



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA**

LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

TRABALHO DE LICENCIATURA

**AVALIAÇÃO DO PAPEL RECICLADO PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DE  
PAPEL**

**Autor:**

Ivan de Araújo Zacarias Pene

**Supervisor:**

Prof. Doutor Jonas Valente Matsinhe, Eng<sup>o</sup>

Maputo, Outubro de 2024



**FACULDADE DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE**

**TRABALHO DE LICENCIATURA**

**AVALIAÇÃO DO PAPEL RECICLADO PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DE  
PAPEL**

**Autor:**

Ivan de Araújo Zacarias Pene

**Supervisor:**

Prof. Doutor Jonas Valente Matsinhe, Eng<sup>o</sup>

Maputo, Outubro de 2024

## TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DO TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que o estudante finalista **Ivan de Araújo Zacarias Pene** Entregou no dia \_\_\_/\_\_\_/2024 as \_\_\_ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência:\_\_\_\_\_Intitulado: **AVALIAÇÃO DO PAPEL RECICLADO PRODUZIDO A PARTIR DE RESÍDUOS DE PPÉL.**

Maputo, aos \_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2024

A Chefe da Secretaria

---

## DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Ivan de Araújo Zacarias Pene, declaro por minha honra, que o presente Trabalho de Licenciatura foi elaborado por mim próprio. Não se recorreu a quaisquer outras fontes, para além das indicadas, e todas as formulações e conceitos usados, quer adaptados literalmente ou adaptados a partir das ocorrências originais, se encontram adequadamente identificados e citados em conformidade com as convenções e normas do regulamento de culminação de cursos de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Declaro também que nunca foi submetido nesta e em outras instituições do ensino superior para obtenção de qualquer grau académico ou para qualquer outro fim.

Maputo, Outubro de 2024

O autor

---

(Ivan de Araújo Zacarias Pene)

## **1. DEDICATÓRIA**

Dedico o presente trabalho aos meus pais Cecília André Machava Mondlane e Constantino Raimundo Mondlane.

## 2. AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus todo poderoso pela força de boa vontade, que dá-me a cada dia e pelo dom da vida para prosseguir nesse maravilhoso caminho, que é o ensino superior.

Aos meus pais Cecília André Machava e Zacarias David Pene por terem me gerado. Agradeço ainda a minha mãe e meu pai de criação Constantino Mondlane, pela concepção, amor, carinho, pelos preciosos ensinamentos, pela paciência que tem comigo e por me apoiarem nas minhas caminhadas sempre. Ainda continuo agradecendo a eles, pois nas épocas das avaliações eles estavam ali pra ajudar com qualquer coisa que eu precisasse, eles tinham consciência que era por um bem maior e com isso por vezes eles faziam as actividades de casa direccionadas a mim, só pra poder me dar mais tempo de estudar, sou mesmo muito a grato a eles.

Ao meu supervisor Prof. Doutor Jonas Valente Matsinhe, Eng<sup>o</sup> pelo apoio na realização do trabalho, pelo encorajamento, pelas dicas valiosas que de certa forma contribuíram imenso e vou levar pra a vida quotidiana e profissional.

Aos meus familiares super especiais, a minha segunda mãe Lurdes Puldina, aos meus irmãos e primos, Sheila Pene, Josuília Pene, Naiome Pene, Tima Naiomy, Mário Shelton, Shélcia Vitória, Nassima Machava, Sheila Nhaca, Naymo Manganhela, Maimuna Manganhela, Deivid Manusse, Samuel João, Marven Buque que foram e tem sido um grande suporte pra mim, sempre preocupados com o avanço do meu trabalho e sempre questionavam sobre a defesa.

Aos meus tios, Roberto Machava, Maria Natália Manganhela, Marília Manganhela.

Aos meus amigos por estarem sempre comigo e que de certa forma ajudaram neste percurso, que passo a citar, Luana Lambo, Mayra Mariamo, Márcia Aura, Túlio Mutuzana, Mustafá de Brangy, Karen Salato, Gabriel Francisco o meu muito obrigado.

Aos meus colegas de turma e de grupo de estudos, pelo apoio, conhecimento partilhado e companheirismo ao longo do curso, nomeadamente Eugenia da Glória, Salomão Nuvunga, Maria Albino, Sarlina Mazive, Rosa Nhampulo, Lemos Mahumane.

### 3. RESUMO

As preocupações com os impactos ambientais provocados pelo processo de fabrico e descarte dos resíduos de papel têm tido uma evolução significativa, pois a maior parte da informação impressa tem como suporte o papel e as suas diversificadas aplicações fazem parte do nosso quotidiano. Com esta exigência, a reciclagem dos resíduos de papel pode reduzir a quantidade de energia e recursos hídricos usados e polui menos a atmosfera, pois não necessita da matéria-prima virgem para sua produção, o que torna esse processo fechado, ao invés de iniciar-se com a celulose obtida na madeira, recicla-se os resíduos de papel, transformando-as em papel reciclado. Este trabalho propõe utilizar cartolina, papelão e papel A4 como componentes da mistura, adicionado a água, para produzir papel reciclado. O presente trabalho consiste em produzir papel reciclado a partir de resíduos de papel e analisar as propriedades físico-químicas, mecânicas e ópticas, bem como, identificar a composição da mistura ótima para os papéis produzidos. A metodologia usada baseou-se no planeamento de misturas de três componentes, onde foram produzidos papéis com diferentes composições mássicas, sendo a composição da água fixa de 97.56% e sete (7) diferentes composições dos componentes: cartolina 2.44%; papelão 2.44%; papel A4 2.44%; cartolina, 1.22% + papelão 1.22%; papelão 1.22%+ papel A4 1.22%; cartolina 1.22% + papel A4 1.22%; e cartolina 0.81% + papelão 0.81% + papel A4 0.81%, tendo sido tratados com o *software Statistica 8*. Os resultados mostram que a mistura ternária (C + P +A) melhor responde a gramagem com 180g/m<sup>2</sup>, pH de 9.1 e humidade de 4.4%, quando comparado com o papel virgem, seguido da mistura pura de P (131 g/m<sup>2</sup>, pH de 8.8 e humidade de 4.4%) e por fim a mistura binária entre P + C (117 g/m<sup>2</sup>, pH 9.2 e humidade de 4.2%). O P exerce maior efeito sobre a mistura e possui efeito positivo o que favorece características semelhantes ao papel virgem e a pureza do papel está relacionada a coloração e o uso prévio do papel. Feita a análise, concluiu-se que a mistura ótima é a ternária pois mantém-se suficiente para a produção do papel reciclado, sendo económica e ambientalmente viável, visto que pode contribuir para a redução do desflorestamento, pressão nos recursos hídricos e nos recursos energéticos e potencializar o descarte adequado dos resíduos sólidos.

**Palavras-chave:** Reciclagem, Papel reciclado, Propriedades do papel.

#### 4. ABSTRACT

The concerns about the environmental impacts caused by the process of manufacturing and disposing of waste paper have evolved significantly, since most printed information is supported by paper and its diverse applications are part of our daily lives. With this demand, recycling waste paper can reduce the amount of energy and water resources used and pollute the atmosphere less, as it doesn't need virgin raw materials for its production, which makes this a closed process. Instead of starting with the cellulose obtained from wood, waste paper is recycled, turning it into recycled paper. This work proposes using cardboard, cardboard and A4 paper as components of the mixture, added to water, to produce recycled paper. This work consists of producing recycled paper from waste paper and analysing the physico-chemical, mechanical and optical properties, as well as identifying the composition of the optimum mixture for the papers produced. The methodology used was based on the planning of three-component mixtures, where papers with different mass compositions were produced, with a fixed water composition of 97.56% and seven (7) different component compositions: cardboard 2.44%; cardboard 2.44%; A4 paper 2.44%; cardboard, 1.22% + cardboard 1.22%; cardboard 1.22% + A4 paper 1.22%; cardboard 1.22% + A4 paper 1.22%; and cardboard 0.81% + cardboard 0.81% + A4 paper 0.81%, and were processed using Statistica 8 software. The results show that the ternary mixture (C + P +A) responds best to grammage with 180g/m<sup>2</sup>, pH of 9.1 and humidity of 4.4%, when compared to virgin paper, followed by the pure P mixture (131 g/m<sup>2</sup>, pH of 8.8 and humidity of 4.4%) and finally the binary mixture between P + C (117 g/m<sup>2</sup>, pH 9.2 and humidity of 4.2%). The P exerts the greatest effect on the mixture and has a positive effect which favours characteristics similar to virgin paper and the purity of the paper is related to the colouring and previous use of the paper. After analysing the results, it was concluded that the optimum mixture is ternary, as it remains sufficient for the production of recycled paper and is economically and environmentally viable, as it can help to reduce deforestation, pressure on water and energy resources and encourage the proper disposal of solid waste.

**Keywords:** Recycling, Recycled paper, Paper properties.

## 5. INDICE

1.	DEDICATÓRIA .....	i
2.	AGRADECIMENTOS.....	ii
3.	RESUMO.....	iii
4.	ABSTRACT .....	iv
5.	INDICE .....	v
6.	LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS .....	vii
7.	INDICE DE FIGURAS.....	viii
8.	INDICE DE TABELAS.....	ix
1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1.	PROBLEMA.....	1
1.2.	JUSTIFICATIVA.....	1
1.3.	OBJECTIVOS .....	2
1.3.1.	Objectivo Geral.....	2
1.3.2.	Objectivos Específicos .....	2
1.4.	METODOLOGIA .....	3
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	4
2.1.	DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PAPEL.....	4
2.2.	TIPOS DE PAPEL.....	4
2.2.1.	Quanto ao uso.....	5
2.2.2.	Quanto ao processo de fabrico.....	5
2.2.3.	Quanto a matéria-prima.....	6
2.3.	PROPRIEDADES DO PAPEL.....	6
2.3.1.	Propriedades estruturais da matriz .....	7
2.3.2.	Propriedades estruturais da superfície .....	10
2.3.3.	Propriedades ópticas.....	11
2.3.4.	Propriedades mecânicas .....	12
2.3.5.	Propriedades físico-químicas .....	13
2.4.	FABRICAÇÃO DO PAPEL.....	15
2.4.1.	Matéria-prima para o papel.....	17
2.4.2.	Processo de reciclagem de papel.....	18
3.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	20
3.1.	MATERIAIS .....	20
3.1.1.	Resíduos de papel.....	20
3.1.2.	Equipamento para moagem .....	21

3.1.3.	Caixilhos com rede e sem rede .....	21
3.1.4.	Pincel do tipo rolo .....	22
3.1.5.	Tecidos/Rede .....	22
3.1.6.	Água.....	23
3.2.	PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS .....	23
3.2.1.	Colecta e Transporte .....	24
3.2.2.	Armazenar.....	24
3.2.3.	Despolpamento .....	25
3.2.4.	Moagem .....	25
3.2.5.	Secagem .....	26
3.2.6.	Prensagem.....	26
3.3.	MÉTODOS.....	27
3.3.1.	Planeamento de misturas .....	27
3.3.2.	Determinação das propriedades físicas e mecânicas .....	28
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
4.1.1.	Determinação das propriedades físico-químicas, mecânicas e ópticas	32
4.1.2.	Gramagem .....	32
4.1.3.	Espessura .....	33
4.1.4.	Densidade aparente .....	34
4.1.5.	pH .....	34
4.1.6.	Humidade .....	35
4.1.7.	Ensaio da microscopia para determinar a Opacidade.....	37
5.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	41
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	ix
7.	ANEXOS.....	1

## 6. LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

mm	Milímetros
Pb	Chumbo
PE	Polietileno
Al	Alumínio
g/m <sup>2</sup>	Gramas por metro quadrado
nm	Nanómetro
mNm	Milínewton - metro
Talco	Mg <sub>3</sub> Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub>
TiO <sub>2</sub>	Dióxido de titânio
CaCO <sub>3</sub>	Carbonato de cálcio
MgCO <sub>3</sub>	Carbonato de magnésio
Si <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (OH) <sub>4</sub>	Argila
ZnSO <sub>4</sub>	Sulfato de zinco
ton	Tonelada
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
m <sup>3</sup> /ton	Metro cúbico por tonelada
°C	Graus célsius
%	Porcentagem

## 7. INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Processo de Fabricação transformação da madeira para o papel comum.	16
<b>Figura 2:</b> Processo resumido de fabricação do papel.	16
<b>Figura 3:</b> Processo da reciclagem do papel.	19
<b>Figura 4:</b> Varinha mágica.	21
<b>Figura 5:</b> Caixilho com rede e sem rede de 20cmX20cm.	22
<b>Figura 6:</b> Pincel tipo rolo usado como nivelador e para absorver água.	22
<b>Figura 7:</b> Tecido de algodão.	22
<b>Figura 8:</b> Recipiente de armazenamento de água.	23
<b>Figura 9:</b> Metodologia empregue para desenvolver os papéis reciclados.	23
<b>Figura 10:</b> Resíduos de papel colectados.	24
<b>Figura 11:</b> Resíduos de papel cortados manualmente.	24
<b>Figura 12:</b> Despulpamento das fibras de papel.	25
<b>Figura 13:</b> Processo de Moagem.	25
<b>Figura 14:</b> Papel retirado do tecido já seco, C-cartolina, A-papel A4, P-papelão, C+A+P-mistura dos 3 papéis.	26
<b>Figura 15:</b> a) Prensagem do papel, b) papel após prensagem.	26
<b>Figura 16:</b> Balança analítica de marca Denver Instrument, M – 310.	28
<b>Figura 17:</b> Micrómetro.	29
<b>Figura 18:</b> pHmetro marca Hanna, modelo HI991001.	30
<b>Figura 19:</b> Microscópio, modelo U-CMAD3 Marca OLIMPUS SC20.	31
<b>Figura 20:</b> Gráfico ilustrativo da gramagem em relação aos componentes da mistura.	32
<b>Figura 21:</b> Gráfico ilustrativo da espessura em relação aos componentes da mistura.	33
<b>Figura 22:</b> Gráfico ilustrativo do pH em relação aos componentes da mistura.	35
<b>Figura 23:</b> Gráfico ilustrativo da humidade em relação as componentes da mistura.	36
<b>Figura 24:</b> 1-cartolina com ampliação de 40X, 2-cartolina com ampliação de 100X	37
<b>Figura 25:</b> 1-papelão com ampliação de 40X, 2-papelão com ampliação de 100X	37
<b>Figura 26:</b> 1-papel A4 com ampliação de 40X, 2-papel A4 com ampliação de 100X	38
<b>Figura 27:</b> 1-cartolina e papelão com ampliação de 40X, 2-cartolina e papelão com ampliação de 100X	38
<b>Figura 28:</b> 1-cartolina e papel A4 com ampliação de 40X, 2-cartolina e papel A4 com ampliação de 100X	38
<b>Figura 29:</b> 1-papelão e papel A4 com ampliação de 40X, 2-papelão e papel A4 com ampliação de 100X	39
<b>Figura 30:</b> 1-mistura das 3 componentes com ampliação de 40X, 2-mistura das 3 componentes com ampliação de 100X	39
<b>Figura 31:</b> 1-papel virgem com ampliação de 40X, 2-pepel virgem com ampliação de 100X	39

## 8. INDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1:</b> Planeamento de mistura para três (3) componentes. ....	28
<b>Tabela 2:</b> Tabela do cálculo da gramagem.....	1
<b>Tabela 3:</b> Tabela do cálculo do pH. ....	2
<b>Tabela 4:</b> Tabela do cálculo da Humidade. ....	3
<b>Tabela 5:</b> Cálculo da espessura. ....	4
<b>Tabela 6:</b> Cálculo da densidade e índice de mão. ....	6

## 1. INTRODUÇÃO

As preocupações com os impactos ambientais provocados pelo processo de fabrico e descarte dos resíduos de papel têm tido uma evolução significativa, pois a maior parte da informação impressa tem como suporte o papel e suas diversificadas aplicações fazem parte do nosso quotidiano. Considerando a crescente atenção dada à essa problemática em Moçambique, iniciaram-se em 2006 (em Maputo), as primeiras actividades de valorização dos resíduos sólidos, dentre eles o plástico, o vidro, o papel, o metal e o resíduo orgânico vegetal. Alguns anos mais tarde, estas actividades levaram à criação de centros para tratamento e valorização de resíduos sólidos, oferecendo oportunidade de trabalho, aumento do rendimento e de sensibilização ambiental (RIBEIRO & BUQUE, 2013).

### 1.1. PROBLEMA

O uso excessivo do papel e o seu mau descarte, tem se tornando um problema pois contribui para um grande acúmulo de resíduos de papel nas lixeiras e aterros sanitários sem nenhum tratamento prévio. Estas inquietações não são apenas verificadas no descarte, mas também no seu processo de produção, visto que não são adoptadas práticas sustentáveis na produção de papel virgem devido a grande quantidade de árvores necessárias, água, energia e que no final também trazem impactos ambientais negativos.

O desenvolvimento socioeconómico, sistemas tecnológicos e informáticos e das telecomunicações demandam o uso do papel, embora no futuro próximo seja possível reduzir o seu uso devido ao emprego de novas tecnologias e digitalização de dados. O correio electrónico, facturação electrónica e arquivos em discos de armazenamento de dados, são algumas das funcionalidades de um novo mundo, mais simples, rápido e eficaz. Portanto, tem revelado, alguns problemas de segurança, de autenticidade e confidencialidade das informações recebidas ou enviadas.

### 1.2. JUSTIFICATIVA

A celulose virgem obtida da madeira (geralmente eucalipto) é a matéria-prima utilizada no processo do fabrico de papel, mas também podem ser usados resíduos de papel para ser reciclado. A reutilização de resíduos de papel como matéria-prima na produção de papel reciclado e novos produtos de papel configura um ciclo

fechado de alta eficiência energética e minimização do impacto ambiental. A produção de papel reciclado demanda significativamente menos energia do que a produção a partir da celulose virgem, proveniente do eucalipto, devido à menor necessidade de processos energeticamente intensivos como desfibramento químico e branqueamento. Essa prática promove a economia de recursos hídricos, pois o processo de reciclagem de papel exige menos água do que a produção a partir da celulose virgem, contribuindo para a preservação desse bem cada vez mais escasso em diversas regiões do planeta. Além disso, a menor utilização de energia e recursos naturais na produção de papel reciclado leva à redução da emissão de gases poluentes na atmosfera, combatendo as mudanças climáticas. Adicionalmente, a reciclagem do papel pode dar um novo destino aos resíduos de papel, minimizando o impacto ambiental nas lixeiras e aterros sanitários e prolongando sua vida útil.

Neste contexto foi desenvolvido o presente trabalho que consiste em produzir papel reciclado a partir de resíduos de papel e analisar as propriedades físico-químicas, mecânicas e ópticas, bem como, identificar a composição da mistura ótima para os papéis produzidos.

### 1.3. OBJECTIVOS

Os objectivos do presente trabalho estão organizados de seguinte forma:

#### 1.3.1. Objectivo Geral

O presente trabalho tem como objectivo geral avaliar o papel reciclado produzido a partir de resíduos de papel.

#### 1.3.2. Objectivos Específicos

Para a alcançar o objectivo geral, foram definidos os seguintes objectivos específicos:

- ✓ Identificar a composição da mistura ótima para os papéis produzidos;
- ✓ Analisar as propriedades físico-químicas, mecânicas e ópticas do papel produzido;
- ✓ Verificar a pureza do papel reciclado produzido.

#### 1.4. METODOLOGIA

Com vista a alcançar os objectivos definidos, a realização deste trabalho obedeceu a seguinte metodologia:

##### Pesquisa bibliográfica

Esta fase consistiu em fazer a recolha e revisão literária de modo a obter informações relacionadas com a produção do papel, reciclagem e reutilização de resíduos de papel para produzir papel reciclado.

##### Parte experimental

Para além da bibliografia consultada, foi necessário recolher os resíduos de papel e posteriormente determinar as quantidades dos resíduos a ser usado e da água, produzir o papel reciclado e fazer posteriores ensaios das propriedades físico-químicas, mecânicas e ópticas;

##### Análise, tratamento e discussão de resultados

Após a obtenção dos dados necessários para elaboração do trabalho, os mesmos foram analisados e tratados, que por fim foram apresentados e discutidos os resultados.

##### Elaboração do Relatório

Com base na revisão bibliográfica e nos resultados obtidos no processo de produção, análise e cálculos feitos correlação ao papel reciclado, foi por fim elaborado o relatório e também usado o *software Statistica 8* como ferramenta de tratamento computacional de dados.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

### **2.1. DEFINIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO PAPEL**

Desde os tempos mais remotos, o homem utilizou diferentes materiais para registrar a sua história. Os primeiros suportes empregados foram as cascas e folhas de algumas plantas, rochas e argila, além de peles e ossos de animais. Placas de madeira, recobertas ou não por uma fina camada de cera, e placas de metais como o bronze e o Chumbo (Pb) também foram utilizadas para os mais variados fins (SANTOS, DOS REIS, MOREIRA, & BRASILEIRO, 2001).

A utilização do papel como suporte para a escrita ocorreu inicialmente na China, no ano 105 d.C., e a tecnologia de sua fabricação foi mantida em segredo por muitos séculos. Com o início da expansão para o ocidente em 751, quando prisioneiros chineses introduziram, na Ásia Central, a indústria do papel. Daí em diante, o uso do papel foi cada vez mais disseminado. Na Europa, a primeira fábrica de papel surgiu na Espanha em 1144 e, ao final do século XVI, o papel já era manufacturado em todo o continente europeu (RUFATO & DE ALMEIDA, 2016).

A fabricação do papel era, até fins do século XVIII, essencialmente manual. A primeira máquina surgiu somente em 1798, na França (SANTOS, DOS REIS, MOREIRA, & BRASILEIRO, 2001).

O papel é um aglomerado de fibras celulósicas. Estas fibras, possuem tamanhos diferentes, entrelaçadas entre si e prensadas, oferecendo uma superfície adequada para escrever, colar e imprimir. A qualidade do papel é uma consequência da natureza das fibras, que, por sua vez, variam conforme a origem do vegetal que lhes deu origem, diferenciando na forma estrutural, na pureza e tamanho (SAAD, 2018) apud (ROBERT, 2007).

### **2.2. TIPOS DE PAPEL**

De um modo geral, o papel tem múltiplas aplicações, que incluem o papel para a impressão e papel para escrever (cadernos, folhas avulsas, cartões de datas comemorativas), compõe embalagens de alimentos, remédios, roupas e dezenas de outros produtos e é utilizado, também, para fins sanitários. Tem ainda utilidades

especiais, como é o caso dos selos, do papel-moeda e dos filtros de café e motores dos automóveis, entre tantos outros (GRIGOLETTO, 2011).

Os papéis podem ser classificados em função do uso, processo de fabrico ou em função das matérias-primas (FERREIRA, SILVA, SILVA, & MACHADO).

### **2.2.1. Quanto ao uso**

Quanto ao uso os papéis podem ser (FERREIRA, SILVA, SILVA, & MACHADO) (SAAD, 2018):

- ✓ Os papéis para impressão e escrita são papéis de uso diário, comumente utilizados em escolas e escritórios (GRIGOLETTO, 2011).
- ✓ Cartolinas – são usadas, principalmente, para embalagens de creme dental, perfumes, caixas de alimentos em geral, caixa do leite, entre outros.
- ✓ Papéis jornal – são papéis em que são impressos os jornais que circulam diariamente em todo o país.
- ✓ Papéis sanitários – são usados nas casas de banhos e cozinhas. São exemplos: papel higiênico, guardanapos, toalhas absorventes, papéis descartáveis.
- ✓ Papéis de embrulho – são papéis usados nas embalagens de pacotes, em geral, no comércio, etc.
- ✓ Papéis ondulados ou papelão – são usados na fabricação de caixas, com que se embalam electrodomésticos em geral, frutas, vinhos, etc.
- ✓ Outros papéis - são os papéis especiais como papel carbono, papel vegetal, papel-moeda, etc.

### **2.2.2. Quanto ao processo de fabrico**

Quanto ao processo de fabrico, os papéis podem ser (FERREIRA, SILVA, SILVA, & MACHADO):

- ✓ Kraft – fabricado a partir de celulose de fibras longas. Geralmente, são prensados e calandrados, a fim de conferir regularidade e brilho nas faces.
- ✓ Offset, crus ou branqueados – são papéis muito acetinados, fabricados com uma percentagem elevada de pasta química.
- ✓ Papéis com tratamentos especiais – são papéis, que podem ser parafinados, revestidos com Polietileno, Alumínio, etc.

- ✓ Couchés—são papéis revestidos por uma camada de carbonato de cálcio, caulino, látex entre outros aditivos. Em outras palavras, o papel couché é revestido com banho couché, que garante que ele tenha uma superfície lisa, branca, brilhante e até mesmo um aspecto uniforme em toda espessura do papel (ARAÚJO, 2022).
- ✓ Autocopiativos – são aqueles que se aplicam micro cápsulas, contendo corantes no seu interior, que conferem ao papel a propriedade de poder colorir outros papéis que entram em contacto com as micro cápsulas.
- ✓ Térmicos – papéis revestidos com pigmentos sensíveis ao calor, os quais conferem-lhes a propriedade de impressão, quando colocado em contacto com uma fonte de calor.

### **2.2.3. Quanto a matéria-prima**

Quanto a matéria-prima os papéis podem ser:

- ✓ Fibras virgens – obtém-se directamente da madeira, através de tratamento com processos químicos.
- ✓ Fibras recuperadas – obtém-se a partir de papéis que foram utilizados, anteriormente, para algum outro uso.
- ✓ Outras fibras vegetais—são papéis nos quais se utilizam outros tipos de fibras não provenientes da madeira, como o linho, o algodão ou o cânhamo.
- ✓ Papéis sintéticos—são papéis criados a partir de fibras sintéticas ou de processos de tratamento químico industrial.

### **2.3. PROPRIEDADES DO PAPEL**

São as propriedades de cada papel que o define, e permite agrupar de acordo com a técnica de impressão e aplicação para a qual é mais indicado. A matéria-prima, o processo de fabrico e as cargas e aditivos incluídos são os principais responsáveis pelas diferenças nas propriedades e características ópticas, estruturais, mecânicas, físico-químicas do papel que torna-o versátil com uma ampla gama de aplicações (DIOGO, 2012).

Uma das formas de classificar as propriedades do papel é fazê-lo segundo cinco categorias, descritas de forma detalhada a seguir (DIOGO, 2012).

### **2.3.1. Propriedades estruturais da matriz**

As propriedades estruturais da matriz dos papéis são: a gramagem, espessura, densidade aparente, índice de mão e porosidade.

#### **2.3.1.1. Gramagem**

A gramagem é uma das principais propriedades estruturais da matriz do papel, pois influencia directamente as características mecânicas, a espessura e a opacidade do papel. É uma das características mais determinantes para a sua aplicação, uma vez que condiciona os acabamentos possíveis e o tipo de impressão a utilizar. Papéis com maior gramagem geralmente possuem maior resistência mecânica, espessura e menor transparência, sendo mais adequados para aplicações como impressão de livros, revistas e embalagens.

Deste modo, a gramagem é uma propriedade essencial do papel, pois influencia directamente suas características físicas e, conseqüentemente, sua adequação a diferentes finalidades no mercado.

A gramagem do papel é determinada principalmente pela quantidade de polpa celulósica depositada na tela formadora durante o processo de fabricação. Geralmente a distribuição da gramagem não é uniforme, pois diversos parâmetros do processo, como velocidade da teia, drenagem, distribuição da pasta, entre outros, podem influenciar a quantidade de material depositado por unidade de área. Esta propriedade que resulta directamente da quantidade de polpa celulósica lançada na teia durante a formação da folha, embora a uniformidade dessa propriedade possa ser afectada pela complexidade de controle das variáveis envolvidas no processo de fabricação (DIOGO, 2012).

A unidade de medida da gramagem do papel é expressa em gramas ( $\text{g}/\text{m}^2$ ), ou seja, é o resultado da divisão da massa de uma amostra de papel ou cartão pela respectiva área (ISO 536, 2012).

$$G = \frac{m}{A}$$

Onde:

G – Gramagem ( $\text{g}/\text{m}^2$ );

m – Massa (g);

A – Área (m<sup>2</sup>).

Quando se analisa os aspectos económicos do produto impresso a importância da gramagem aumenta, visto que o papel é comercializado por peso e o produto impresso por área impressa (SINGH & RAO , 1991).

Assim, a gramagem do papel utilizado tem impacto directo no custo do produto impresso. Papéis com maior gramagem resultarão em um maior peso do material, o que se traduz em um custo mais elevado por unidade de área impressa. Por outro lado, papéis com gramagem mais baixa proporcionarão um menor custo por área impressa, embora possam ter implicações em outras propriedades relevantes, como resistência mecânica, opacidade e espessura.

### **2.3.1.2. Espessura**

A espessura ou massa volumétrica de uma folha simples é a distância entre as duas faces do papel ou cartão e é determinada através de uma carga estática (ISO 534, 2011), nas condições do processo de ensaio normalizado, 100 kPa de pressão e 200 mm<sup>2</sup> de área.

A espessura do papel e suas variações têm considerável importância durante as fases de fabricação e impressão. Visto que o papel é compressível, a avaliação da espessura deve ser feita com micrómetros especiais, ou com espessímetros (SINGH & RAO , 1991).

### **2.3.1.3. Densidade aparente**

A densidade aparente (bulk), representada por  $D_{\text{Aparente}}$ , é a massa por unidade de volume de papel (ISO 534, 2011). A sua unidade de medida é g/mL ou g/cm<sup>3</sup>.

$$D_{\text{Aparente}} = \frac{m}{V}$$

Onde:

$D_{\text{Aparente}}$  – Densidade Aparente (g/cm<sup>3</sup>);

m – Massa (g);

V – Volume (cm<sup>3</sup>).

Quanto maior o volume de vazios contido no interior do papel, menor a densidade aparente, pois são grandezas inversamente proporcionais. Quanto maior o nível de calandragem do papel, maior a sua densidade aparente. A densidade aparente afecta as propriedades mecânicas, físico-químicas, ópticas e eléctricas do papel, como por exemplo a resistência mecânica, permeabilidade, opacidade e condutividade eléctrica (SINGH & RAO , 1991).

#### **2.3.1.4. Índice de mão**

O volume específico do papel, usualmente designado por Índice de Mão, é uma das propriedades mais utilizadas para caracterizar o papel, porque é facilmente relacionável não só com a estrutura macroscópica da folha e a correspondente qualidade percebida sensorialmente como ainda com um grande conjunto de outras propriedades estruturais e também ópticas e de resistência mecânica. Por este facto, é uma propriedade diferenciada e decisiva na avaliação do potencial papelero das pastas e da qualidade dos papéis, pelo que a sua determinação faz parte de todos os planos de inspecção e ensaio nas fábricas de pasta e de papel (BITTENCOURT, 2004).

O índice de mão é dado como volume por unidade de massa ou peso de papel. É expresso em cm<sup>3</sup> /g (ISO 534, 2011).

$$I_{m\tilde{a}o} = \frac{V}{m} \quad \text{ou} \quad I_{m\tilde{a}o} = \frac{1}{D_{Aparente}}$$

Onde:

$I_{m\tilde{a}o}$  – Índice de mão (cm<sup>3</sup>/g);

m – Massa (g);

V – Volume (cm<sup>3</sup>).

#### **2.3.1.5. Porosidade**

A porosidade (permeabilidade ao ar) mede a resistência do papel à passagem do ar e quantifica-se através da medição do fluxo de ar que passa por uma determinada área de uma folha de papel (T 547 om-02, 2002).

Segundo (SINGH & RAO , 1991), o papel é um material altamente poroso comparado a outros tipos de materiais, como os plásticos e os metais. As fibras, ligantes, cargas minerais e camada ocupam apenas parte do volume total. O volume de ar restante ocupa cerca de 60% a 70% do volume total no caso de papéis do tipo didáctico e, cerca de 15% a 35% no caso de papéis mais densos.

O grau de porosidade do papel depende do modo como é fabricado. Papel constituído apenas de fibras longas é mais poroso do que papel que contém apenas fibras curtas, visto que as fibras curtas são mais compactadas sob as mesmas condições de fabricação.

A medição da porosidade é utilizada para prever a capacidade de absorção do papel à tintas ou colas. A baixa porosidade pode causar problemas na laminação ou rotulagem de papéis, por não permitir a penetração suficiente da quantidade de cola desejável, enquanto a elevada porosidade ou porosidade variável, em papéis com peso baixo, pode causar dificuldades na alimentação e transporte do papel durante o processo de impressão (DIOGO, 2012).

### **2.3.2. Propriedades estruturais da superfície**

As propriedades estruturais da superfície dos papéis podem ser: a rugosidade, lisura e coesão superficial.

A rugosidade afecta a aparência e a qualidade de impressão de um papel. Quanto maior for a rugosidade mais irregular é a superfície do papel (DIOGO, 2012).

Segundo (SINGH & RAO , 1991), a lisura ou nivelamento superficial do papel, afecta tanto as suas propriedades funcionais quanto as propriedades de aparência. A preparação da massa e o modo como as fibras são dispersas aquando da formação do papel sobre a tela tem grande influência sobre a lisura, sendo que a lisura diminui quando a gramagem do papel aumenta.

A coesão superficial é a resistência da superfície de um determinado papel aos processos de impressão deforma a libertar ou não partículas, que em caso de impressão, afecta a homogeneidade da impressão. A coesão superficial esta relacionada com a aplicação de uma camada de componente, que pode ser amido,

álcool polivinílico, alginato de sódio, carboximetilcelulose, gelatinas ou cola. Essa aplicação pode aumentar a ligação entre as fibras pelo preenchimento de poros e espaços vazios, conferindo maior resistência mecânica superficial e aumentando a resistência à penetração de água (FARDIM, 2002).

### **2.3.3. Propriedades ópticas**

As propriedades ópticas dos papéis podem ser: brancura, tonalidade, opacidade e microscopia, luminescência e brilho.

O papel branco proporciona maior contraste com tinta preta do que papéis coloridos. A brancura significa a propriedade de reflectir por igual os comprimentos de onda dominantes do espectro visível (SINGH & RAO , 1991).

Segundo (DIOGO, 2012) a brancura é uma das características do papel com maior influência na qualidade de impressão, pois quanto mais branco for o papel, maior será a fidelidade das cores impressas.

Entende-se por luminescência a “reflexão” de luz de uma folha quando submetida a uma fonte de luz incidente. Relaciona a intensidade do feixe de luz incidente com a do feixe de luz dispersa pelos fenómenos de reflexão, refração e difracção.

O brilho é o atributo do papel que o torna reluzente ou lustroso. Conforme a superfície do papel se aproxima do nivelamento óptico, por meio de calandragem ou outro tratamento superficial, os raios de luz incidentes são reflectidos como raios paralelos, como acontece num espelho (SINGH & RAO , 1991).

#### **2.3.3.1. Tonalidade**

A tonalidade é a “cor” de um papel. Essa cor é percebida ao nível do cérebro do observador à luz emitida por uma folha de papel. Esta característica está directamente relacionada com a brancura.

Para a pureza, não são desejados papéis fortemente coloridos, porque estas cores resultam da aplicação de corantes químicos e cor natural das fibras de celulose puras é um amarelo pálido (ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DE TOMAR, 2008).

### **2.3.3.2. Opacidade e Microscopia**

A opacidade limita a quantidade de luz que atravessa um papel (TAPPI T519, 2006). A opacidade é a medida da obstrução da luz pelo papel. Quando a luz incide no papel, parte é reflectida, parte é absorvida e parte é transmitida através da folha. O papel pode transmitir a luz de duas maneiras: como raios paralelos, que não sofrem difusão, ou na forma de raios dispersos ou difusos. A transmitância total de luz (paralela + difusa) determina a opacidade do papel (SINGH & RAO , 1991).

O grau de opacidade depende de diversas propriedades do papel: composição fibrosa e não-fibrosa, alvura, tonalidade, gramagem, espessura etc.

Papéis com baixa opacidade apresentam problemas de legibilidade de textos e de alterações de cores nas imagens coincidentes na frente e verso de uma folha. A opacidade é expressa em percentagem. É determinada pela seguinte equação, a seguir (TAPPI T519, 2006):

$$Opacidade = \frac{Y_0}{Y_\infty}$$

Onde:

$Y_0$  – Factor de reflectância de uma única folha contra um fundo negro;

$Y_\infty$  – Factor de reflectância de um conjunto de folhas opacas.

É obtida a luz reflectida de uma superfície assumindo que a luz absorvida é a diferença entre a luz reflectida e a luz que o densitómetro mede.

### **2.3.4. Propriedades mecânicas**

As propriedades mecânicas dos papéis podem ser: resistência e rigidez à tracção, ao rasgo, à compressão, ao alongamento e ao encurvamento.

A resistência à tracção indica a força máxima suportada por unidade de largura de um papel ou cartão antes da ruptura, nas condições definidas para o ensaio (ISO 1924-2, 2008).

A rigidez tem relação com a gramagem do papel. Entretanto, as quebras de bobina estão muito mais associadas à resistência ao rasgo do que à rigidez. A rigidez corresponde à máxima tensão que o papel suporta, sob condições determinadas, antes de romper (SINGH & RAO , 1991).

A rigidez à tracção é a medida de força necessária para dobrar um papel num determinado ângulo (ISO 2493-2, 2020). Um papel com baixa rigidez provoca problemas nos sistemas de alimentação das máquinas de impressão, por outro lado níveis de rigidez altos dificultam ou impossibilitam a passagem dos papéis nos sistemas rotativos de impressão ou de acabamento (DIOGO, 2012).

A resistência ao rasgo é a capacidade que um papel tem de resistir quando é submetido a uma força que o pode rasgar. O papel tem maior resistência ao rasgo na direcção perpendicular às fibras (SINGH & RAO , 1991).

As fibras mais longas aumentam a resistência de um papel porque tendem a distribuir a pressão, as fibras curtas permitem uma maior concentração da força numa área menor. A unidade de medida é o mNm (ISO 1974, 2012).

A resistência à compressão compreende a pressão máxima, exercida na vertical, suportada por uma amostra de papel. Esta propriedade é determinante na produção de embalagens. É avaliada a performance de resistência do papel ou cartão, através do empilhamento das embalagens para armazenamento, transporte ou exposição no ponto de venda.

A resistência ao alongamento é a quantidade de distorção que um papel sofre sobre tensão de tracção, que é geralmente maior na direcção transversal da máquina de impressão.

O encurvamento é causado pela expansão ou contracção desigual dos dois lados de uma folha quando absorve ou perde água/humidade, ou quando é sujeita a tensões e pressões desiguais entre os topos.

### **2.3.5. Propriedades físico-químicas**

As propriedades físico-químicas dos papéis podem ser: conteúdo em cargas e/ou aditivos, humidade e pH.

No processo de fabrico de um papel são adicionadas cargas minerais como o caulino (silicatos hidratados de alumínio),  $Mg_3Si_4O_{10}$ ,  $TiO_2$ ,  $MgCO_3$ ,  $CaCO_3$ ,  $CaSO_4$ ,  $Si_2Al_2O_5(OH)_4$ ,  $ZnSO_4$ , entre outros, com o intuito de aumentar a opacidade e a lisura, estabilizar a brancura, controlar a porosidade/absorção de líquidos, melhorando as características da sua superfície e de resistência mecânicas. No

entanto, as cargas em excesso diminuem as resistências mecânicas do papel. É necessário que as cargas adicionadas sejam brancas e quimicamente inertes (DIOGO, 2012) (SINGH & RAO , 1991).

#### **2.3.5.1. Humidade**

O teor de humidade do papel, assim como o vapor da água ao qual está exposto, afecta suas propriedades eléctricas, mecânicas, superficiais e, principalmente, sua estabilidade dimensional (SINGH & RAO , 1991).

O teor de humidade de um papel ou cartão depende das condições de secagem durante o fabrico, de armazenamento e de utilização. Manter uniformes os perfis de humidade é um requisito essencial para garantir uma boa impressão.

A alteração do teor de humidade no papel influencia nas propriedades mecânicas, como a resistência ao rasgo, à tracção, à dupla dobra, ao encurvamento, etc. e altera ainda a estabilidade dimensional e a receptividade à tinta. A humidade normalmente situa-se entre 4-10% e é expressa em percentagem (DIOGO, 2012).

#### **2.3.5.2. pH**

Segundo (SINGH & RAO , 1991), o termo pH é frequentemente usado nas indústrias de papel e de impressão. É a abreviação ou símbolo químico de potencial de iões hidrogénio ( $H^+$ ). Quando uma substância ácida é dissolvida em água, ocorre a libertação em excesso de iões hidrogénio e a solução torna-se ácida. Do mesmo modo, quando uma substância alcalina é dissolvida em água, ocorre a libertação em excesso de iões hidroxilo ( $OH^-$ ) e a solução torna-se alcalina. A escala de valores de pH varia de 0 a 14.

A acidez ou alcalinidade de um papel ou de uma solução aquosa pode ser medida pela escala de pH. O valor do pH de superfície de um papel pode ser obtido através da leitura de uma fita de papel universal (papel de tornesol) pressionada sobre a superfície do mesmo, numa área previamente molhada com água destilada.

Quando o pH de uma solução é 7, as concentrações de iões hidroxilo e hidrogénio são iguais e a solução é quimicamente neutra (nem ácida, nem alcalina).

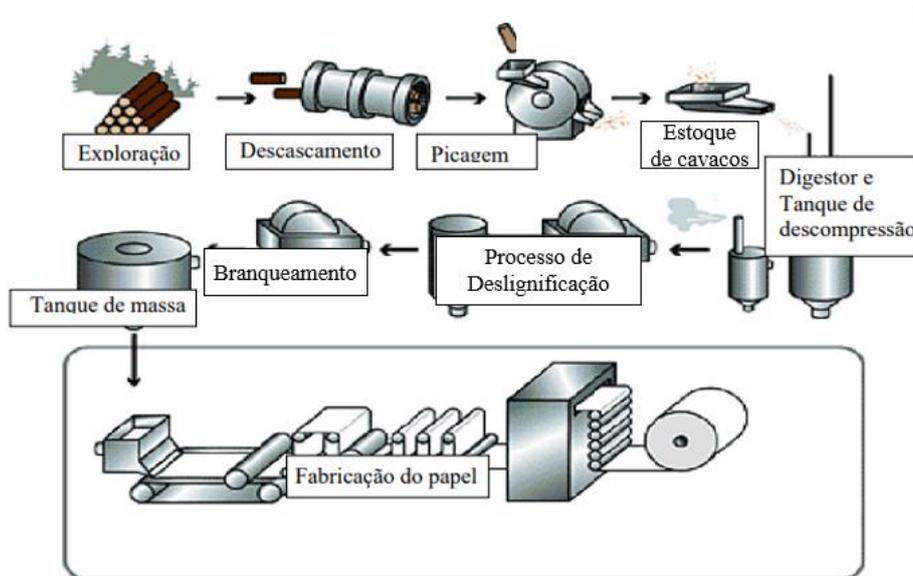
Quando o pH da solução é menor do que 7, existe maior concentração de iões hidrogénio, portanto a solução é ácida (SINGH & RAO , 1991).

Um pH ácido acelera o envelhecimento de um papel, que torna-se amarelo e as suas fibras auto degradam-se mais rápido. No processo de impressão, um pH ácido retarda a secagem das tintas, o mesmo se verificando com valores baixos (< 4,5) de pH da solução (DIOGO, 2012).

#### 2.4. FABRICAÇÃO DO PAPEL

A indústria de Papel sofreu uma mudança drástica quando o operário francês, Louis Nicolas Robert, em 1799, inventou a máquina de papel contínua, possibilitando uma folha de papel com comprimento infinito. As máquinas de papel modernas, são descendentes da máquina criada pelo francês (FERRARI, 2020).

A maioria das empresas produtoras de celulose geralmente possuem suas próprias reservas florestais, o que permite-lhes controlar o crescimento das árvores e a produção. Quando atingem o ponto de maturação são cortadas e levadas aos pátios das fábricas. Conforme a Figura 1, as toras são levadas para o descascador, e segue para o picador de onde saem pequenos pedaços chamados cavacos. Estes são levados para o digestor onde com o calor e a acção de produtos químicos vão se transformar em uma pasta celulósica de cor escura que é submetida ao processo de deslignificação e branqueamento, utilizando o cloro ou peróxido que são compostos químicos altamente poluentes, até poder ser utilizada para a fabricação do papel. A celulose é prensada por cilindros para adquirir forma de papel e depois enrolados em grandes bobinas que são levadas para a linha de produção é cortado em variados formatos (DOS SANTOS, ALVES, PAIVA, & NUNES , 2010) (FERRARI, 2020) (SINGH & RAO , 1991).



**Figura 1:** Processo de Fabricação transformação da madeira para o papel comum.

Fonte: (DOS SANTOS, ALVES, PAIVA, & NUNES , 2010). Adaptado

O processo de fabricação do papel pode ser descrito através da Figura 2, onde em, primeiro, aplica-se a polpa em uma tela, isso é chamado de conformação. Em seguida, a polpa necessita de ser desidratada, e pode ser feito em duas etapas, através da drenagem e prensagem. Na etapa de drenagem, a água é removida por gravidade ou diferença de pressão da coluna de água. A desidratação adicional é feita no processo de prensagem, onde a água é espremida por pressão. Finalmente, a folha de fibra é seca ao ar ou sobre uma superfície quente. O diagrama do processo de fabricação de papel é ilustrado abaixo (VALDIMARSDÓTTIR, 2021) (GLEB , 2019).

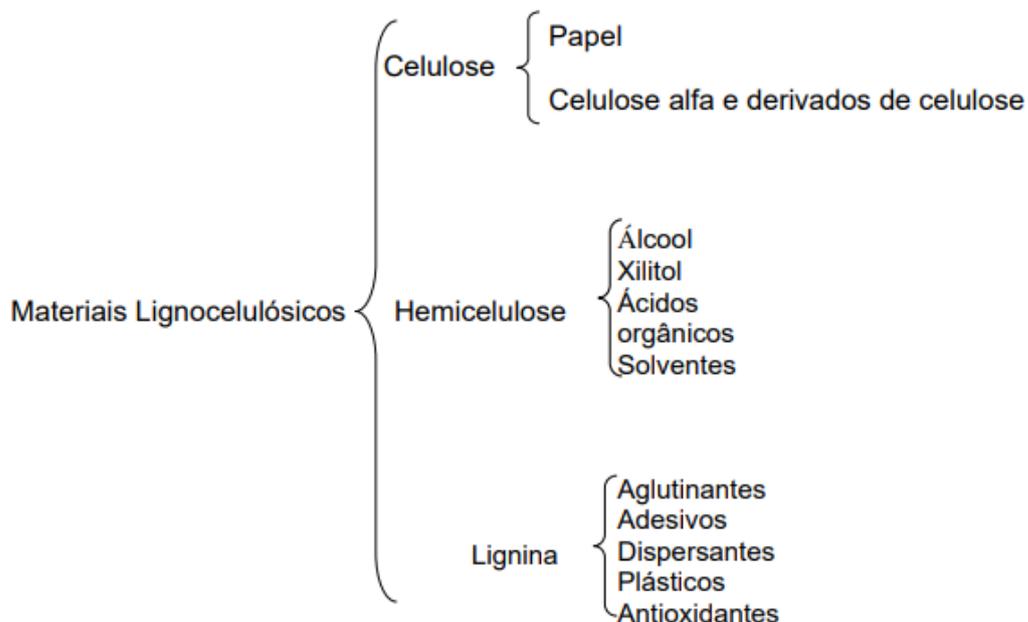


**Figura 2:** Processo resumido de fabricação do papel. Fonte: (VALDIMARSDÓTTIR, 2021) (GLEB , 2019). Adaptado

### 2.4.1. Matéria-prima para o papel

A celulose é um polímero linear de glicose de alta massa molecular formado de ligações  $\beta$  1,4 glicosídicas, insolúvel em água, sendo o principal componente, da parede celular da biomassa vegetal.

Uma molécula de celulose pode ter áreas com configuração ordenada, rígida e inflexível em sua estrutura (celulose cristalina) e outras áreas de estruturas flexíveis (celulose amorfa). Essas diferenças são responsáveis por algumas variações de comportamento físico, que podem ser observadas, em uma molécula de celulose. Por exemplo, absorção de água e inchamento de uma molécula de celulose é limitada as regiões amorfas da molécula. A forte rede de ligações de hidrogénio das regiões cristalinas impede a ocorrência do processo de inchamento nessas áreas. Independentemente do uso desses materiais é necessário um processamento preliminar para separar as três fracções lignocelulósicas, em particular a lignina, que pode ser considerada como uma barreira física, tornando as fibras desses materiais cimentadas entre si (DE CASTRO , 2009).



Na fabricação de papel, a presença de certa quantidade de hemicelulose é importante pois contribui para a coesão entre as fibras de celulose, resultando em um papel mais resistente as forças compressivas. Porém, essas quantidades são indesejáveis na fabricação de derivados de celulose, pois constitui impureza, dificultando o processamento da celulose e conferindo menor resistência aos derivados de celulose (KAMIDE, 2005).

#### **2.4.2. Processo de reciclagem de papel**

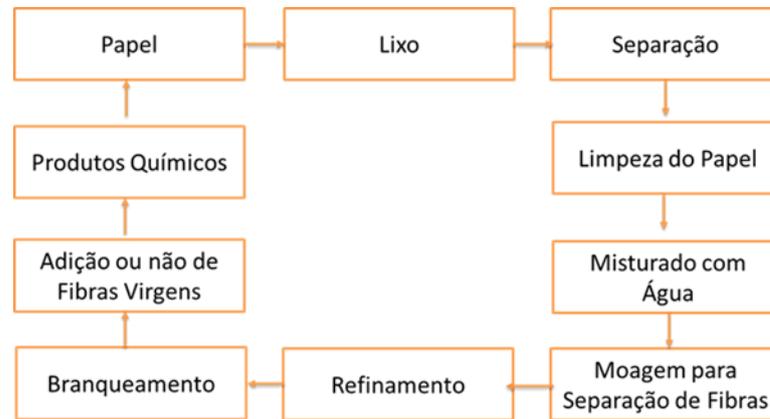
A reciclagem do papel é um procedimento que permite recuperar as fibras celulósicas do papel velho e incorporá-las na fabricação de novo papel. Não é um processo isento da produção de resíduos, mas pode minimizar os problemas relacionados com a produção de matéria-prima e com a deposição do papel velho (GRIGOLETTO, 2011).

De um modo geral, reciclar papel tem menos gastos em relação a produzir papel virgem. Ao reciclar o papel, a demanda por madeira diminui, reduzindo o número total de árvores cortadas para a fabricação de papel. Também reduz os resíduos sólidos que teriam como fim as lixeiras, aterros ou à incineração. A análise do ciclo de vida mostrou que é necessária muito menos energia para o processo de reciclagem de papel do que para o processo de papel virgem, mesmo que a energia usada para colectar, transportar e processar seja contabilizada. De acordo com a (SOUTHERN CALIFORNIA SHREDDING, 2013), a produção de o papel reciclado consome 31% menos energia do que a produção de papel virgem.

Entretanto, existem alguns efeitos negativos da reciclagem. Por exemplo, o processo de destintagem da reciclagem de papel requer produtos químicos que variam de detergentes a produtos químicos cáusticos, como o cloro. Outro exemplo, após a remoção de todos os contaminantes como tinta, a reciclagem deixa para trás um lodo que deve ser enviado para aterros sanitários. Apesar dos efeitos negativos da reciclagem de papel, é sempre uma opção melhor, uma vez que os efeitos positivos superam os negativos (BAJPAI, 2013). Alguns estudos mostraram que as fibras de papel só podem ser recicladas de 4 a 7 vezes (VALDIMARSDÓTTIR, 2021).

O papel descartado em residências, empresas, indústrias e outros, a partir de uma transformação pode vir a ser de grande valia, tal e qual o valor do papel comum fabricado. Pois, devido à escassez de matéria-prima e com as exigências das políticas públicas de reflorestamento, abriu-se precedente para surgimento da reciclagem de papel descartado. Esta actividade de reciclagem vem para diminuir a grande concentração de lixo nos aterros sanitários e bem como benefícios para a sociedade, tais como: a diminuição do consumo de água e energia, os aterros

sanitários, agressão ao solo, impacto ambiental (DOS SANTOS, ALVES, PAIVA, & NUNES , 2010). O fluxograma referente ao processo de reciclagem é representado através da Figura 3.



**Figura 3:** Processo da reciclagem do papel (DOS SANTOS, ALVES, PAIVA, & NUNES , 2010). Adaptado

Comparação de processo de Produção do papel virgem frente ao papel reciclado

Segundo (FARIAS , 2013), o processo de produção de papel reciclado a partir de resíduos de papel possui diversas vantagens, uma vez que ocorre a redução de custos e de impactos ambientais. Essas vantagens podem ser descritas através de:

- ✓ Madeira – 1 ton de resíduos de papel pode substituir de 2 a 4 m<sup>3</sup> de madeira, conforme o tipo de papel a ser fabricado, o que se traduz em uma nova vida útil para de 15 a 30 árvores;
- ✓ Água– no processo de fabricação de 1 ton de papel reciclado são necessários apenas 2 m<sup>3</sup> de água, ao passo que, no processo tradicional, este volume pode chegar a 100 m<sup>3</sup>/ton;
- ✓ Energia – em média, economiza-se metade da energia, podendo-se chegar a 80% de economia quando se comparam papéis reciclados simples com papéis virgens;
- ✓ Redução da Poluição - teoricamente, as fábricas recicladoras podem funcionar sem impactos ambientais, pois a fase crítica é da produção de celulose, o qual já ocorreu no processo da produção do papel virgem;
- ✓ Criação de empregos– estima-se que, ao reciclar papéis, sejam criados cinco vezes mais empregos do que na produção do papel de celulose virgem e dez vezes mais empregos do que na colecta e no destino final de resíduos.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Para a produção de papel reciclado, foram necessários alguns materiais e equipamentos, bem como, a realização dos ensaios para aferir a qualidade dos papéis produzidos.

A escolha do tipo de papel a ser usado, consistiu em usar papéis presentes no nosso quotidiano e de fácil acesso, também para que tivesse uma melhor base de comparação no produto final, visto que somente com um único papel, as comparações seriam limitadas. Não foi só esse critério, mas também pelo facto de existirem papéis revestidos com plásticos, com algum respingo de gordura, papéis com algum excremento não poderem ser usados para a reciclagem, por conta dos aditivos lá presentes.

Apenas foram colectados os resíduos de papelão e papel A4 nalgumas reprografias, com confeitarias de bolos, colegas e aos arredores da Cidade de Maputo, uma vez que o autor do trabalho já possuía os resíduos da cartolina. A colecta foi feita durante 30 dias, e depois foram colectados e armazenados nos sacos plásticos/caixas e mais tarde foram classificados tendo em conta os três tipos de papéis.

#### **3.1. MATERIAIS**

Os materiais usados para a realização da experiência são apresentados e descritos a seguir.

##### **3.1.1. Resíduos de papel**

Os resíduos de papel usados para produzir papel reciclado foram: a cartolina, papelão e papel A4.

A cartolina foi obtida dos restos de cartolina usados nas actividades diárias do autor, uma vez que produz muito resíduo de cartolina e que não tinha outro destino além de ir a lixeira.

O papelão usado no presente trabalho foi obtido em lojas de venda de diversificados materiais domésticos e de caixas de ovos usado por algumas confeitarias, uma vez que é desperdiçado muito papelão, e não é dado o devido tratamento e destino apropriado.

O papel A4, como já dito anteriormente, é proveniente de algumas reprografias nas proximidades, uma vez que acumulam um grande volume resíduo de papel, pois nas suas actividades são descartadas impressões mal feitas e mais.

### 3.1.2. Equipamento para moagem

Para a moagem, foi usado um misturador de base de electrodomésticos para a moagem dos resíduos. A Figura 4 mostra o misturador usado, que foi a varinha mágica eléctrica e com auxílio de um recipiente de plástico, feito com garrafa de 5 litros cortada ao meio, por possuir uma base com lâminas que serve tanto para circular a pasta quanto para separar as fibras umas das outras.



**Figura 4:** Varinha mágica. Fonte: Autor

### 3.1.3. Caixilhos com rede e sem rede

O caixilho é um dos componentes mais importantes no processo de reciclagem de papel. Os caixilhos são imersos na polpa de papel e então erguidas verticalmente, a fim de capturar e reter as fibras na rede de malha. A espessura final da folha de papel é controlada principalmente pela concentração e densidade da polpa de papel, que dependendo da habilidade e técnica do operador ao erguer e retirar o quadro de molde da polpa, é possível obter uma espessura uniforme e consistente na folha de papel resultante.

Nesta fase foram utilizados dois caixilhos quadrados iguais de madeira que são mostrados na Figura 5. Um é usado como filtro e o outro deve ser compatível com o filtro pois ele é que dita ou dá formato ao papel. Assim, a rede de nylon é usado como filtro. Esta rede deve possuir poros finos de  $1\text{mm}^2$ , capazes de filtrar a água da polpa.



**Figura 5:**Caixilho com rede e sem rede de 20cmX20cm. Fonte: Autor

#### **3.1.4. Pincel do tipo rolo**

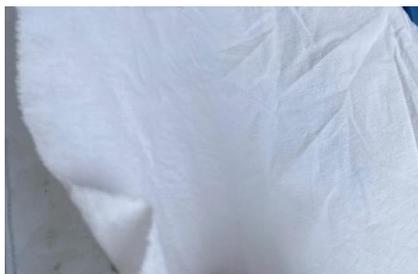
Para auxiliar na retirada do excesso de água contido da pasta de papel, foi usado este rolo esponjoso que esta patente na Figura 6, operado de forma manual reduzindo assim também o seu volume e nivelando a polpa.



**Figura 6:** Pincel tipo rolo usado como nivelador e para absorver água. Fonte: Autor

#### **3.1.5. Tecidos/Rede**

Foram usados dois tecidos com tamanho um pouco maior que o caixilho, esses tecidos foram usados como auxílio para movimentar o papel sem que ele se desfizesse e ajudasse no processo de secagem, como pode-se ver na Figura 7.



**Figura 7:** Tecido de algodão. Fonte: Autor

### 3.1.6. Água

A água foi colocada em um recipiente como ilustra a Figura 8. O recipiente deve ter dimensões ligeiramente maiores do que o tamanho dos caixilhos de moldagem utilizados, porém não excessivamente grande, a fim de evitar o desperdício desnecessário de água. Para cada produção de um determinado tipo de mistura, a quantidade de água usada para além dos 2.4L, foi de 10L de modo a facilitar e distribuição uniforme da mistura.



**Figura 8:** Recipiente de armazenamento de água. Fonte: Autor.

## 3.2. PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS

A configuração experimental acima é executada pelo seguinte procedimento.



**Figura 9:** Metodologia empregue para desenvolver os papéis reciclados. Fonte: Autor.

### 3.2.1. Colecta e Transporte

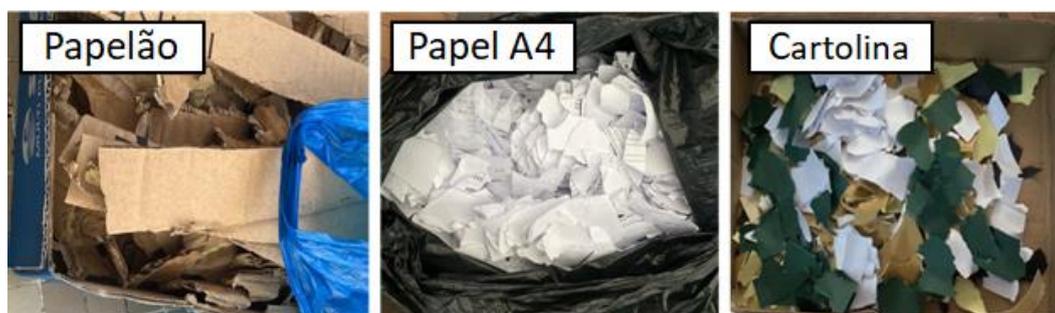
É a etapa principal na reciclagem de resíduos de papel. Nesta etapa, os papéis usados são colectados, transportados e submetidos a uma limpeza manual, com o objectivo de remover quaisquer impurezas como areia, poeira e grampos. Entretanto, tomou-se em consideração de apenas a colecta de papéis que não contenham contaminantes, tais como óleos e humidade excessiva. A Figura 10 mostra os resíduos de papel colectados e separados de acordo com a sua categoria.



**Figura 10:** Resíduos de papel colectados. Fonte: Autor.

### 3.2.2. Armazenar

Concluído o processo de colecta, estes são submetidos a um processo de corte manual, com o objectivo de reduzir sua granulometria e facilitar os processos subsequentes de reciclagem. Os resíduos cortados são então classificados de acordo com o tipo de papel, tais como papel A4, papelão e cartolina, e armazenados em recipientes separados, como mostra a Figura 11.



**Figura 11:** Resíduos de papel cortados manualmente. Fonte: Autor.

### 3.2.3. Despolpamento

Em seguida, com os papéis já cortados e reduzidos a pequenos pedaços, facilitando assim o processo subsequente de desagregação da fibra celulósica. Esses pedaços de papel cortados foram então submersos em água, conforme ilustrado na Figura 12, e deixados em repouso durante um período de 24 horas, de modo a alcançar a completa desagregação das fibras. A quantidade de papel usada foi de 60g para 2,4 litros de água.



**Figura 12:** Despolpamento das fibras de papel. Fonte: Autor.

### 3.2.4. Moagem

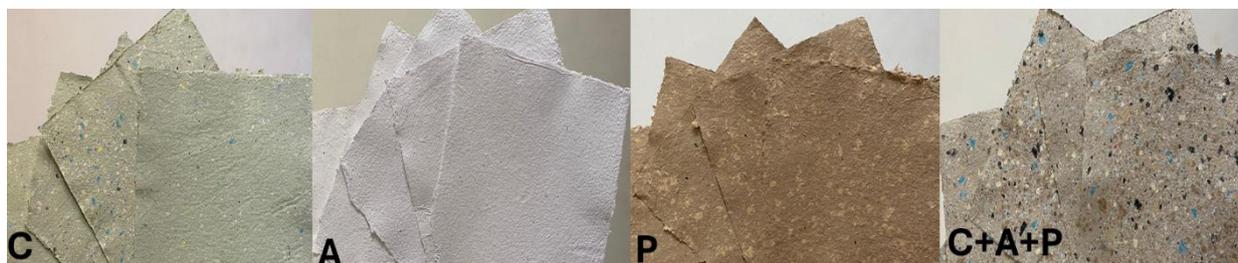
Após a submersão durante 24 horas, a mistura foi moída por um período de 2 minutos como mostra a Figura 13 e logo em seguida foi colocado no recipiente que continha água e misturado com a mão. Assim sendo, foram mergulhados os caixilhos para que a polpa ficasse ali contida e depois disso, a moldura é coberta por um tecido e virada. Lentamente a água no quadro é removida com a ajuda de um rolo esponjoso. Em seguida, a moldura é removida dando umas pequenas batidas com os dedos e o papel formado é colocado numa superfície plana para posterior secagem.



**Figura 13:** Processo de Moagem. Fonte: Autor.

### 3.2.5. Secagem

Após o processo anterior, o papel gruda no tecido até que uma elevada quantidade de água saia do papel para o mesmo tecido. Então o papel é seco à luz do sol por no mínimo 2 horas, que ajuda a remover a humidade restante. Após a secagem o papel é retirado do tecido lentamente e o papel está pronto, como pode-se ver o resultado após o processo na Figura 14.

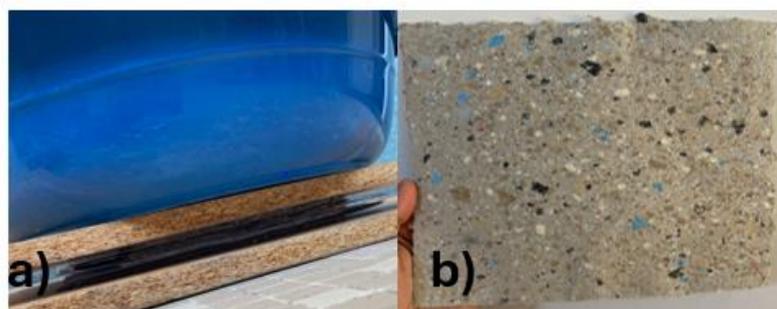


**Figura 14:** Papel retirado do tecido já seco, C-cartolina, A-papel A4, P-papelão, C+A+P-mistura dos 3 papéis. Fonte: Autor.

### 3.2.6. Prensagem

Após a secagem, observou-se que o papel reciclado apresentava algumas ondulações indesejadas na sua superfície, e para corrigir esse efeito e obter um acabamento plano, o papel foi submetido a um processo de prensagem. Nessa etapa, o papel foi colocado entre duas tábuas e, sobre elas, foram aplicados pesos adicionais, de modo a exercer uma pressão controlada sobre o papel durante um período de 2 dias.

Assim sendo a Figura 15 apresenta o processo de prensagem e pós prensagem.



**Figura 15:**a) Prensagem do papel, b) papel após prensagem. Fonte: Autor.

### 3.3. MÉTODOS

#### 3.3.1. Planeamento de misturas

A preparação das misturas usadas para a produção de papéis reciclados, foi realizado com base no planeamento de misturas. Sendo consideradas as misturas da cartolina, papelão e papel A4, e mantém-se constante a quantidade da água na proporção mássica de 2.44% (60g) de papel por 97.56% de água (2400g).

Segundo (FERNANDES & ESPINOSA, 2016) os valores de referência para a realização dos experimentos foram: 80 litros de água e 2,4 quilos de papel, determinados a partir das condições que a máquina oferece para se ter o escoamento da polpa mediante a altura das válvulas em relação ao fundo dos equipamentos. Porém, ao realizar o presente experimento, as quantidades gastas foram um pouco elevadas comparativamente as acima supracitadas, que convertendo deste experimento, temos 1 ton de papel para 40m<sup>3</sup> de água, enquanto que para (FERNANDES & ESPINOSA, 2016) convertendo foi usado 1 ton de papel para 33,33m<sup>3</sup> de água.

Essa diferença pode ser explicada através das condições operacionais, pois no processo artesanal é difícil controlar todas variáveis, comparativamente ao processo aplicado nas indústrias, pois tudo está padronizado, e não só, pelo facto de estar a procura a mistura óptima, a água não podia ser reutilizada noutras misturas, pois podia influenciar nos resultados finais, ao passo que, para (FERNANDES & ESPINOSA, 2016) a água em excesso contida na suspensão na caixa formadora é drenada e segue para o tanque de mistura de água e massa, e isso faz com que no processo se perca pouca água.

Foi planeada a utilização de uma proporção mássica fixa da água de 97.56% e 2.44% para a composição da mistura dos componentes. Desta forma, os componentes considerados são: cartolina (Variável **C**, equivalente a variável **X<sub>1</sub>**), papelão (Variável **P**, equivalente a variável **X<sub>2</sub>**) e Papel A4 (Variável **A**, equivalente a variável **X<sub>3</sub>**).

As diferentes formulações das amostras segundo o planeamento estatístico de mistura para três (3) componentes, são ilustradas na tabela a seguir.

**Tabela 1:** Planeamento de mistura para três (3) componentes.

Nº ensaio	Amostra	Componente			Pseudocomponente		
		X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	C	P	A
1	P I	1	0	0	0.0244	0	0
2	P II	0	1	0	0	0.0244	0
3	P III	0	0	1	0	0	0.0244
4	P IV	½	½	0	0.0122	0.0122	0
5	P V	½	0	½	0.0122	0	0.0122
6	P VI	0	½	½	0	0.0122	0.0122
7	P VII	1/3	1/3	1/3	0.0081	0.0081	0.0081

Os métodos adoptados para fazer avaliação da qualidade do papel estão relacionadas com algumas propriedades do papel.

As folhas de papel produzidos foram cortados em tamanho de 5 x 5 centímetros, o qual foi determinado com auxílio de uma régua. As folhas foram submetidas a ensaios de natureza física e mecânica, bem como, que permitiram aferir a pureza e a qualidade do papel.

### 3.3.2. Determinação das propriedades físicas e mecânicas

#### 3.3.2.1. Gramagem

Para a realização da gramagem, utilizou-se uma balança analítica apresentada na Figura 16, com precisão de 0,001 g (marca Denver Instrument, modelo M – 310) para a determinação do peso dos papéis. Depois da pesagem, determinou-se a gramagem.



**Figura 16:** Balança analítica de marca Denver Instrument, M – 310. Fonte: Autor.

### **3.3.2.2. Espessura**

Para a determinação da espessura, os corpos de prova foram sujeitos a uma pressão constante de dois discos planos e paralelos de um micrómetro manual apresentado na Figura 17, com variação de 0mm à 25mm. Ressalta-se que para cada amostra, mediu-se a espessura em cinco pontos diferentes, cuja média foi calculada através do programa Excel.



**Figura 17:** Micrómetro. Fonte: Autor

### **3.3.2.3. Densidade aparente**

A densidade aparente é uma propriedade importante, pois pode indicar a quantidade em massa presente em 1 cm<sup>3</sup>. É determinada, pois o papel possui espaços preenchidos com ar. Esta propriedade está relacionada à porosidade e à gramagem do papel, refletindo diretamente na sua qualidade e desempenho.

### **3.3.2.4. pH**

Na análise de pH, para determinar a característica ácida ou básica (pH) dos papéis reciclados, foi realizada uma análise de pH utilizando um procedimento padronizado. Uma vez já, picotadas as amostras de papel em pequenos fragmentos, foram imersos em água, formando uma suspensão aquosa, sendo assim determinado o pH dessa suspensão através do pHmetro (marca Hanna, modelo HI991001), conforme ilustrado na Figura 18. O pHmetro é um equipamento

eletrônico utilizado para medir e quantificar o pH da amostra, indicando se o papel apresenta característica ácida, neutra ou básica.



**Figura 18:** pHmetro marca Hanna, modelo HI991001. Fonte: Autor.

### **3.3.2.5. Humidade**

A humidade do papel é expressa, em percentagem, como teor de humidade. A quantidade de água existente em um corpo de prova é eliminada com o auxílio de uma estufa, e posteriormente calcula-se o percentual de humidade contido no corpo de prova conforme abaixo:

$$H = \frac{(M_i - M_f) \times 100}{M_i}$$

- $M_i$  = massa inicial
- $M_f$  = massa final
- $M_i - M_f$  é o conteúdo de humidade (água) existente no corpo de prova.

O teor de humidade, porém, pode ser determinado se o usuário tiver uma estufa para secar o papel. Uma hora em estufa a 105°C já deve eliminar a água contida no corpo de prova. A pesagem deve ser feita numa balança com exactidão de 0,05% da massa a ser pesada. Verificando um teor de humidade maior que 7,5%, o usuário já pode deduzir que um resultado menor nos testes de recebimento pode estar sendo influenciado pelo maior teor de humidade contido na amostra (PEREIRA, 2013).

Secar o corpo-de-prova na estufa no próprio recipiente, que deve ter a tampa removida e disposta ao lado, mantendo-se a temperatura em  $(105 \pm 2)$  °C. Se o corpo-de-prova for composto de mais de uma tira, as tiras devem estar separadas para permitir uma completa circulação de ar durante a secagem. O período inicial de

secagem deve ser, no mínimo, 30 min para materiais com gramagem inferior ou igual a 225 g/m<sup>2</sup> e 60 min para gramagem superior a 225 g/m<sup>2</sup> (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1999)

### **3.3.2.6. Ensaio de microscopia óptica/Opacidade**

Neste ensaio, foram analisadas as amostras dos papéis no microscópio ilustrado na Figura 19 (modelo U-CMAD3 Marca OLIMPUS SC20), visto que não possuía equipamento adequado que medisse a opacidade.

Essas análises foram feitas de modo a observar a estrutura das fibras e como elas estão entrelaçadas. As micrografias foram obtidas com uma ampliação de 40 e 100 vezes usando uma interface digital acoplado ao microscópio que permite analisar grandes áreas.

Das figuras resultantes, pode ser observado a adesão superficial e/ou a existência de algum tipo de fissura superficial e poros. Foi basicamente colocado um pedaço de cada papel por vez sobre a lâmina, e em seguida colocado na mesa do microscópio, para sua posterior observação.



**Figura 19:** Microscópio, modelo *U-CMAD3* Marca *OLIMPUS SC20*.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1.1. Determinação das propriedades físico-químicas, mecânicas e ópticas

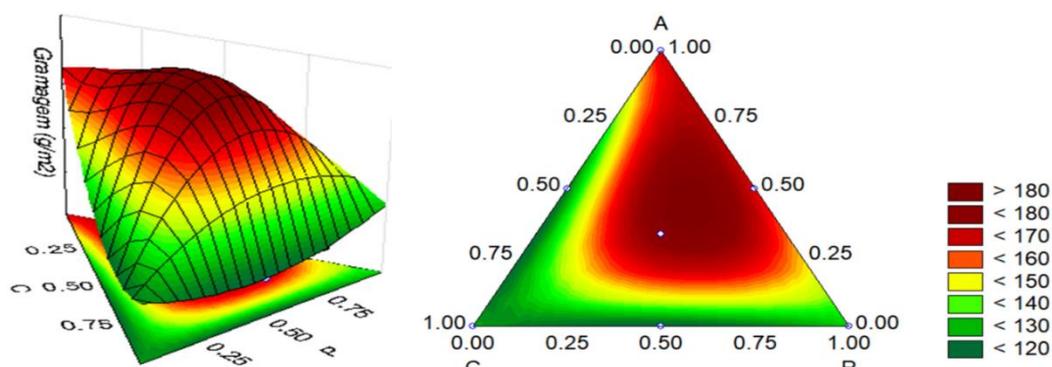
### 4.1.2. Gramagem

Os resultados obtidos no ensaio da gramagem mostram que os valores estão na faixa de 120 à 180 g/m<sup>2</sup>. Esses valores já eram esperados uma vez que no estudo realizado por (DIOGO, 2012), foram obtidos valores variando entre 185 à 192 g/m<sup>2</sup>. Uma ligeira diferença é observada, o que pode ser visto as misturas realizadas de diferentes resíduos de papel usadas no presente estudo.

Segundo a norma (ISO 11108, 1998), o valor da gramagem do papel deve ser superior à 70 g/m<sup>2</sup> e inferior a 225 g/m<sup>2</sup>. Os valores obtidos também satisfazem aos padrões internacionais.

A análise da gramagem do papel reciclado revelou que os menores valores desta propriedade estão associados a misturas com maior composição de cartolina, isto é, a medida que aumentamos a composição da cartolina nas misturas binárias bem como nas ternárias, ocorre a diminuição do valor da gramagem. Observou-se que, à medida que a proporção de cartolina aumenta nas misturas binárias (compostas por dois tipos de papel) e ternárias (compostas por três tipos de papel), há uma tendência de diminuição do valor da gramagem.

E os maiores valores da gramagem são observados nas misturas ternárias com excesso do papel A4, o que pode ser observado no gráfico da Figura 20 e a tabela detalhada pode ser consultada no Anexo I.



**Figura 20:** Gráfico ilustrativo da gramagem em relação aos componentes da mistura. Fonte: Autor.

A equação do modelo do gráfico apresentado acima, foi gerado de modo a ter a descrição dos efeitos dos componentes da mistura.

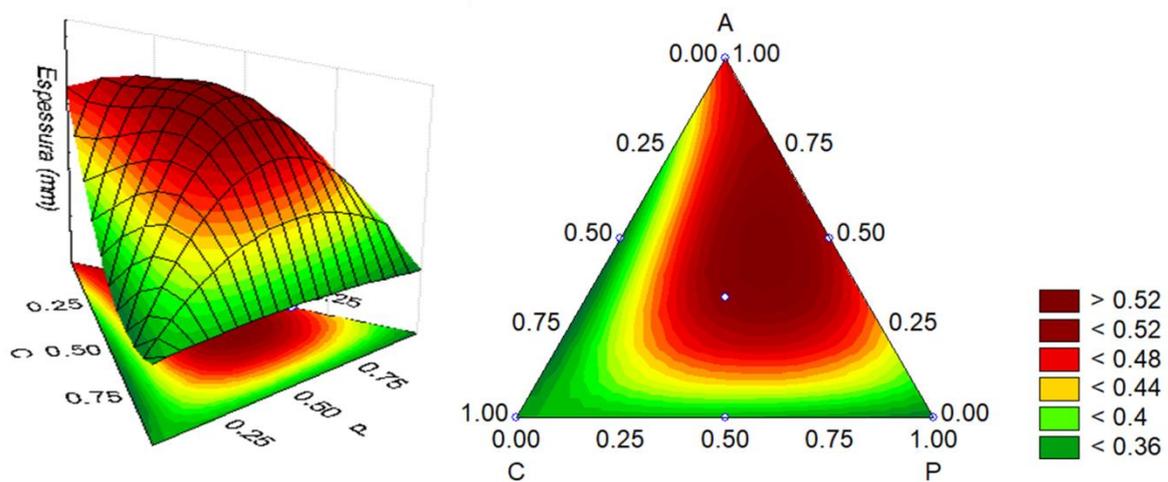
Equação do modelo:

$$v = 127.4 * C + 131.1 * P + 166.8 * A - 46.1 * C * P - 9.8 * C * A + 68.4 * P * A + 1256 * C * P * A$$

A partir da equação acima, observou-se que a mistura dos três componentes tem maior influência positiva no valor da gramagem e a mistura binária entre a cartolina e o papelão, bem como, cartolina e papel A4 tem efeito negativo na gramagem, com efeito de 46.1 e 9.8.

### 4.1.3. Espessura

Os resultados da espessura mostram que a tendência do maior valor da espessura está situada na mistura ternária chegando a alcançar um valor de 0.52mm, enquanto as misturas da Cartolina e Papelão proporcionam valores reduzidos quando comparadas com a mistura de A4. A tabela do Anexo IV detalha esses resultados e o gráfico da Figura 21 ilustra esse facto, de forma resumida.



**Figura 21:** Gráfico ilustrativo da espessura em relação aos componentes da mistura. Fonte: Autor.

Equação do modelo:

$$v = 0.4 * C + 0.3 * P + 0.5 * A + 0.04 * C * P - 0.3 * C * A + 0.4 * P * A + 3.2 * C * P * A$$

A equação do modelo mostra que, a maior influencia observada é positiva e corresponde a A4 com efeito de 0.5 e o efeito negativo é da mistura binária entre a Cartolina e A4, com efeito de 0.3.

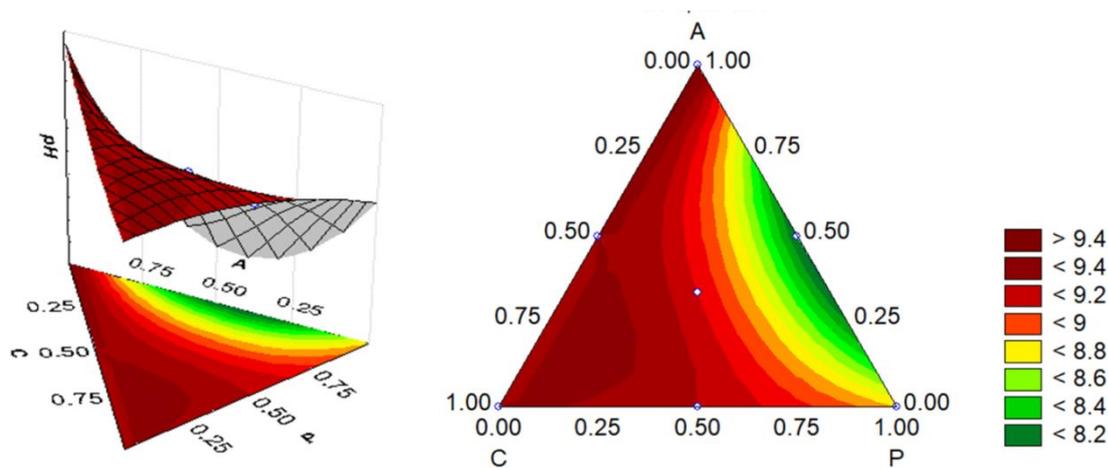
#### **4.1.4. Densidade aparente**

A densidade foi determinada através da relação entre a gramagem e a espessura da folha, e foram obtidos os resultados da tabela do Anexo IV. E da análise, foi observado que quanto maior o volume de vazios contido no interior do papel, menor a densidade aparente. (SINGH & RAO , 1991), a densidade aparente afecta as propriedades mecânicas, físicas e ópticas do papel.

#### **4.1.5. pH**

As características ácidas ou básicas do papel são das propriedades mais importantes responsáveis pelo comportamento do papel para diferentes aplicações, pois resultam de diferentes fases e constituintes adicionados durante o processo do fabrico.

No gráfico da Figura 22 e na tabela do Anexo II é observado o valor do pH, o qual varia de 8.2 à 9.4. Esse valor reflecte que todas as amostras produzidas são alcalinas. Esses valores já eram esperados pois Segundo (ISO 11108, 1998), as características ideais do papel para ser utilizado na produção de documentos de arquivo e livros de carácter permanente deve ter pH entre 7.5 – 10.0. As vantagens da utilização do papel com pH nessa faixa são as seguintes: aumento da reflexão de luz difusa no azul, aumento da brancura, menor higroexpansividade, maior volume específico aparente, maior planicidade, maior resistência mecânica, menor abrasividade, melhor ancoragem das tintas de impressão e menor tempo de secagem das tintas de impressão (FERREIRA P. , 2008).



**Figura 22:** Gráfico ilustrativo do pH em relação aos componentes da mistura. Fonte: Autor.

Os maiores valores do pH são observados à medida que se tem maior quantidade da cartolina quando se reduz a quantidade do papelão. Observa-se também que a mistura pura da cartolina e do Papel A4 favorecem elevados valores do pH, bem como a mistura binária entre estes.

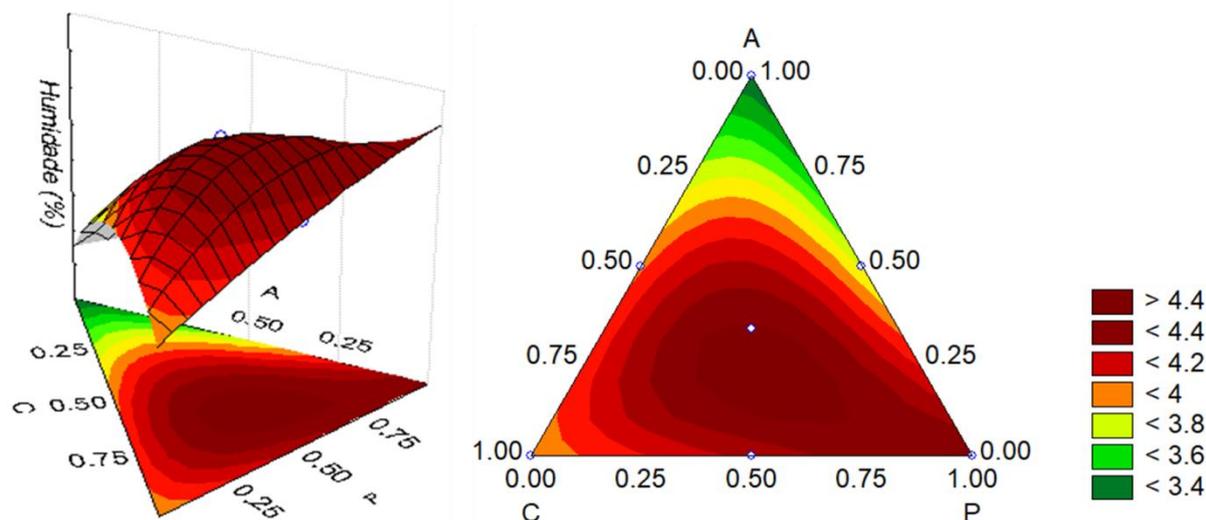
Equação do modelo:

$$v = 9.3 * C + 8.8 * P + 9.5 * A + 0.6 * C * P - 0.4 * C * A - 4.2 * P * A + 9.3 * C * P * A$$

A equação do modelo mostra que a maior influência positiva sobre o pH é observado sobre o Papel A4, seguido da Cartolina e mistura ternária, com efeito de 9.5; 9.3 e 9.3 respectivamente. E o menor efeito negativo é observado nas misturas binárias entre Papelão e A4 e Cartolina e A4, com efeito negativo de 4.2 e 4.0 respectivamente.

#### 4.1.6. Humidade

A humidade está relacionada com a capacidade de absorver ou não a água. Os resultados da determinação da humidade, mostram que a humidade varia de 3.4 à 4.4 %. Pela análise do gráfico da Figura 23 verifica-se que a mistura ternária apresenta maiores valores de humidade e a mistura de A4 apresenta menor valor de absorção. Informações detalhadas sobre a humidade podem ser consultadas no Anexo III.



**Figura 23:** Gráfico ilustrativo da humidade em relação as componentes da mistura.

Fonte: Autor.

Os valores de capacidade de absorção total obtidos neste estudo são considerados satisfatórios, pois estão dentro da faixa recomendada na literatura técnica. De acordo com o trabalho de (DIOGO, 2012) sobre a modelagem e previsão do desempenho e das propriedades do papel, os papéis devem apresentar uma capacidade de absorção total entre 4% e 10%. No entanto a ligeira diferença na absorção da água diz respeito as condições de reciclagem (SINGH & RAO , 1991) e ao tipo de papel reciclado.

Para evitar com que o papel absorva água dois métodos são usados, o método de colagem interna e superficial do papel com o objectivo de reduzir ou retardar a penetração de água e outros fluidos no interior do papel, sem impermeabiliza-lo (FARDIM, Papel e química de superfície, 2002), (MONTEIRO & OLIVEIRA, 2000).

Equação do modelo:

$$v = 3.9 * C + 4.4 * P + 3.3 * A + 0.2 * C * P + 1.4 * C * A - 0.3 * P * A + 10.5 * C * P * A$$

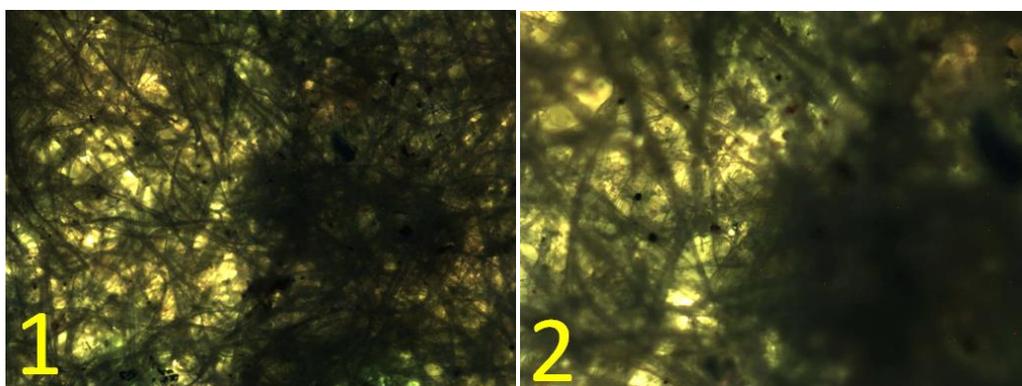
A equação do modelo mostra que, a maior influência é da mistura ternária com efeito positivo de 10.5. O efeito negativo é observado na mistura binária entre papelão e A4 com efeito de 0.3.

#### 4.1.7. Ensaio da microscopia para determinar a Opacidade

Este ensaio está relacionado com a capacidade de deixar ou não passar a luz e devido a falta de equipamentos adequados para a sua realização, o Microscópio foi usado de modo a apurar a existência ou não de poros, pois estes definam ou não a capacidade de deixar passar a luz. Contudo as imagens abaixo mostram a estrutura que os papéis apresentaram ao serem visualizadas no microscópio.

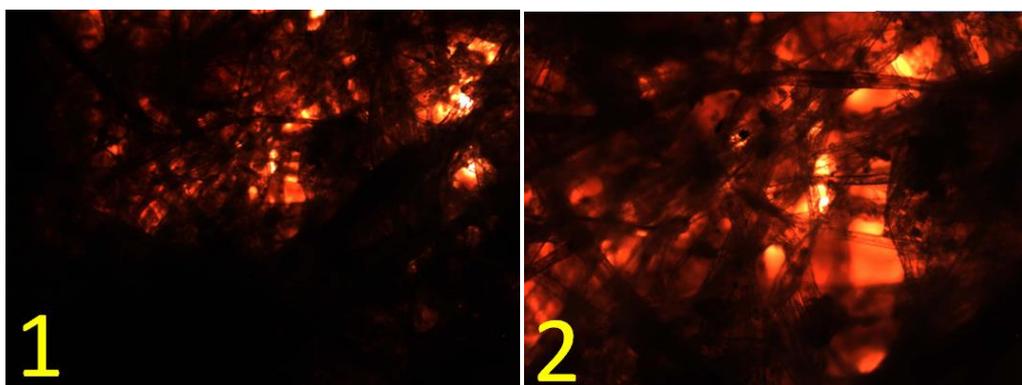
Para visualizar a estrutura do papel no microscópio, foi usada a ampliação de 40X e de 100X para melhor comparação. As imagens estão descritas abaixo, de acordo com cada uma das composições.

##### Cartolina



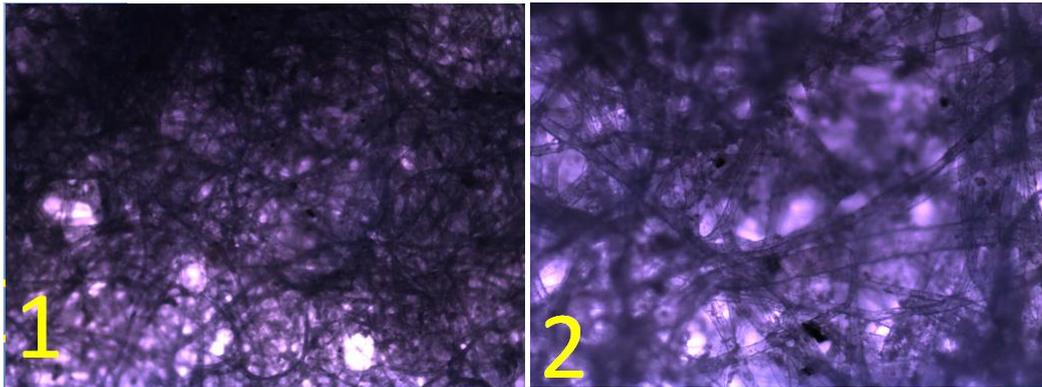
**Figura 24:** 1-cartolina com ampliação de 40X, 2-cartolina com ampliação de 100X

##### Papelão



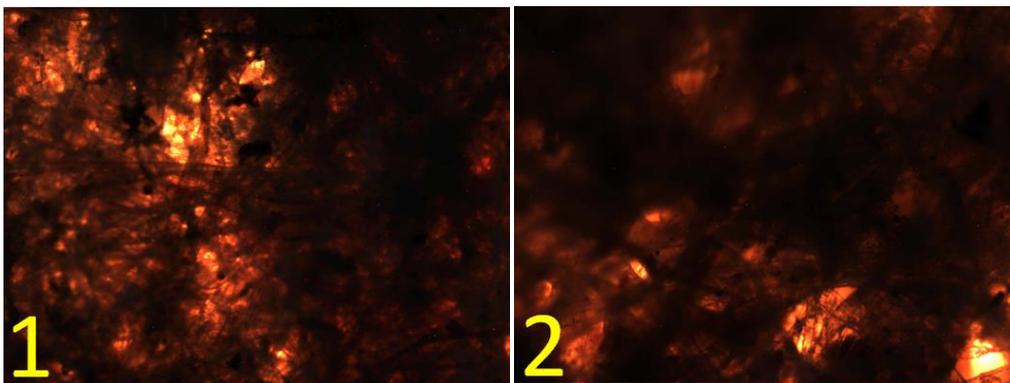
**Figura 25:** 1-papelão com ampliação de 40X, 2-papelão com ampliação de 100X

## Papel A4



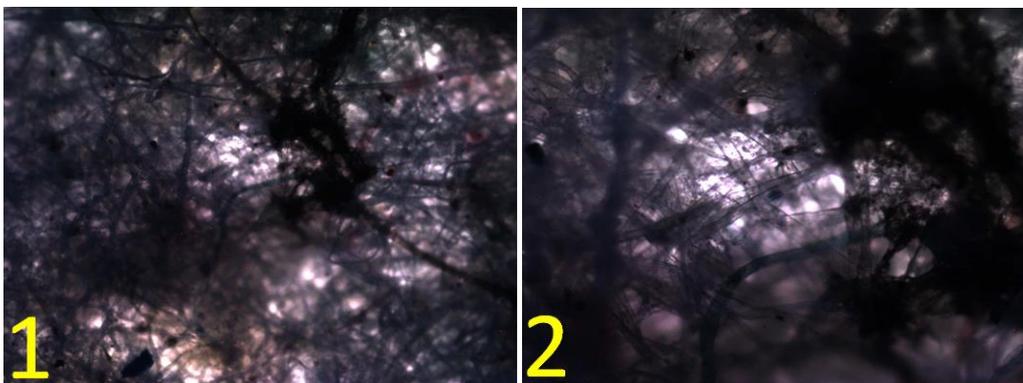
**Figura 26:** 1-papel A4 com ampliação de 40X, 2-papel A4 com ampliação de 100X

## Cartolina e Papelão



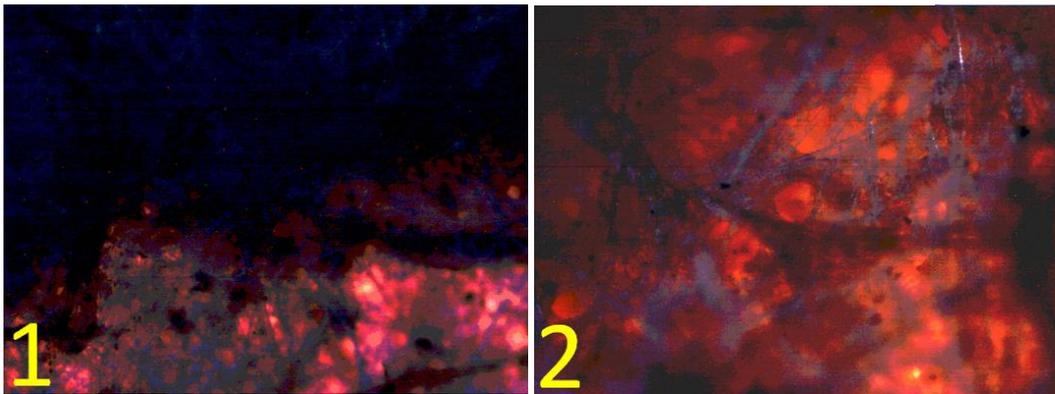
**Figura 27:** 1-cartolina e papelão com ampliação de 40X, 2-cartolina e papelão com ampliação de 100X

## Cartolina e papel A4



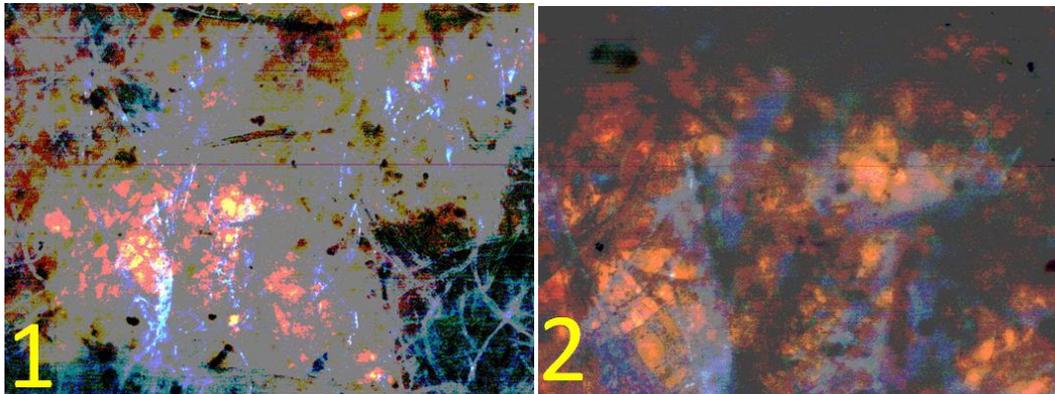
**Figura 28:** 1-cartolina e papel A4 com ampliação de 40X, 2-cartolina e papel A4 com ampliação de 100X

### Papelão e papel A4



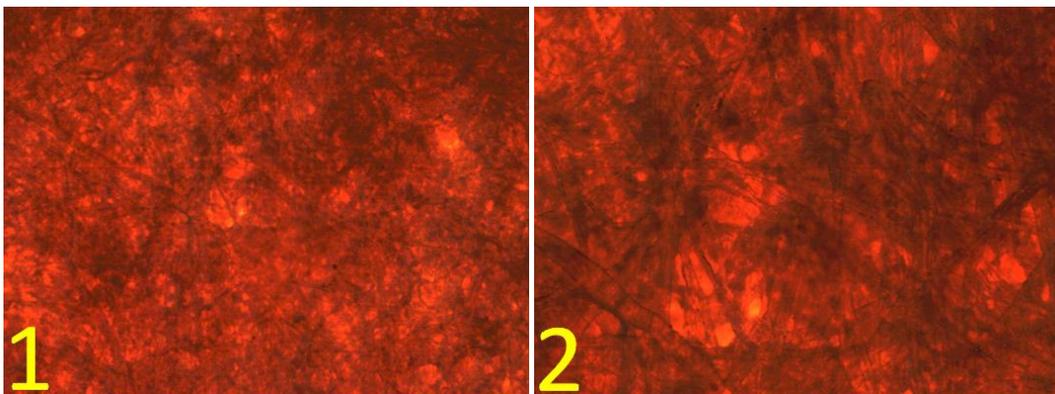
**Figura 29:** 1-papelão e papel A4 com ampliação de 40X, 2-papelão e papel A4 com ampliação de 100X

### Cartolina, Papelão e papel A4



**Figura 30:** 1-mistura das 3 componentes com ampliação de 40X, 2-mistura das 3 componentes com ampliação de 100X

### Papel virgem



**Figura 31:** 1-papel virgem com ampliação de 40X, 2-pepel virgem com ampliação de 100X

O arranjo interno das fibras foi observado através do microscópio. Quando o papel é heterogéneo na sua estrutura (quando possui espaços vazios no seu interior) a luz ao atravessá-lo encontra vários meios onde sofrerá reflexões sucessivas e pouca transmissão. Consequentemente, pouca quantidade de luz chegará ao lado oposto e assim o papel será mais opaco (DIOGO, 2012), (FERREIRA P. , 2008), (VIEIRA, 2007).

Na composição das três componentes (C (8.3%) + P (8.3%) +A (8.3%)), a imagem não está nítida, pois de todas elas é a que deixava passar muito pouca quantidade de luz reflectida pelo microscópio, assim sendo, houve a necessidade de manusear até encontrar uma imagem que desse para ver estrutura interna do papel. No papel virgem observa-se, que na composição estrutural existe espaços vazios, os quais não distam muito do observado nas amostras do papel reciclado.

Feito isso, é notório que elas apresentam poucos espaços vazios, fazendo com que a luz não passe, ou passe, mas com muita dificuldade, pois ela não encontra caminho suficiente para deixar passar luz, o que faz deles ter maior opacidade. Dizer também, que a opacidade está directamente ligada a gramagem, pois quanto maior for a gramagem do papel, maior será a opacidade, pois o papel apresenta maior número de fibras entrelaçadas entre si.

## 5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Com a luz dos resultados obtidos através dos ensaios laboratoriais no presente trabalho, e de modo a satisfazer os objectivos previamente estabelecidos, conclui-se que estes foram alcançados com sucesso, excepto a análise das propriedades mecânicas. Conclui-se que:

- A mistura ternária (C (0.81%) + P (0.81%) +A (0.81%)) melhor responde a gramagem com  $180 \text{ g/m}^2$ , pH de 9.1 e humidade de 4.4%, quando comparado com o papel virgem ( $171 \text{ g/m}^2$ ) e segue a mistura pura de papelão ( $131 \text{ g/m}^2$ , pH de 8.8 e humidade de 4.4%) e por fim a mistura binária entre papelão e cartolina ( $117 \text{ g/m}^2$ , pH 9.2 e humidade de 4.2%), portanto a composição óptima para a produção do papel é a mistura ternária;
- Não foi alcançado o objectivo de fazer os testes mecânicos correspondente a resistência no papel, visto que se teve dificuldades em encontrar equipamento que auxiliasse nesse processo;
- As análises da opacidade feitas pelo microscópio mostram que na sua maioria existe sim poros e áreas não muito cobertas, porém não numa quantidade elevada, o que faz com que todas elas sejam opacas, mas não de forma completa;
- Pela tonalidade do papel produzido, observou-se que o papel não é puro, pois os papéis anteriormente usados para reciclar, já continham na sua superfície tinta impressa ou escrita e também alguns papéis por si só já eram coloridos;
- O papelão exerce maior efeito sobre a mistura e possui efeito positivo e que favorece características semelhantes ao papel virgem.

O presente estudo evidenciou que a reciclagem do papel é economicamente e ambientalmente viável, visto que pode contribuir para a redução do desflorestamento, pressão nos recursos hídricos e nos recursos energéticos, através da utilização dos resíduos de papel e fibras recuperadas, e potencializar o descarte adequado dos resíduos sólidos e o desenvolvimento sustentável.

Feito o presente trabalho, e com base nos resultados obtidos, recomenda-se:

- Realizar os ensaios concernentes a resistência dos papéis reciclados e realizar ensaios complementares, com vista a ter uma visão mais ampla sobre as características do papel, uma vez que esses testes são para ter uma noção de que força eles aguentam, antes de atingir qualquer tipo de deformação e com isso dar melhor destino ao papel de acordo com peso de cada produto a ser usado;
- Realizar estudos aprofundados sobre mais aplicações práticas do papel reciclado e identificar os potenciais reutilizadores;
- As cooperativas devem desenvolver estratégias para reciclar os resíduos de papel a nível interno, pois actualmente funcionam como estações de colecta e armazenamento temporário de resíduos.

De um modo geral é pertinente a reutilização, reciclagem e adopção de estratégias para melhor gestão dos resíduos de papel de modo a contribuir para o meio ambiente e reduzir custos na produção do papel.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, C. (14 de Novembro de 2022). *Papel couchê: O que é e quais são os principais modelos?* Obtido em 22 de Abril de 2024, de [https://blog.marpax.com.br/](https://blog.marpax.com.br/post/papel-couche-o-que-e-e-quais-sao-os-principais-modelos/): <https://blog.marpax.com.br/post/papel-couche-o-que-e-e-quais-sao-os-principais-modelos/>
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. (1999). NBR NM 105: Papel e cartão - Determinação da umidade - Método por secagem em estufa.
3. BAJPAI, P. (22 de October de 2013). *Recycling and Deinking of Recovered Paper*. (Elsevier, Ed.)
4. BITTENCOURT, E. (2004). *PARÂMETROS DE OTIMIZAÇÃO NO PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE CELULOSE E PAPEL*. Dissertação, Curitiba.
5. BRACELPA. (1998). *Relatório Estatístico - 1997*. São Paulo.
6. DE CASTRO, H. F. (2009). Apostila 4: PAPEL E CELULOSE . p. 9.
7. DIOGO, S. C. (Setembro de 2012). *MODELAÇÃO E PREVISÃO DA PERFORMANCE E DAS PROPRIEDADES DO PAPEL*. Tese de Mestrado, INSTITUTO SUPERIOR DE EDUCAÇÃO E CIÊNCIAS, Escola Superior de Design, Artes e Comunicação.
8. DOS SANTOS, G. P., ALVES, D. F., PAIVA, L. D., & NUNES, R. V. (12-15 de Outubro de 2010). A CADEIA DO PAPEL/PAPELÃO COMUM E O RECICLADO: UMA ANÁLISE COMPARATIVA NA INDÚSTRIA DE EMBALAGENS. p. 9.
10. EL-HAGGAR, S. M. (2007). *Sustainable Industrial Design and Waste Management*. (O. A. Press, Ed.) pp. 149–196.
11. ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA DE TOMAR. (06 de Outubro de 2008). Teórica 4 – Escolha do Papel para Imprimir. p. 02.
12. FARDIM, P. (2002). *Papel e química de superfície*. Associação brasileira técnica de celulose e papel.
13. FARDIM, P. (2002). *Papel e Química de Superfície Parte II – Revestimento e Printabilidade*.
14. FARIAS, R. (2013). *O IMPACTO AMBIENTAL NA SUBSTITUIÇÃO DO PAPEL VIRGEM POR PAPEL RECICLADO EM EMBALAGENS CORRUGADAS*. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, DEPARTAMENTO DE DESENHO INDUSTRIAL - DADIN.
15. FERNANDES, S. d., & ESPINOSA, J. W. (2016). *Práticas de Engenharia em Laboratório de Reciclagem de Papel*. Brasil.
16. FERRARI, N. (24 de Junho de 2020). *Conheça 11 problemas críticos da indústria de papel e celulose e como resolvê-los*. Obtido em 22 de Julho de 2023, de

blog.hita.com.br: <https://blog.hita.com.br/conheca-11-problemas-criticos-da-industria-de-papel-e-celulose-e-como-resolve-los/>

- 17.FERREIRA, A. D., SILVA, E., SILVA, T. M., & MACHADO, S. (s.d.). REUTILIZAÇÃO E RECICLAGEM DE PAPEL E PAPELÃO.
- 18.FERREIRA, P. (2008). *Propriedades do papel; ciência e tecnologia da pasta e do papel*. Universidade de Coimbra, Eng. Química da Faculdade de Ciência e Tecnologia, Coimbra.
- 19.GLEB , P. (2019). *ENERGY PRODUCTION IN PULP AND PAPER INDUSTRY*. Master's Thesis, LUT University, School of Energy Systems.
- 20.GRIGOLETTO, I. C. (2011). *REAPROVEITAR E RECICLAR O PAPEL: PROPOSTA DE CONSCIENTIZAÇÃO DA PRESERVAÇÃO AMBIENTAL*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- 21.ISO 11108. (12 de 15 de 1998). Information and documentation - Archival Paper - Requirements for permanence and durability .
- 22.ISO 11476. (15 de August de 2016). Paper and board — Determination of CIE whiteness, C/2° (indoor illumination conditions). pp. 1-16.
- 23.ISO 1924-2. (15 de December de 2008). Paper and board — Determination of tensile properties — Part 2: Constant rate of elongation method (20 mm/min). pp. 1-5.
- 24.ISO 1974. (January de May de 2012). Paper — Determination of tearing resistance — Elmendorf method. pp. 1-7.
- 25.ISO 2493-2. (February de 2020). Paper and board — Determination of resistance to bending —Part: Taber-type tester. pp. 1-8.
- 26.ISO 534. (15 de November de 2011). Paper and board — Determination of thickness, density and specific volume. pp. 1-5.
- 27.ISO 536. (15 de July de 2012). Paper and board — Determination of grammage. pp. 1-6.
- 28.ISO 5627. (15 de March de 1995). Paper and board - Determination of smoothness (Bekk method) . pp. 1-5.
- 29.KAMIDE, K. (2005). *Cellulose and Cellulose Derivates: Molecular Characterization and its Applications*. pp. 1-23.
- 30.MONTEIRO, J. V., & OLIVEIRA, R. C. (2000). *Estudo de colagem alcalina em polpas de kraft de eucalipto branqueadas por tecnologia ECF e TCF*. Congresso Internacional Celulose e Papel.
- 31.PEREIRA, J. (2013). *Umidade no Papelão Ondulado*. Brasil.
- 32.RIBEIRO, H., & BUQUE, L. (2013). LEGISLAÇÃO E QUADRO LEGAL DA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS EM MOÇAMBIQUE. 14(3), pp. 132-147.

- 33.ROBERT, N. T. (2007). Produção de embalagem de papel. (S. B. técnicas, Ed.) *Dossiê Técnico*.
- 34.RUFATO, D., & DE ALMEIDA, L. C. (2016). PRODUÇÃO E RECICLAGEM DE PAPEL: Uma sequência didática para o ensino de conceitos de química orgânica no ensino médio. 1, pp. 3-7.
- 35.SAAD, A. D. (2018). *ESTUDO DA QUALIDADE DO PAPEL KRAFT EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DE FIBRA RECICLADA*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Estadual Paulista, Itapeva - SP.
- 36.SANTOS, C. P., DOS REIS, I. N., MOREIRA, J. E., & BRASILEIRO, L. B. (14 de Março de 2001). Papel: como se fabrica? pp. 1-5.
- 37.SINGH , S. P., & RAO , N. J. (1991). Printability and paper properties. pp. 65-71.
- 38.SOUTHERN CALIFORNIA SHREDDING. (7 de March de 2013). *Does It Take More Energy to Produce Recycled Paper?* Obtido em 24 de July de 2023, de <https://ocshredding.com>: <https://ocshredding.com/blog/does-it-take-more-energy-to-produce-recycled-paper/>
- 39.T 547 om-02. (2002). Air permeance of paper and paperboard (Sheffield method) . pp. 1-2.
- 40.TAPPI T519. (13 de June de 2006). Diffuse opacity of paper (d/0 paper backing) (Revision of T 519 om-02) . pp. 1-19.
- 41.VALDIMARSDÓTTIR, S. Ó. (2021). *Profitability study for a paper recycling facility in Iceland*. Master Thesis, Reykjavík University.
- 42.VIEIRA, C. (2007). Características do papel. 36.

## 7. ANEXOS

Anexo I

**Tabela 2:** Tabela do cálculo da gramagem.

Ensaio	Mistura	Massa	Média	Desvio Padrão	Gramagem (g/m <sup>2</sup> )
1	C (2.44%)	0.3315	0.318	0.0100	127.36
		0.3071			
		0.3166			
2	P (2.44%)	0.3247	0.328	0.0131	131.13
		0.3452			
		0.3136			
3	A (2.44%)	0.4119	0.417	0.0039	166.84
		0.4212			
		0.4182			
4	C (1.22%) + P (1.22%)	0.2654	0.294	0.0237	117.71
		0.2939			
		0.3235			
5	C (1.22%) + A (1.22%)	0.3212	0.305	0.0125	122.16
		0.2907			
		0.3043			
6	P (1.22%) + A (1.22%)	0.4065	0.415	0.0135	166.08
		0.4342			
		0.4049			
7	C ()+ P (0.81%) + A (0.81%)	0.4637	0.449	0.0252	179.68
		0.4138			
		0.4701			

Anexo II

**Tabela 3:** Tabela do cálculo do pH.

Ensaio	Mistura	pH	Média	Desvio Padrão
1	C (2.44%)	9.31	9.297	0.0125
		9.28		
		9.3		
2	P (2.44%)	8.88	8.797	0.0624
		8.78		
		8.73		
3	A (2.44.2%)	9.44	9.470	0.0216
		9.48		
		9.49		
4	C (1.22%) + P (1.22%)	9.17	9.177	0.0047
		9.18		
		9.18		
5	C (1.22%) + A (1.22%)	9.22	9.333	0.0818
		9.41		
		9.37		
6	P (1.22%) + A (1.22%)	7.03	8.117	0.7695
		8.61		
		8.71		
7	C (0.81%) + P (0.81%) +A (0.81%)	9.11	9.123	0.0125
		9.12		
		9.14		

Anexo III

**Tabela 4:** Tabela do cálculo da Humidade.

Ensaio	Mistura	Humidade	Média	Desvio Padrão
1	C (2.44%)	3	3.917	0.8150
		4.98		
		3.77		
2	P (2.44%)	4.06	4.420	0.3951
		4.97		
		4.23		
3	A (2.44%)	3.7	3.310	0.3001
		2.97		
		3.26		
4	C (1.22%) + P (1.22%)	4.08	4.227	0.1668
		4.46		
		4.14		
5	C (1.22%) + A (1.22%)	3.54	3.967	0.3392
		4.37		
		3.99		
6	P (1.22%) + A (1.22%)	3.71	3.783	0.0573
		3.85		
		3.79		
7	C (0.81%) + P (0.81%) +A (0.81%)	4.67	4.420	0.1846
		4.36		
		4.23		

Anexo IV

**Tabela 5:** Cálculo da espessura.

Ensaio	Mistura	Espessura	Média	Desvio Padrão
1	C (2.44%)	0.33	0.360	0.0283
		0.37		
		0.35		
		0.34		
		0.41		
2	P (2.44%)	0.38	0.336	0.0258
		0.34		
		0.33		
		0.3		
		0.33		
3	A (2.44%)	0.45	0.476	0.0568
		0.57		
		0.5		
		0.4		
		0.46		
4	C (1.22%) + P (1.22%)	0.37	0.358	0.0194
		0.34		
		0.39		
		0.35		
		0.34		
5	C (1.22%) + A (1.22%)	0.34	0.344	0.0185
		0.31		
		0.35		
		0.36		
		0.36		
6	P (1.22%) + A (1.22%)	0.52	0.500	0.0290
		0.53		
		0.47		
		0.46		

		0.52		
7	C (0.81%) +P (0.81%) +A (0.81%)	0.56	0.520	0.0297
		0.49		
		0.49		
		0.55		
		0.51		

Anexo V

**Tabela 6:** Cálculo da densidade e índice de mão.

<b>Coluna1</b>	<b>Papel A4</b>	<b>Papel ão</b>	<b>Cartolina</b>	<b>Papel A4 e papel ão</b>	<b>Papel A4 e cartolina</b>	<b>Cartolina e Papel ão</b>	<b>Papel, papel ão e cartolina</b>	<b>Papel virgem</b>
Espessura (mm)	0.476	0.336	0.36	0.5	0.344	0.358	0.52	0.24
Gramagem (g/m <sup>2</sup> )	0.0166	0.0131	0.0127	0.0166	0.0122	0.0117	0.0179	0.0171
Espessura (cm)	0.0476	0.0336	0.036	0.05	0.0344	0.0358	0.052	0.024
Índice de mão ( )	2.8674 7	2.5648 85	2.8346 46	3.0120 48	2.8196 72	3.0598 29	2.9050 28	1.4035 09
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0.3487 39	0.3898 81	0.3527 78	0.332	0.3546 51	0.3268 16	0.3442 31	0.7125