fascinating biopolymer and sustainable raw material. *Angew Chem Int Ed Engl*. 2005 May 30;44(22):3358-93. doi: 10.1002/anie.200460587. PMID: 15861454.

KLEMM, D.; SCHUMANN, D.; KRAMER, N.; HESSLER, N.; HORNUNG, M.; SCHMAUDER, H. P.; MARSCH, S. Nanocelluloses as Innovative Polymers in Research and Application. *In*: Klemm, D. (ed.). Polysaccharides II. Berlin, Heidelberg: Springer. (Advances in Polymer Science, v. 205). Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007/12_097#citeas. Acesso em: 21 jun. 2024. p. 49-96.

KONDA, Abhiteja *et al.* Aerosol filtration efficiency of common fabrics used in respiratory cloth masks. *ACS nano*, v. 14, n. 5, p. 6339-6347, 2020.

KLOCK, U. Qualidade da madeira de *Pinus oocarpa* Schied e *Pinus caribaea* Moreletvar *hondurensis* Barr e Golf. 1988. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1988.

BERNARDES, Júlio. Livro apresenta obtenção e aplicações da celulose e derivados. Jornal da USP, 2018. Disponível em: <https://jornal.usp.br/ciencias/ciencias-0203-livro-apresenta-obtencao-e-aplicacoes-da-celulose-e-derivados/>. Acesso em: 23 maio. 2022.

LAVOINE, N.; DESLOGES, I.; DUFRESNE, A.; BRAS, J. Microfibrillated cellulose – Its barrier properties and applications in cellulosic materials: A review. *Carbohydrate Polymers*, v. 90, n. 2, p. 735-764, 2012.

MACINTYRE, Chandini Raina *et al.* A cluster randomized clinical trial comparing fit-tested and non-fit-tested N95 respirators to medical masks to prevent respiratory virus infection in health care workers. *Influenza and other respiratory viruses*, v. 5, n. 3, p. 170-179, 2011.

MESQUITA, J.P.; Nanocristais de celulose para preparação de bionanocompósitos com quitosana e carbonos nanoestruturados para aplicações tecnológicas e ambientais. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012.

METREVELI, G.; Wågberg, L.; Emmoth, E.; Belák, S.; Strømme, M.; Mihranyan, A. Um papel de filtro de nanocelulose com exclusão de tamanho para remoção de vírus. (2014). *Av. Mater de Saúde.*, 3: 1546-1550. <https://doi.org/10.1002/adhm.201300641>.

MOON, R. J.; Martini, A.; Nairn, J.; Simonsen, J.; Youngblood, J.; *Chem. Soc. Rev.* 2011, 40, 3941.

MORBECK, Fernanda Lago. Efeitos dos estágios de branqueamento com oxigênio, dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio na qualidade das polpas kraft de *Pinus taeda* e de *Eucalyptus* spp. 2013.

NAVARRO, R. M. S. Estudo dos diferentes tipos de processos de branqueamento de celulose objetivando a comparação entre seus métodos e a geração do potencial de poluentes em seus respectivos efluentes. 2004. Dissertação (Mestrado), FEQ-UNICAMP, 2004.

PORTELLA, E.H.; Merlo, A. A.; Nachtigall, S.M.B. “Cellulose nanofibrils from eucalyptus – Thermal degradation studies”. Apresentação oral. XV Simposio Latinoamericano de Polímeros, 23 – 27 de outubro de 2018, Cancún, México.

ROCO, Mihail C. International strategy for nanotechnology research. *Journal of Nanoparticle Research*, v. 3, p. 353-360, 2001.

ROUQUAYROL, M. Z.; Façanha, M. C.; Veras, F.M.F. Aspectos Epidemiológicos das doenças transmissíveis. In: Rouquayrol MZ, Almeida Filho N. *Epidemiologia & saúde*. 6a ed. Rio de Janeiro: MEDSI; 2003. p.229-31.

SEHAQUI, H. Nanofiber networks, aerogels and biocomposites based on nanofibrillated cellulose from wood. Tese de Doutorado. KTH Royal Institute of Technology, 2011.

STEPHENS, Paulo Roberto Soares *et al.* Virologia. In: MOLINARO, Etelcia Moraes; CAPUTO, Luzia Fátima Gonçalves; AMENDOEIRA, Maria Regina Reis (Org.). Conceitos e métodos para a formação de profissionais em laboratórios de saúde. v.4. Rio de Janeiro: EPSJV, 2009. p.125-220.

SILVA, R. *et al.* Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. Química Nova, São Paulo, v. 32, n. 3, p.661-671, 2009. FapUNIFESP (SciELO).

SIXTA, Herbert. Handbook of pulp. Weinheim: Wiley-VCH, 2006.

SUESS, H. U.; LEPORINI FILHO, C.; SCHMIDT, K. Bleaching of eucalyptus kraft Pulp to very high brightness. In: PULP AND PAPER INTERNATIONAL CONGRESS AND EXHIBITION, 33, 2000, São Paulo. Proceedings... São Paulo: ABTCP, Tappi Press, 2000.

SZARPAK, Lukasz *et al.* Cloth masks versus medical masks for COVID-19 protection. Cardiology journal, v. 27, n. 2, p. 218-219, 2020.

WILLEY, J.; Sherwood, L.; Woolverton, C.J. Microbiology. 7^a ed. New York, NY: McGraw-Hill; 2007

ZHENG, G.; CUI, Y.; KARABULUT, E.; WÅGBERG, L.; ZHU, H.; HU, L. Nanostructured paper for flexible energy and electronic devices. MRS Bulletin 38, p. 320–325, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1557/mrs.2013.59>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1557/mrs.2013.59>. Acesso em: 2 jun. 2024.