



M 2021

ESTUDO DO IMPACTO DAS CARACTERÍSTICAS DO PAPEL TISSUE DE ENTRADA NO PRODUTO TERMINADO

HELENA PEREIRA DA CRUZ

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO APRESENTADA

À FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO EM
ENGENHARIA QUÍMICA

Mestrado Integrado em Engenharia Química

Estudo do Impacto das Características do Papel Tissue de Entrada no Produto Terminado

Dissertação de Mestrado

de

Helena Pereira da Cruz

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

Suavecel- Indústria Transformadora de Papel S.A.



Orientador na FEUP: Prof. Fernão Magalhães

Coordenadora na Suavecel S.A.: Eng. Daniela Coutinho



julho de 2021

Agradecimentos

Não poderia deixar de agradecer às pessoas que tornaram possível a realização desta dissertação, assim como, todas as pessoas que me apoiaram ao longo do meu percurso académico nomeadamente:

Ao meu orientador académico, Professor Fernão Magalhães, por toda a disponibilidade, ajuda e partilha de conhecimento. Foi muito inspirador e motivador trabalhar num projeto com uma pessoa na qual eu já sentia uma grande admiração pelo seu trabalho.

À minha orientadora empresarial, Engenheira Daniela Coutinho, pela orientação ao longo deste estágio, pelo esclarecimento de dúvidas e sobretudo por todo o apoio e preocupação e, à Suavecel-Indústria Transformadora de Papel S.A. agradeço a oportunidade por ter realizado o estágio nesta empresa, pela disponibilização de todos os equipamentos laboratoriais e informações relativas à empresa.

À minha companheira de laboratório, Engenheira Paula Novo, por todos os ensinamentos transmitidos, pela ajuda no manuseamento dos equipamentos, pela amizade, pela total disponibilidade em esclarecer dúvidas e sobretudo por todo o trabalho que fez por mim. Também queria agradecer ao chefe de turno, Engenheiro António Cunha, pela explicação de todo o processo de produção da Fortissue e ao Diretor da Suavecel e da Fortissue, Engenheiro Rui Sousa, pela ajuda no esclarecimento de dúvidas.

À Engenheira Sandra Monteiro por toda colaboração na realização das análises de SEM e à Professora Margarida Bastos pelo apoio proporcionado na parte das reações de reticulação da resina de resistência à humidade com a celulose e pela sua disponibilidade.

A todos os professores da FEUP que, para além de me terem ajudado no meu desenvolvimento académico, fizeram de mim uma pessoa melhor, conseguiram fazer-me acreditar de que tudo é possível basta não desistir. Ensinaram-me a ter um pensamento mais lógico e a organizar o meu tempo. Aprendi através deles que tudo se faz com trabalho, empenho e dedicação.

A todos os meus amigos e colegas da FEUP, pelas longas tardes de estudo juntos, pelos desabafos, pelos convívios, pelo companheirismo e pela amizade que levo para a toda a vida. Foram eles que estiveram comigo nos bons, mas também nos maus momentos e não teria conseguido sem a presença deles.

Por último, queria agradecer à minha família por tornar isto possível, por todo o apoio, carinho e ajuda e ao meu namorado por ter sido o meu suporte, a minha motivação e por ter acreditado sempre em mim.

Agradecimentos Institucionais

O Prof. Fernão Magalhães, orientador desta dissertação, é membro integrado do LEPABE - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente Biotecnologia e Energia, financiado por: Financiamento Base - UIDB/00511/2020 da Unidade de Investigação - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia - LEPABE - financiada por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).



Resumo

A Suavecel-Indústria Transformadora de Papel S.A é uma empresa que se dedica à transformação de bobines de papel *tissue*, provenientes da empresa Fortissue que está situada no mesmo edifício, para originar produtos como papel higiénico, lenços, rolo de cozinha, guardanapos, entre outros. Esta empresa trabalha para diversos clientes assim, tem como necessidade fundamental, atender aos seus requisitos. Os clientes, por sua vez, informam as propriedades necessárias que os produtos tem de atender e a Suavecel trabalha em função dessas exigências.

Deste modo, esta dissertação envolveu o estudo das variações das propriedades do papel *tissue* no processo de transformação, de forma a que, sabendo as propriedades necessárias a ter no produto final, dadas pelos clientes, seja possível determinar as propriedades a conferir nas bobines de papel *tissue* de entrada. Começou-se pela recolha de amostras de vários tipos de produtos e pela execução de ensaios para avaliar propriedades como a gramagem, a espessura, o brilho e a resistência à tração a seco e a húmido, no sentido longitudinal e transversal. Posteriormente, as propriedades dos produtos foram comparadas às propriedades do papel *tissue* de entrada e, constatou-se que, a gramagem diminuiu ao longo do processo de transformação para todos os produtos. Para a espessura, verificou-se uma diminuição nos produtos que não continham gofragem em toda a superfície e um aumento nos produtos com gofragem por toda a superfície. No entanto, para o brilho não foi possível concluir nada sobre a sua variação visto que, os dois métodos utilizados para as medições tem princípios de funcionamento distintos.

Contatou-se ainda que as resistências a seco e a húmido diminuíram ao longo do processo bem como o alongamento longitudinal a seco. Porém, o alongamento transversal a seco aumentou nos produtos que apresentavam gofragem por toda a superfície e diminuiu para os outros produtos. Em relação ao alongamento longitudinal a húmido, este aumentou nos produtos com gofragem de borda ou pouco acentuada e diminuiu nos produtos com uma gofragem mais intensa.

Por fim, foi desenvolvido outro estudo de forma a avaliar a organização estrutural das fibras de celulose através da realização de análises de SEM. Assim, foi possível comprovar a orientação das fibras de celulose no sentido longitudinal pela visualização de amostras à superfície de vários tipos de bobines de papel *tissue*. Pela secção de corte longitudinal das amostras, conseguiu-se verificar que, as gramagens mais baixas tendem a originar dobras de maiores dimensões no processo de crepagem.

Palavras Chave: Celulose, Papel *tissue*, Gofragem, Crepagem, Refinação

Abstract

Suavecel-Indústria Transformadora de Papel S.A. is a company dedicated to the transformation of tissue paper rolls, coming from the company Fortissue which is located in the same building, to originate products such as toilet paper, handkerchiefs, kitchen rolls, napkins, among others. This company works for various customers and so it has a fundamental need to meet their requirements. The clients, in turn, inform the necessary properties that the products have to meet and Suavecel works according to these exigencies.

In this way, this dissertation involved the study of the variations in the properties of tissue paper in the transformation process, so that, knowing the properties required in the final product, given by the customers, it is possible to determine the properties to be given in the incoming tissue paper rolls. It started by collecting samples of various types of products and performing tests to evaluate properties such as grammage, thickness, brightness and wet and dry tensile strength in longitudinal and transverse directions. Subsequently, the products' properties were compared to the properties of the input tissue paper and it was found that the grammage decreased along the transformation process for all products. For thickness, there was a decrease in products that did not contain embossing across the surface and an increase in products with embossing across the surface. However, for the brightness it was not possible to conclude anything about its variation, since the two methods used for the measurements have different working principles.

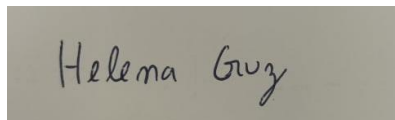
It was also found that the dry and wet resistance decreased along the process as well as the dry longitudinal elongation. However, the dry transverse elongation increased in the products that presented embossing all over the surface and decreased for the other products. Regarding the wet longitudinal elongation, it increased in the products with border or slightly accentuated embossing and decreased in the products with more intense embossing.

Finally, another study was developed in order to evaluate the structural organization of the cellulose fibers through SEM analysis. It was possible to verify the longitudinal orientation of the cellulose fibers by visualizing the samples on the surface of various types of tissue paper reel. By the longitudinal section cut of the samples, it was possible to verify that lower grammages tend to originate larger folds in the creping process.

Keywords: Cellulose, Tissue paper, Embossing, Creping, Refining

Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

A rectangular box containing a handwritten signature in dark ink. The signature is written in a cursive style and reads "Helena Guzy".

Helena Pereira da Cruz, julho de 2021

Índice

1	Introdução.....	1
1.1	Apresentação da Empresa	2
1.2	Contributos do(a) autor(a) para o Trabalho.....	3
1.3	Organização da Dissertação	4
2	Contexto e Estado da Arte	5
2.1	Descrição do processo de produção de Papel <i>Tissue</i>	5
2.1.1	Preparação da Pasta.....	6
2.1.2	Formação da folha de Papel <i>Tissue</i>	9
2.2	Descrição do processo de conversão do Papel <i>Tissue</i>	12
2.2.1	Rebobinados	13
2.2.2	Dobrados	16
3	Materiais e Métodos	20
4	Resultados e Discussão.....	29
4.1	Variações das Propriedades da Bobine mãe para o Produto transformado	29
4.1.1	Variação da gramagem	29
4.1.2	Variação da espessura.....	30
4.1.3	Variação do brilho	31
4.1.4	Variação da resistência à tração e do alongamento a seco no sentido longitudinal	32
4.1.5	Variação da resistência à tração e do alongamento a seco no sentido transversal	34
4.1.6	Variação da resistência à tração e do alongamento a húmido no sentido longitudinal	36
4.2	Orientação das fibras de celulose.....	37
4.3	Influência da gramagem do papel <i>tissue</i> no processo de crepagem.....	38
5	Conclusões	41
6	Avaliação do trabalho realizado.....	42
6.1	Objetivos Realizados	42

6.2	Limitações e Trabalho Futuro	42
6.3	Apreciação Final	43
7	Referências	44
8	Apêndices	47
A.	Tipos de produtos e a respetiva gofragem aplicada	47
B.	Ensaio das variações das propriedades da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto:	49
B.1	Papel Higiénico de gramagem 16 g·m ⁻² <i>Standard</i>	49
B.2	Guardanapos de gramagem 19 g·m ⁻² de folha simples	52
B.3	Guardanapos de gramagem 15 g·m ⁻² de folha dupla com gofragem cercadura.....	55
B.4	Guardanapos de gramagem 15 g·m ⁻² de folha dupla com gofragem ponto-ponto.....	58
B.5	Lenços de gramagem 15 g·m ⁻² de folha tripla.....	61
B.6	Rolo de Cozinha de gramagem 20 g·m ⁻² <i>Compact</i>	64
B.7	Rolo de Cozinha de gramagem 21 g·m ⁻² <i>Standard</i>	67
B.8	Rolo de Cozinha de gramagem 21 g·m ⁻² <i>Compact</i>	70

Lista de Figuras

Figura 1- Representação da fibra de celulose até à molécula de celulose. ^[1]	5
Figura 2- Diagrama processual da preparação da pasta.	6
Figura 3- Efeitos da refinação. ^[7]	7
Figura 4- a) Fibras de eucalipto não refinadas vistas através de um microscópio eletrónico de varrimento b) Fibras refinadas. ^[8]	7
Figura 5- Reação de reticulação entre a resina de poliamidamina-epicloridrina e a celulose. ^[12]	8
Figura 6- Representação de uma máquina convencional de papel tissue: A) Caixa de entrada, B) Prensagem, C) Secagem, D) Crepagem, E) Enrolamento. ^[13]	9
Figura 7- As 4 etapas do mecanismo da geração das dobras individuais. ^[15]	10
Figura 8- Processo de crepagem com um grande ângulo de crepagem (à direita) e um baixo ângulo de crepagem (à esquerda). ^[17]	10
Figura 9- Imagens de um microscópio eletrónico de varrimento do papel tissue depois do processo de crepagem. À esquerda a imagem da superfície ilustrando a direção longitudinal/máquina e transversal e à direita a imagem da secção de corte perpendicular à superfície. ^{[15], [18]}	11
Figura 10- Processo produtivo dos Rebobinados.	13
Figura 11- Representação esquemática do sistema de gofragem e laminação do tipo DESL (em cima) e sincronização correta e incorreta (em baixo). ^[21]	14
Figura 12- Processo Produtivo dos Guardanapos.	16
Figura 13- Representação dos dois tipos de gofragem utilizadas em guardanapos. ^[23]	17
Figura 14- Representação dos dois tipos de gofragem aço-borracha. A gofragem de borda à esquerda e a gofragem contínua à direita.	17
Figura 15- Guilhotina circular e base de corte. ^[24]	21
Figura 16- Medidor de espessura da Suavecel à esquerda e Medidor de espessura da Fortissue à direita. ^[25]	22
Figura 17- Princípio de funcionamento de um espectrofotómetro com esfera integradora. ^[27]	23
Figura 18- Colorímetro de refletância. ^[30]	24
Figura 19- Princípio de funcionamento de um Colorímetro de refletância. ^[31]	25

Figura 20- Dinamómetro configurado para teste a seco à esquerda e o dispositivo de frinch utilizado para teste da resistência à tração a húmido à direita. ^[33]	26
Figura 21- Dinamómetro Horizontal à esquerda e método de medição da resistência à tração a húmido à direita. ^[34]	27
Figura 22- Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.	30
Figura 23- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.	31
Figura 24- Variação do brilho da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.	32
Figura 25- Variação da resistência à tração a seco no sentido longitudinal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.	33
Figura 26- Variação do alongamento até à rutura a seco no sentido longitudinal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.	33
Figura 27- Variação da resistência à tração a seco no sentido transversal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.	34
Figura 28- Variação do alongamento até à rutura a seco no sentido transversal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.	35
Figura 29- Variação da resistência à tração a húmido no sentido longitudinal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.	36
Figura 30- Variação do alongamento até à rutura a húmido no sentido longitudinal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.	36
Figura 31- Imagens da análise à superfície de uma bobine mãe de papel higiénico à esquerda e de uma bobine mãe de rolo de cozinha à direita.	37
Figura 32- Imagem da análise à superfície de uma bobine mãe de guardanapos.	38
Figura 33- Imagem da análise à secção de corte longitudinal de uma bobine mãe de guardanapos com uma gramagem de $15 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$	39
Figura 34- Imagem da análise à secção de corte longitudinal de uma bobine mãe de rolo de cozinha com uma gramagem de $21 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$	39

Lista de Tabelas

Tabela 1-Tipos de produtos estudados.	20
Tabela A.1-Tipos de Produtos estudados e a respetiva gofragem aplicada.....	47

Notação e Glossário

Lista de Siglas e Abreviaturas

C	Cercadura
CD	<i>Cross Direction</i>
CIE	Comissão Internacional da Iluminação
Comp	Compacto
DESL	<i>Double Embossing Single Lamination</i>
FD	Folha Dupla
FS	Folha Simples
FSC	<i>Forest Stewardship Council</i>
FT	Folha Tripla
GD	Guardanapo
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MD	<i>Machine Direction</i>
PAE	Poliamidamina-epicloridrina
PEFC	<i>Programme of Endorsement for Forest Certification Schemes</i>
PH	Papel Higiénico
PP	Ponto-Ponto
RC	Rolo de Cozinha
SEM	<i>Scanning Electron Microscope</i>
Stan	<i>Standard</i>
ZD	Thickness direction

1 Introdução

O papel *tissue* é um papel de baixa gramagem que se caracteriza pela sua suavidade, resistência à tração, leveza, absorvência e elasticidade. Estas características foram essenciais para a formação de produtos de uso doméstico tais como o papel higiênico, rolos de cozinha, toalhas de mão, guardanapos, lenços de papel e lenços faciais.

O setor do papel *tissue* tem vindo a expandir-se na economia mundial explicado pelo aumento do consumo de produtos de higiene em consequência do aumento dos padrões de qualidade de vida. O crescimento da procura, por sua vez, levou a um aumento no número de produtores tornando-se num mercado competitivo. Para alcançar uma vantagem competitiva, as empresas estão em constante procura por uma melhoria contínua, uma otimização dos processos produtivos e uma redução dos custos de operação de forma a aumentar os níveis de qualidade dos produtos e satisfazer os requisitos dos clientes. Um fator importante no segmento de mercado do papel *tissue* é a satisfação dos clientes, estes procuram maciez como propriedade fundamental em certos produtos ou a absorção em outros, dependendo do seu propósito final. Assim, as propriedades do papel *tissue* devem estar em concordância com os requisitos dos clientes.

O processo de produção do papel *tissue* tem como matéria prima a celulose virgem, extraída da madeira, e envolve duas etapas: a primeira consiste na formação da folha de papel e na segunda etapa dá-se a conversão do papel *tissue* nos vários tipos de produtos finais. Para formar a folha de papel *tissue* ocorrem processos químicos e mecânicos que modificam a estrutura das fibras de celulose, conferindo-lhes uma maior resistência, maciez e elasticidade. No final do processo o papel é enrolado, resultando numa bobine de papel *tissue* também designada de bobine mãe. Contudo, durante a transformação da folha de papel *tissue* nos produtos como papel higiênico, lenços, rolo cozinha, entre outros, as propriedades adquiridas na fase anterior vão se alterando, pois, o papel é sujeito a tensões contantes ao longo do processo de conversão que o deformam permanentemente.

Posto isto, esta dissertação tem como objetivo principal estudar as variações das propriedades do papel *tissue* no processo de conversão como a gramagem, a espessura, o brilho, a resistência à tração a seco e a húmido e o alongamento, de modo a que o produto final atenda aos requisitos dos clientes. Assim, através do estudo do processo a jusante à formação da folha de papel *tissue* e, sabendo as exigências dos clientes, é possível determinar as propriedades necessárias a conceder ao papel *tissue* no processo a montante.

De forma a cumprir com o objetivo, as amostras de bobine de mãe bem como do produto transformado foram sujeitas a testes físicos, mecânicos e óticos para avaliar as suas propriedades. Para além deste estudo, foram realizadas análises à bobine mãe, utilizando-se

um microscópio eletrónico de varrimento, de modo a verificar a orientação das fibras de celulose e visualizar as dobras resultantes do processo de crepagem.

1.1 Apresentação da Empresa

A Suavecel- Indústria Transformadora de Papel S.A. iniciou a sua atividade em 1996 com a comercialização de papel higiénico após identificar essa necessidade no mercado, pelo facto da procura ter sido massificada e a oferta reduzida. A fábrica estava sediada na freguesia de Correlhã, situava em Ponte de Lima, com uma área de 500 m². Em 2001, devido ao crescimento da sua atividade, transferiu as suas instalações para a zona industrial do Neiva, em Viana do Castelo. A empresa dedica-se à transformação de papel *tissue* e a sua produção está dividida em duas áreas: produtos para uso doméstico como papel higiénico, rolo de cozinha, lenços e lenços faceais e produtos para uso industrial como rolo Jumbo, rolo de autocorte, rolo de marquesa, bobine industrial e toalhas de mão para as necessidades das instituições e do setor profissional. A Suavecel foi a primeira empresa a ser formada do Grupo *Ghost* e decidiu apostar desde cedo nas tecnologias mais avançadas a nível mundial, como nos automatismos e na robótica, na investigação e na melhoria contínua o que atribui aos seus produtos uma qualidade superior, reconhecida nos mercados mais exigentes. A inovação tecnológica permitiu a adaptação aos mercados, a competitividade e esteve sempre aliada a uma procura constante por o melhor equilíbrio entre a qualidade e o preço.

O grupo *Ghost* integra 3 empresas, a Suavecel, a Nunex Worldwide e a Fortissue. A Nunex Worldwide, surge em 2013, para introduzir no mercado uma marca de fraldas para bebés, a primeira e única em Portugal. Atualmente produz uma gama alargada de produtos de higiene pessoal e íntima, nomeadamente fraldas de bebé, de adulto (incontinência), toalhas para criança e adulto, resguardos de proteção e pensos higiénicos. A Fortissue iniciou a sua produção de bobines de papel *tissue* a partir de pasta de celulose virgem, em 2015, como estratégia de verticalização fornecendo a maioria do seu produto acabado à Suavecel, e assim, permitiu reduzir o preço da matéria-prima, aumentar a sua qualidade e diminuir a dependência de terceiros. Em 2017, foi realizado um forte investimento numa área com 100 mil m² na zona industrial de Alvarães, em Viana do Castelo, com novas linhas de produção, substituição de outras, novos produtos e novos postos de trabalho juntando-se a Suavecel à Fortissue, como forma de tornar o processo contínuo desde a produção de matéria prima até à distribuição dos produtos. O grupo é constituído por mais de 300 colaboradores e uma faturação anual de 75 milhões de euros em constante crescimento.

Na Suavecel produzem-se produtos da marca Suavecel com diferentes gamas como: a gama *Prime*, *Extracel* e *Nature* que se caracterizam por gamas de qualidade premium e que se destacam pelos produtos diferenciadores nos seus formatos e características, com elevados padrões de qualidade, a gama *Classic* oferece uma maior variedade de formatos, sobretudo

produtos compactos, ou seja, produtos com mais papel e menos espaço, com uma elevada garantia de suavidade e a gama *Basic* em que dispõem de uma variabilidade de produtos a um preço mais vantajoso mantendo os padrões de qualidade e suavidade. A Suavecel dedica 90% da sua produção para marcas próprias de grandes distribuidores comerciais como o Continente, o Intermarché, o Amanhecer, o Dia, o Mercadona, o Pingo doce, o Auchan, entre outros e tem a capacidade de produzir, por dia, 4 milhões de rolos de papel higiénico, 20 milhões de guardanapos, 6.5 milhões de lenços de papel, 1.5 milhões de rolos de cozinha e 15.5 milhões de lenços faciais.

Para além dos mercados nacionais, o grupo *Ghost* tem cada vez mais impacto nos mercados internacionais, exportando atualmente para Espanha, França, Alemanha, Itália, Angola, Nigéria, Colômbia e Reino Unido. A Suavecel é fruto de um crescimento sustentável a par de uma inovação contínua, mas também assume uma postura responsável no consumo dos recursos necessários e na proteção das florestas. Um exemplo disso são as certificações que tem vindo a ser atribuídas à empresa, como a certificação FSC (*Forest Stewardship Council*) e a certificação PEFC (*Programme of Endorsement for Forest Certification Schemes*) que dá garantia aos consumidores que os produtos identificados com estes logotipos provêm de florestas geridas de forma sustentável, bem como, certificações de gestão da qualidade e ambientais como a ISO 9001 e a ISO 14001. Recentemente, a Suavecel decidiu apostar numa nova área de negócios, associada a situação pandémica atual, e investiu 10 milhões de euros numa máquina para a produção de máscaras para crianças e adultos sendo a sua capacidade de produção de 51 milhões de máscaras por mês.

1.2 Contributos do(a) autor(a) para o Trabalho

Para a elaboração desta dissertação, que tem como objetivo principal o estudo das variações das propriedades do papel *tissue* no processo de conversão. Primeiro, testei várias amostras de cada produto recolhidas no final de cada máquina de conversão para avaliar propriedades como a sua gramagem, espessura, brilho e a resistência à tração a seco e a húmido.

De seguida, pelo lote dos produtos consegui identificar os lotes das bobines mãe que os originaram através da visualização das folhas de registo da produção. Como na Fortissue as bobines mãe são testadas e as propriedades medidas são lançadas no sistema estando associadas ao lote da bobine mãe, deste modo, foi possível aceder às propriedades da bobine mãe através do seu lote. Posteriormente, fiz uma comparação das propriedades da bobine mãe com as propriedades do produto transformado e calculei as variações, em %, das propriedades em cada produto. Seguidamente, calculei as médias das variações e os respetivos desvios padrões das propriedades para cada produto e agrupei os vários produtos num gráfico para cada propriedade.

Por fim, realizei um outro estudo de forma a comprovar a orientação das fibras de celulose no sentido longitudinal e a verificar a influência da gramagem nas dobras resultantes do processo de crepagem. Para isso, ajudei a preparar as amostras de bobines mãe para as análises de SEM da superfície bem como da secção de corte longitudinal e a realizar os ensaios.

1.3 Organização da Dissertação

Esta dissertação está dividida em 6 capítulos como meio de uma melhor organização da informação. No capítulo 1 está presente uma pequena introdução ao estudo que se vai realizar descrevendo sucintamente o que foi feito e introduzindo os conceitos que serão abordados. Neste capítulo, também foi apresentada uma pequena descrição da história da Suavecel, assim como, o trabalho que esta empresa se dedica a fazer e os projetos já desenvolvidos pela empresa como forma de enquadramento ao estudo desenvolvido.

No capítulo 2 é mostrada uma descrição detalhada do processo de fabrico de produtos com papel *tissue* desde a matéria prima até ao produto final. Este capítulo está dividido em duas partes, a primeira explica o processo realizado na Fortissue que consiste na preparação da pasta e na formação da folha de papel *tissue* e menciona os principais fatores que influenciam as propriedades do papel *tissue*. A segunda parte engloba todos os processos de conversão do papel *tissue* até dar origem ao produto final como o rolo de cozinha, papel higiénico e lenços, realizados na Suavecel.

No capítulo 3 são expostos todos os tipos de produtos que foram analisados e as suas principais diferenças no processo de produção, como forma de uma melhor comparação entre eles. Também apresenta uma descrição de todos os equipamentos utilizados tanto na Fortissue como na Suavecel para a medição das propriedades do papel, o seu princípio de funcionamento, bem como, todos os procedimentos experimentais adotados.

O capítulo 4 corresponde à discussão dos resultados e está dividido em 3 partes, na primeira parte são apresentados todos os resultados da comparação das propriedades físicas, mecânicas e óticas da bobine mãe para o produto final, sendo feita a explicação de todos os resultados. Na segunda parte são demonstradas as análises realizadas à superfície das bobines mãe num microscópio eletrónico de varrimento onde é comprovado a orientação das fibras de celulose. Na terceira parte é apresentada a influência da gramagem do papel *tissue* no processo de crepagem pelas análises de SEM, através da visualização da secção de corte longitudinal de amostras de bobines mãe.

No capítulo 5 são descritas as conclusões do trabalho e a importância dos resultados obtidos para a empresa.

No capítulo 6 é feita uma perspetiva e uma reflexão do trabalho realizado onde são apresentadas propostas para trabalhos futuros e as limitações ao longo da elaboração da dissertação.

2 Contexto e Estado da Arte

2.1 Descrição do processo de produção de Papel *Tissue*

A principal matéria-prima para a produção do papel *tissue* é a celulose, podendo o papel ser formado a partir de uma pasta virgem ou reciclada. A celulose é um polissacarídeo de cadeia linear composta por milhares de subunidades (monómeros) de glicose ligados entre si através de ligações β -1,4-glicosídicas e é altamente hidrofílica. Quando as cadeias de celulose atingem um certo comprimento dão origem a fibrilas elementares que por sua vez, ligam-se lateralmente por pontes de hidrogénio nos grupos Hidroxilo (-OH) entre conjuntos de cadeias formando-se as microfibrilas. A fibra de celulose é assim composta por um conjunto de microfibrilas, o que pode ser visualizado na figura 1.^{[1],[2]}

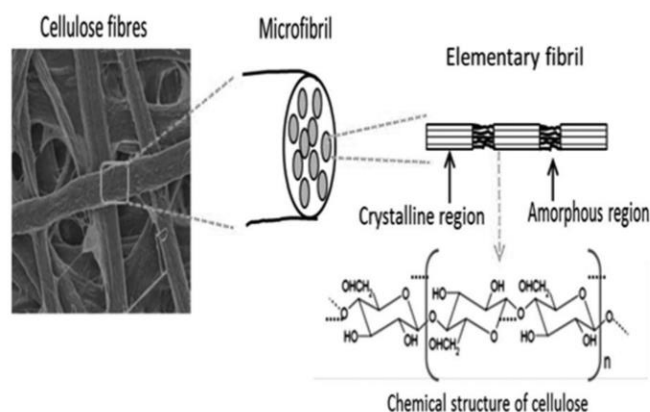


Figura 1- Representação da fibra de celulose até à molécula de celulose.^[1]

Dentro de uma fibrila elementar existem duas regiões distintas: a região cristalina e a região amorfa. Na região cristalina, as cadeias estão orientadas paralelamente existindo uma elevada orientação molecular. A cristalinidade está associada a uma alta rigidez e resistência e, consequentemente baixo alongamento e flexibilidade. Pelo contrário, a zona amorfa corresponde a uma zona onde não há qualquer orientação molecular e as cadeias encontram-se desorientadas. Deste modo, esta zona confere mobilidade e alongamento às cadeias. A resistência da fibra de celulose também está relacionada ao grau de polimerização, quanto maior o grau de polimerização maior a sua resistência.^[2]

O processo de produção do papel *tissue* é constituído por duas etapas: a primeira consiste na preparação da pasta e a segunda na formação da folha de papel *tissue*.^[3]

2.1.1 Preparação da Pasta

No fabrico do papel *tissue* a partir de pasta de celulose virgem, a pasta é composta por uma mistura de fibras longas e fibras curtas que conferem diferentes características ao papel. A fibra longa tem origem do pinheiro e proporciona uma maior resistência mecânica porque apresenta maior capacidade de formar ligações interfibras, e a fibra curta do eucalipto atribui uma maior suavidade e absorção ao papel.^[4]

O diagrama do processo de preparação da pasta encontra-se na figura 2:

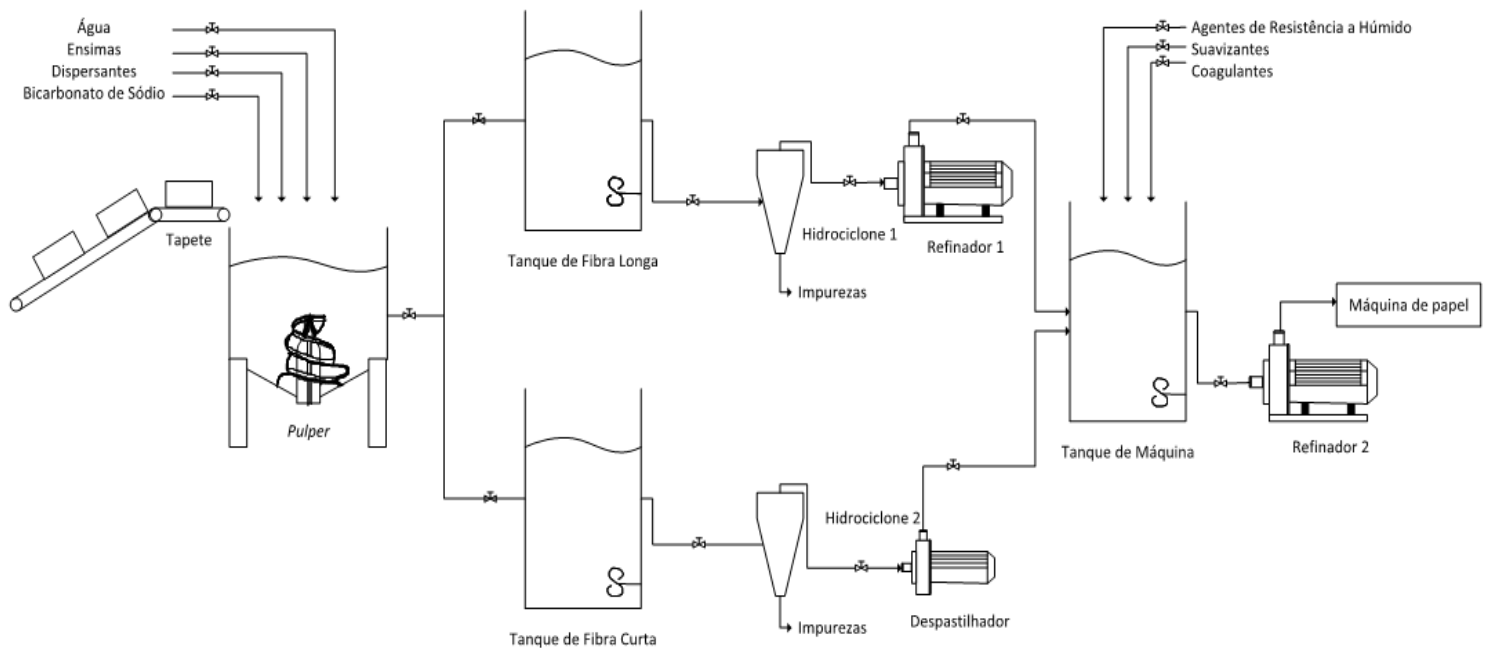


Figura 2- Diagrama processual da preparação da pasta.

A celulose virgem, extraída da madeira, é transportada em resmas ou fardos sendo encaminhada para a fábrica e direcionada para um *pulper* através de um tapete. No *pulper* vai ocorrer a desagregação das fibras pela adição da água ou moagem. Nesta etapa, também se adicionam dispersantes para evitar aglomeração de partículas sólidas, enzimas para a modificação das fibras permitindo a fibrilação das mesmas, um conceito que irá ser abordado numa fase posterior e bicarbonato de sódio para controlar o pH.^{[3],[5]}

A suspensão homogénea formada segue depois para o tanque de fibra longa ou de fibra curta, respetivamente. De seguida, cada tipo de fibra, separadamente, dirige-se para um depurador centrífugo ou hidrociclone com a forma de um cone invertido. O fluído entra de forma tangencialmente provocando um movimento rotacional descendente e cria-se uma força centrífuga. Deste modo, as partículas mais densas migram para as paredes e as partículas menos densas para o centro. No topo do cone, o fluído inverte o sentido saindo por cima uma pasta limpa e por baixo todas as impurezas mais pesadas que as fibras.

No caso das fibras curtas, a depuração vertical é seguida de uma despastilhagem que consiste na eliminação de aglomerados de fibras que não foram separados no *pulper*.^{[3],[4]}

Já as fibras longas, depois de passarem no despastilhador são sujeitas a uma refinação que envolve a aplicação de forças compressivas e de corte para que as fibras adquiram uma conformabilidade adequadas para a fabricação de papel.^[6]

No processo de refinação pode ocorrer a fibrilação interna, ou seja, a delaminação dentro da parede celular que se traduz na abertura de espaços microscópicos dentro da parede, a fibrilação externa que consiste no “desfiar” da fibra rompendo-se as ligações entre as microfibrilas (pontes de hidrogénio), por consequência da ação abrasiva, o corte das fibras e ainda a formação de finos ou fragmentos de fibras como se pode observar na figura 3.

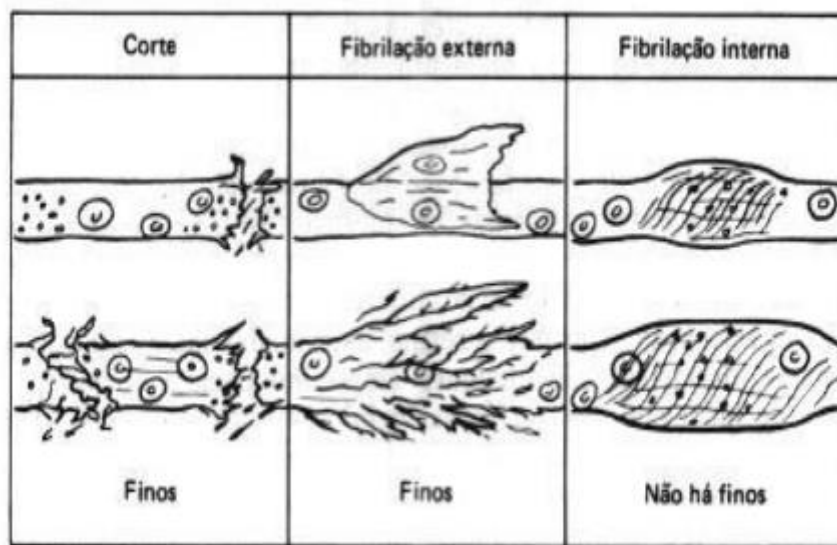


Figura 3- Efeitos da refinação. ^[7]

Posto isto, a refinação provoca o aumento da área de ligação entre as fibras e assim aumenta a capacidade de ligação interfibras. Portanto, é um fator muito importante na fabricação do papel pois afeta as propriedades do mesmo aumentando consideravelmente a sua resistência, mas diminui o seu volume, a absorção e a drenagem de água.^[6] Na figura 4 é possível observar a diferença entre fibras refinadas e fibras não refinadas.

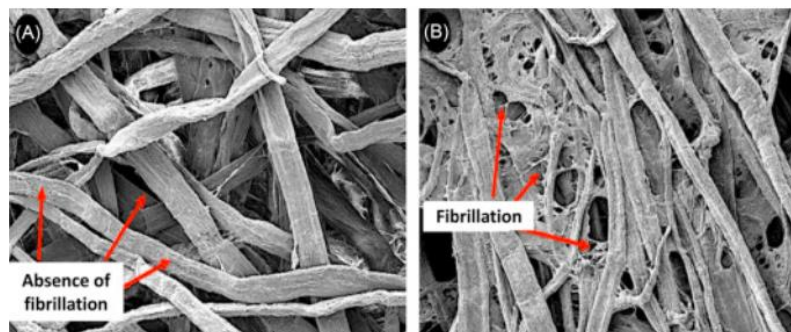


Figura 4- a) Fibras de eucalipto não refinadas vistas através de um microscópio eletrônico de varrimento b) Fibras refinadas.^[8]

Por último, os dois tipos de fibras são misturados num tanque chamado tanque de máquina, na proporção desejada, no qual se adicionam alguns aditivos químicos como uma resina de resistência à humidade, suavizantes e coagulantes.

A resina de resistência à humidade é assim chamada por conferir resistência à tração quando o papel está molhado. A resina mais utilizada é a poliamidamina-epicloridrina (PAE), sendo adsorvida pelas fibras de celulose devido a interações eletrostáticas entre os grupos funcionais carregados positivamente da resina com a carga negativa dos grupos carboxílicos da celulose.^[9] Quando ocorre o processo de secagem, numa fase posterior, dá-se uma reação de reticulação, em meio alcalino, que fornece resistência à humidade por dois mecanismos: o mecanismo de proteção, porque se dá auto reticulação da resina de PAE que protege as ligações fibra-fibra e o mecanismo de reforço, pois ocorre a formação de ligações éster entre os grupos azetidínio da resina PAE com os grupos carboxílicos da celulose.^{[10],[11]}

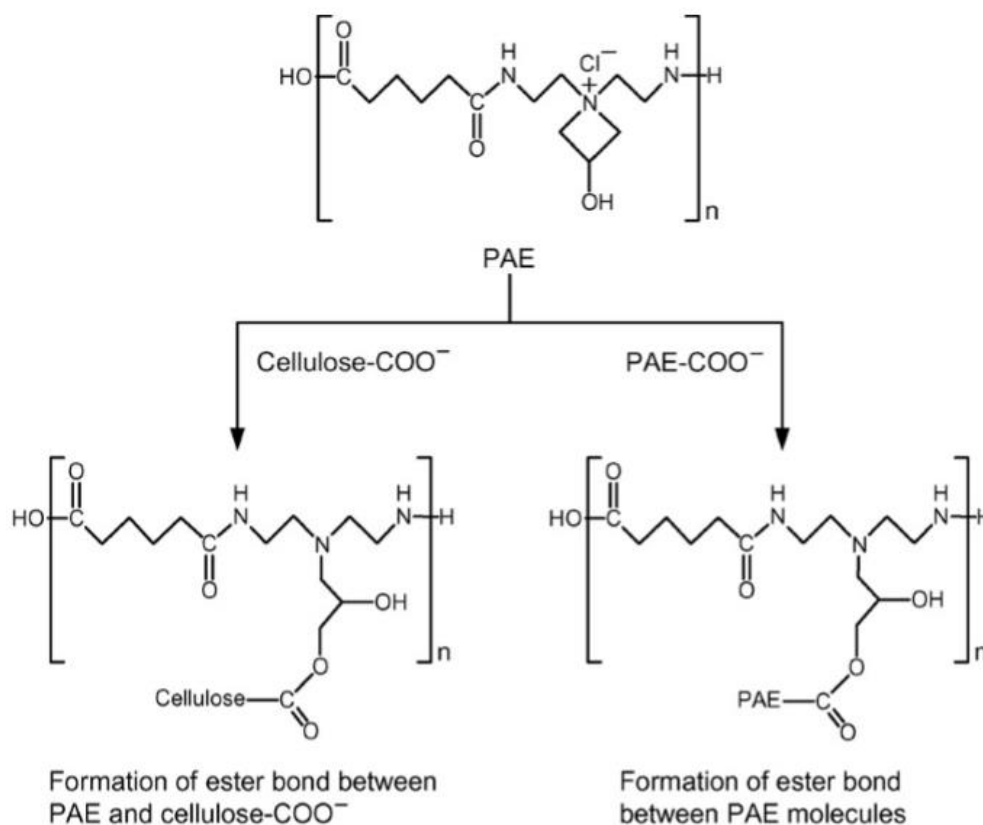


Figura 5- Reação de reticulação entre a resina de poliamidamina-epicloridrina e a celulose.^[12]

As ligações fibra-resina têm uma maior contribuição para desenvolver a resistência à humidade do que as ligações resina-resina.^[12]

Após o tanque de máquina, as fibras são encaminhadas para um refinador onde é aplicada uma refinação menos agressiva com uma energia mais baixa do que na fibra longa. Por

fim, a pasta está pronta para seguir para a máquina de papel onde o seu principal objetivo é a remoção de água.

2.1.2 Formação da folha de Papel *Tissue*

A produção do papel *tissue* na máquina de papel é composta por 4 etapas: a Formação, a Prensagem, a Secagem e o Enrolamento.^[5] A figura 6 mostra uma máquina de papel *tissue* convencional.

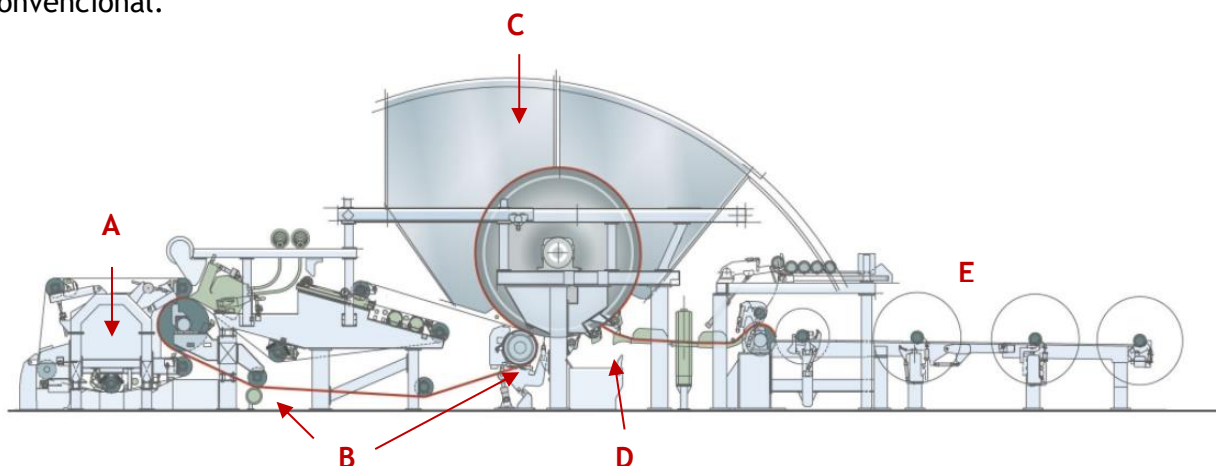


Figura 6- Representação de uma máquina convencional de papel *tissue*: A) Caixa de entrada, B) Prensagem, C) Secagem, D) Crepagem, E) Enrolamento.^[13]

A pasta é depositada na caixa de entrada, esta é responsável por injetar a suspensão fibrosa uniformemente entre uma tela formadora e um feltro, onde irá ocorrer a drenagem da água por gravidade. É nesta etapa que se dá a formação da teia de papel.^{[13],[14]}

A caixa de entrada pode conter várias configurações dependendo das características que se pretende empregar no papel. Por exemplo, uma caixa de entrada pode apresentar dois lábios que permitem injetar duas camadas de papel podendo-se optar por um papel mais resistente na camada de fora e um papel mais macio na camada interior.^[6]

A caixa de entrada funciona a um determinado caudal de pasta sendo possível aumentar ou diminuir esse caudal de forma a produzir papel com maior ou menor gramagem ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$). Depois da drenagem, a tela formadora volta a passar pela caixa de entrada repetindo esta trajetória e a teia de papel segue pelo feltro onde se vai dar a prensagem. Na prensagem, os chamados rolos de sucção removem a água por compressão mecânica e ação do vácuo promovendo a ligação interfibras por pontes de hidrogénio e a folha sofre uma redução do seu volume específico e um aumento da resistência mecânica.^{[3],[5]}

Posteriormente, a folha de papel é encaminhada para um processo de secagem que ocorre no chamado cilindro de Yankee, normalmente com um diâmetro de 5 m e 6 m de largura acoplado a duas capotas de ar quente em cima. O cilindro de Yankee é aquecido internamente

através de vapor saturado e no seu interior existem ainda ranhuras para que seja possível recolher o condensado que se forma na parte interna do cilindro. Para aumentar a eficiência do processo de secagem são utilizadas duas capotas, numa capota é injetado ar quente para a folha de papel podendo chegar a uma temperatura de 500 °C e, na outra é recolhido o ar húmido que seque para um processo cíclico onde é removida a humidade do ar e volta a ser injetado na capota de ar quente.^{[5],[13]}

No final do cilindro de Yankee existe uma lâmina de aço designada de lâmina de crepado que raspa a folha de papel da superfície do Yankee. Este processo é designado de crepagem e pode ser visualizado com mais detalhe na figura 7.

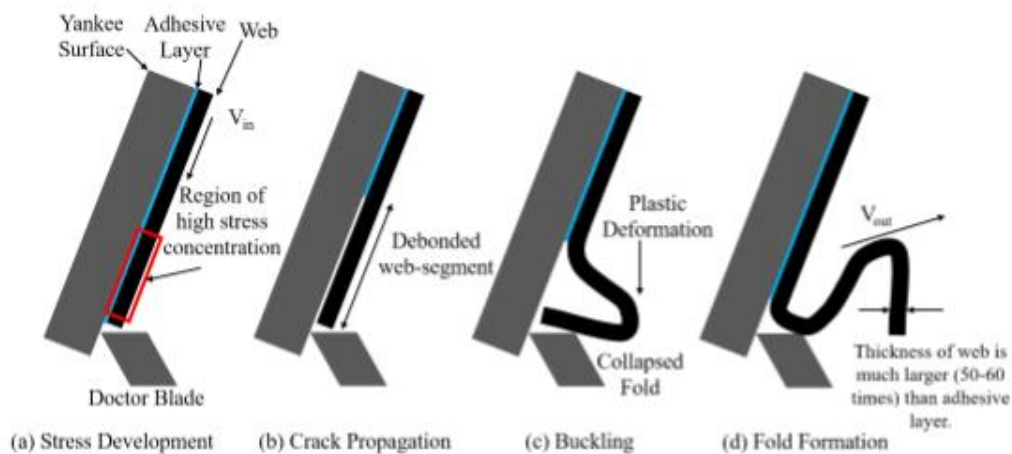


Figura 7- As 4 etapas do mecanismo da geração das dobras individuais.^[15]

A crepagem leva ao enrugamento do papel provocando a quebra de ligações entre as fibras e força as fibras a dobrar. A folha de papel quando atinge a lâmina descola do cilindro de Yankee na zona onde há maior tensão provocada pela lâmina. As forças de adesão ao cilindro são superadas e é formada uma dobra que vai ser empurrada à medida que a folha é enrolada a jusante. Uma segunda dobra forma-se logo a seguir a primeira e o processo repete-se continuamente.^{[15],[16]}

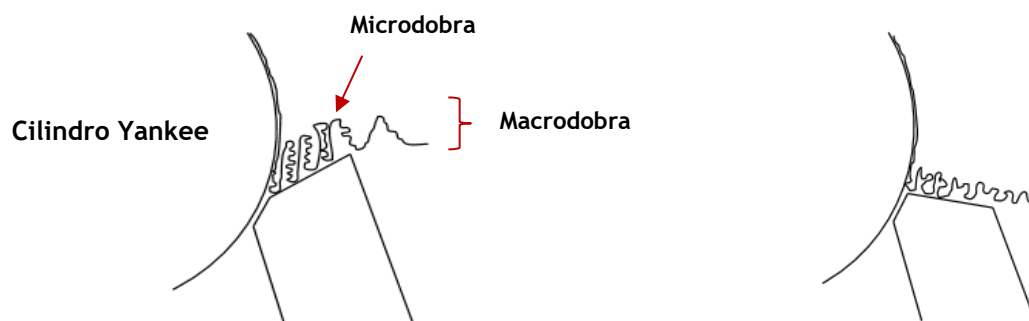


Figura 8- Processo de Crepagem com um grande ângulo de crepagem (à direita) e um baixo ângulo de crepagem (à esquerda).^[17]

As dobras formadas são designadas de microdobras e empilham-se umas sobre as outras na lâmina de crepado, quando chegam a uma determinada altura caem dando origem a uma

macrodobra. Assim, a crepagem confere ao papel uma maior espessura e menor comprimento devido ao enrugamento da folha. Após o processo de crepagem, o papel é enrolado dando origem a uma bobine.^{[15],[17]}

Quanto menor o ângulo da lâmina de crepado em relação à tangente do cilindro, maior o número de microdobras formadas em cada macrodobra e quanto maior o ângulo da lâmina, as macrodobras não se formam propriamente porque a diferença de tamanho entre as microdobras e as macrodobras é mínima.^{[6],[17]}

De forma a manter o papel enrugado, a bobine de enrolamento tem uma velocidade menor que a do cilindro de Yankee sendo possível calcular a sua relação que é caracterizada pela razão de crepado:^[15]

$$\text{Razão de crepado} = \frac{\text{Velocidade Yankee} - \text{Velocidade Bobine}}{\text{Velocidade Yankee}} \quad (1)$$

Outros fatores que também influenciam o tamanho das dobras na crepagem são a adesão da folha de papel ao cilindro de Yankee e as propriedades do papel não crepado, como a espessura e a gramagem. Uma boa adesão da folha de papel ao cilindro de Yankee é obtida por um processo designado de *coating* em que se adiciona uma camada adesiva no Yankee pulverizando a superfície do cilindro com aditivos químicos através de chuveiros. Os chuveiros estão situados logo após a lâmina de crepado de forma a pulverizar só a superfície do cilindro.^[6]

As dobras ou crepes no papel *tissue* não se conseguem observar a olho nu, mas podem ser vista através de um microscópio eletrônico de varrimento, em diferentes perfectivas, na seguinte figura:

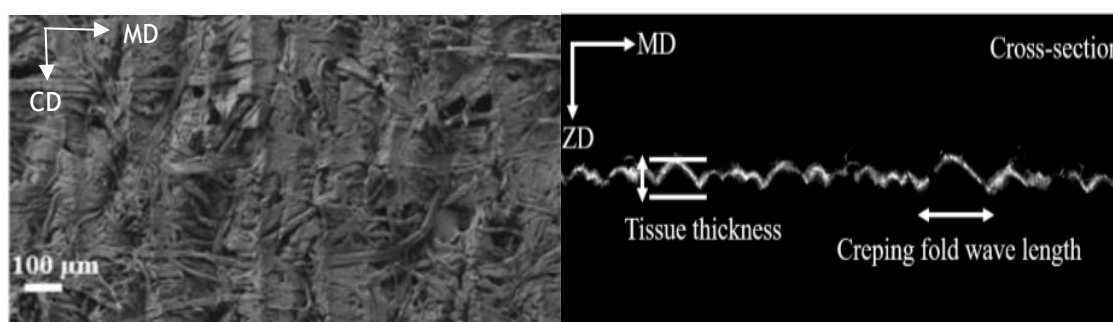


Figura 9- Imagens de um microscópio eletrônico de varrimento do papel *tissue* depois do processo de crepagem. À esquerda a imagem da superfície ilustrando a direção longitudinal/máquina e transversal e à direita a imagem da secção de corte perpendicular a superfície.^{[15], [18]}

A crepagem é outro fator que influencia as propriedades do papel conferindo-lhe um maior volume, suavidade, absorção e elasticidade, em consequência, diminui a sua resistência à tração. É de ter atenção que, quando a lâmina de crepado é trocada diminui

significativamente a espessura do papel tendo um comportamento mais agressivo do que quando já é utilizada a mais tempo.^[15]

Por fim, as bobines de papel *tissue* produzidas, conhecidas como bobines mãe, com cerca de 2,4 m de diâmetro e 2,8 m de largura podem ser encaminhadas para uma rebobinadora, se for necessário converter em bobines de menores dimensões adequadas a cada tipo de máquina de conversão. Na rebobinadora as folhas são desenroladas, cortadas e voltadas a enrolar em rolos mais pequenos. Pode-se gerar bobines de folha dupla, tripla ou quadrupla. A rebobinadora é constituída por 3 entradas no desenrolador que corresponde ao número de folhas que se pretende implementar. Para produzir bobines de folha simples alimenta-se ao desenrolador uma bobine, para folha dupla, duas bobines e para folha tripla, três bobines. Como a máquina só possui 3 entradas no desenrolador é necessário alimentar uma bobine de folha dupla e duas bobines de folha simples para se conseguir obter uma bobine de folha quadrupla. Aumenta-se o número de folhas porque como há espaço vazio entre as camadas proporciona ao papel uma maior capacidade de absorção, uma maior maciez e resistência.^[6]

No final, as bobines mãe são embaladas por um filme de polietileno e encaminhadas para o armazém onde permanecem alguns meses até serem utilizadas.

As bobines mãe são utilizadas para fabricar diferentes produtos como papel higiénico, rolos de cozinha, guardanapos, lenços e lenços faceais. Existem 3 tipos de bobines mãe, a de guardanapos, rolo de cozinha e de papel higiénico e o processo de fabrico de cada uma delas difere na gramagem ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}$), refinação, crepagem, proporção de fibra longa e fibra curta, quantidade de resina de resistência à humidade e suavizantes, entre outros parâmetros. É de notar que, uma bobine para formar papel higiénico não se adiciona a resina de resistência à humidade para que seja possível desfazer-se em água. Por outro lado, no processo de fabrico da bobine mãe para rolo de cozinha é adicionada uma maior quantidade de resina de resistência à humidade, em relação às outras bobines, tendo em conta o fim a que se destina. As bobines mãe de papel higiénico e de guardanapos são as que apresentam maior suavidade graças a adição de suavizantes enquanto que a bobine mãe de rolo de cozinha não tem adição de suavizantes.

2.2 Descrição do processo de conversão do Papel *Tissue*

A etapa final para o fabrico de produtos com papel *tissue* é o processo de conversão. A conversão é caracterizada por várias etapas como desenrolamento, enrolamento, gofragem, laminação, impressão, corte, dobragem, embalagem, ensacamento, encaixotamento e paletização. Depois destas etapas o produto é encaminhado diretamente para o cliente.^[19]

Os produtos podem ser divididos em dois grupos: os rebobinados como o rolo de cozinha e o papel higiénico pelo facto de serem desenrolados e enrolados no processo de conversão e os dobrados como os guardanapos e os lenços.

2.2.1 Rebobinados

O processo produtivo do rolo de cozinha e do papel higiénico encontra-se na figura 10:

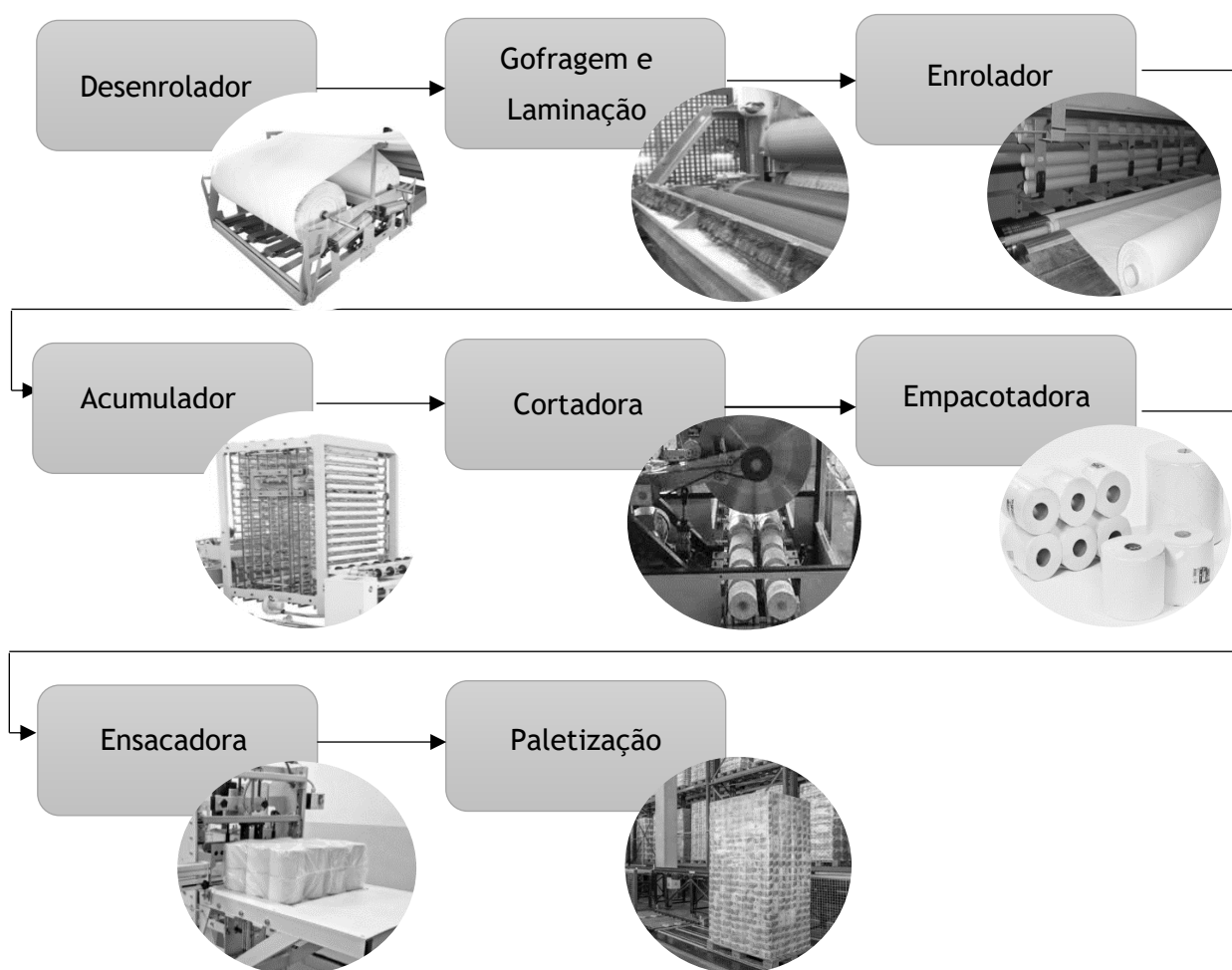


Figura 10- Processo produtivo dos Rebobinados.

O processo inicia-se com a alimentação da bobine à máquina de conversão. No caso do papel higiénico e rolo de cozinha a bobine alimentada é a bobine mãe, ou seja, a bobine não passou pela rebobinadora. São alimentadas à máquina o número de bobines correspondente ao número de folhas. De seguida, esta é desenrolada por meio de uma correia de desbobinamento e a folha é encaminhada para a secção de gofragem e laminação. A gofragem ou gravação em relevo consiste na penetração de um padrão em relevo no papel por aplicação de pressão, de

forma a produzir papéis esteticamente melhores ou como meio de identificação de uma marca. A gofragem não afeta só o papel visualmente, mas também ao nível das propriedades aumentando a sua capacidade de absorção de água, a espessura e o volume.^{[20],[19]}

O processo de gofragem também funciona como forma de união de várias camadas podendo ser utilizada cola adesiva ou não. A colagem das camadas é designada de laminação. A laminação e a gofragem normalmente ocorrem em simultâneo. Como os rebobinados são produtos de duas ou mais folhas, o método de gofragem e laminação é designado de *DESL* (*Double Embossing Single Lamination*) ou ponto-lacuna que está representado na figura 11:

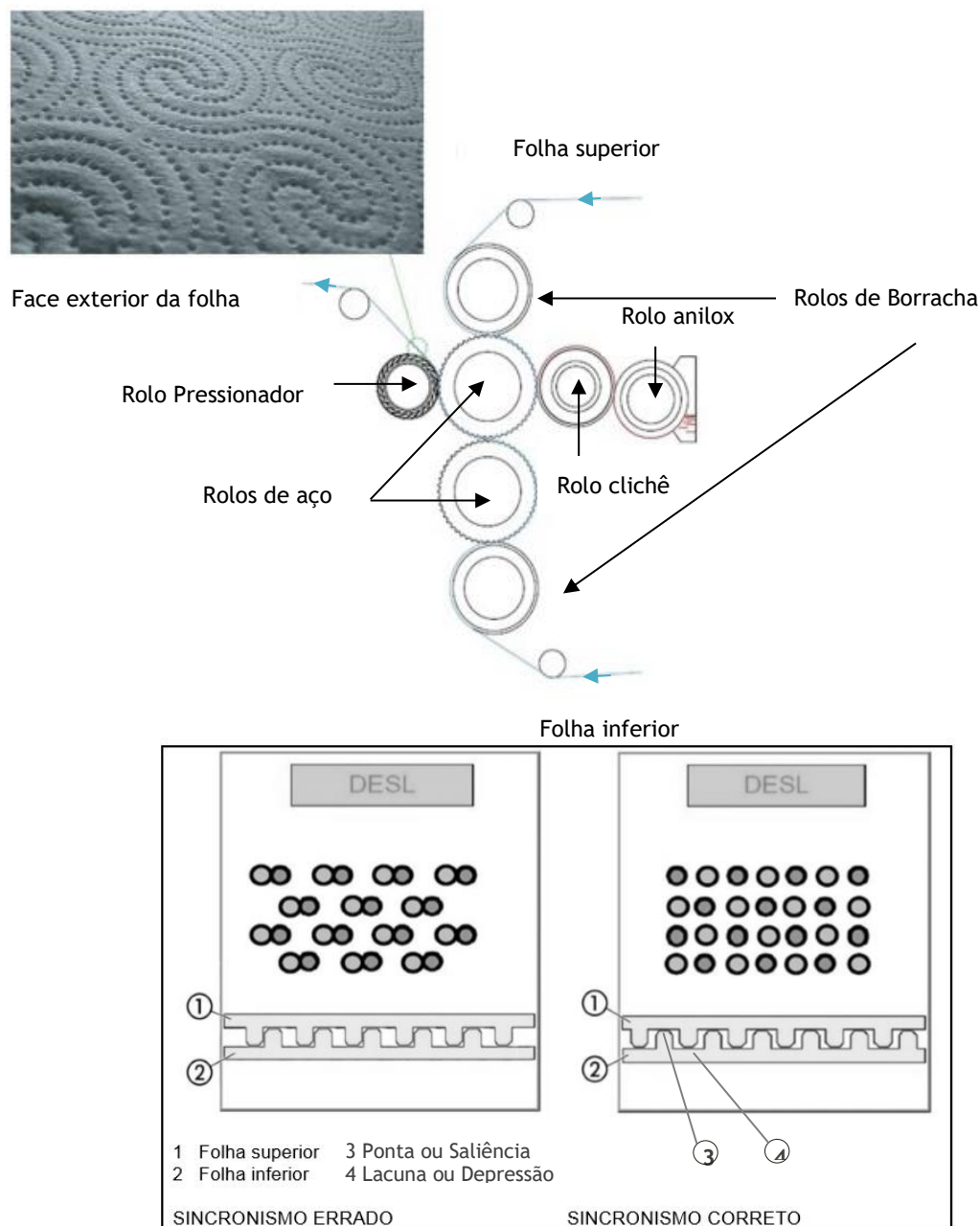


Figura 11- Representação esquemática do sistema de gofragem e laminação do tipo DESL (em cima) e sincronização correta e incorreta (em baixo).^[21]

O método de *DESL* consiste em duas unidades de gofragem separadas, uma para a folha superior e outra para a folha inferior, compostas por um rolo de aço que contém o padrão de relevo e um rolo de borracha que serve para pressionar a folha na marcação em relevo. Na folha superior é adicionado um adesivo ou cola de base aquosa pelo facto de ter uma elevada adesão a substratos porosos como a folha de papel. Esta cola também é designada de cola de laminação ou de laminagem. Na laminação, o rolo anilox é um rolo de aço com um revestimento cerâmico, que tem como função mergulhar num banho de cola e transferir a cola ao rolo clichê, existindo umas lâminas raspadoras no rolo anilox que retiram o excesso de cola. O rolo clichê que é um rolo de borracha, recebe a cola do rolo anilox e transfere a quantidade mínima necessária para a folha superior nas pontas ou saliências do rolo de aço. Pode-se adicionar um corante à cola de laminagem e assim formar um rolo decorado.

Posteriormente, as duas folhas passam por dois rolos de aço numa configuração ponto-lacuna, onde as saliências de um rolo encaixam nas depressões do outro rolo. Neste passo, é necessário obter uma sincronização correta como se pode observar na figura 11. De seguida, a folha passa num rolo pressionador ou rolo goma que é um cilindro de aço revestido a borracha para garantir uma maior eficiência na colagem das folhas.^[22]

Finalizada a etapa de gofragem e laminação, a folha passa por duas lâminas na direção transversal onde recebe o picotado e é encaminhada para o enrolador. No enrolador, a folha é enrolada num tubo de cartão, designado de mandril. O mandril é produzido numa secção paralela ao enrolador por desenrolamento de uma bobine de cartão, corte em tiras e posterior enrolamento e colagem em espiral. A cola utilizada para a formação do mandril também é de base aquosa. Os mandris à medida que são produzidos são armazenados num acumulador que vai alimentando o enrolador. Assim, se o enrolador sofrer uma paragem não afeta a produção de mandris. A folha é então enrolada num mandril levando a chamada cola de arranque para prender a folha ao mandril e a cola de fecho para selar o rolo, ambas de base aquosa, obtendo-se assim um rolo comprido intitulado de vara. As varas são dirigidas a um acumulador com a mesma função do acumulador de mandris para que se consiga evitar interrupções se houver uma paragem nas secções a jusante.

Na cortadora, as varas são cortadas em rolos mais pequenos e existe a formação de aparas que consiste no desperdício de rolo do início e do fim da vara. Os rolos já com as dimensões desejadas são encaminhados para a empacotadora para serem embalados. É utilizado filme de polietileno ou polipropileno já com a identificação da marca e os rolos vão sendo embalados tendo em conta o número de rolos pretendidos em cada *pack*. Nesta unidade também ocorre a impressão do lote que se caracteriza pela identificação da linha, da hora e do dia juliano que o produto foi feito possibilitando um controle e rastreabilidade do mesmo.

Por exemplo, em caso de alguma reclamação de um cliente é possível ter uma ação mais específica e direcionada tornando-se o processo corretivo mais simples e rápido.

Por fim, os *packs* são embalados em sacos e os sacos são agrupados em cima de uma paleta que é envolvida por um filme estirável de polietileno linear de baixa densidade. Posteriormente, a paleta é etiquetada e segue depois para o armazém automático.

O processo produtivo do papel higiênico e do rolo de cozinha é semelhante o que difere são as características da bobine que alimenta a máquina de conversão e o desenho da marcação em relevo nos rolos de aço. É de realçar também que no fabrico do papel higiênico não é necessário ter uma sincronização dos rolos de aço em comparação com o fabrico dos rolos de cozinha.

2.2.2 Dobrados

Guardanapos

Os guardanapos são formados por um processo de conversão que se encontra na figura 12:

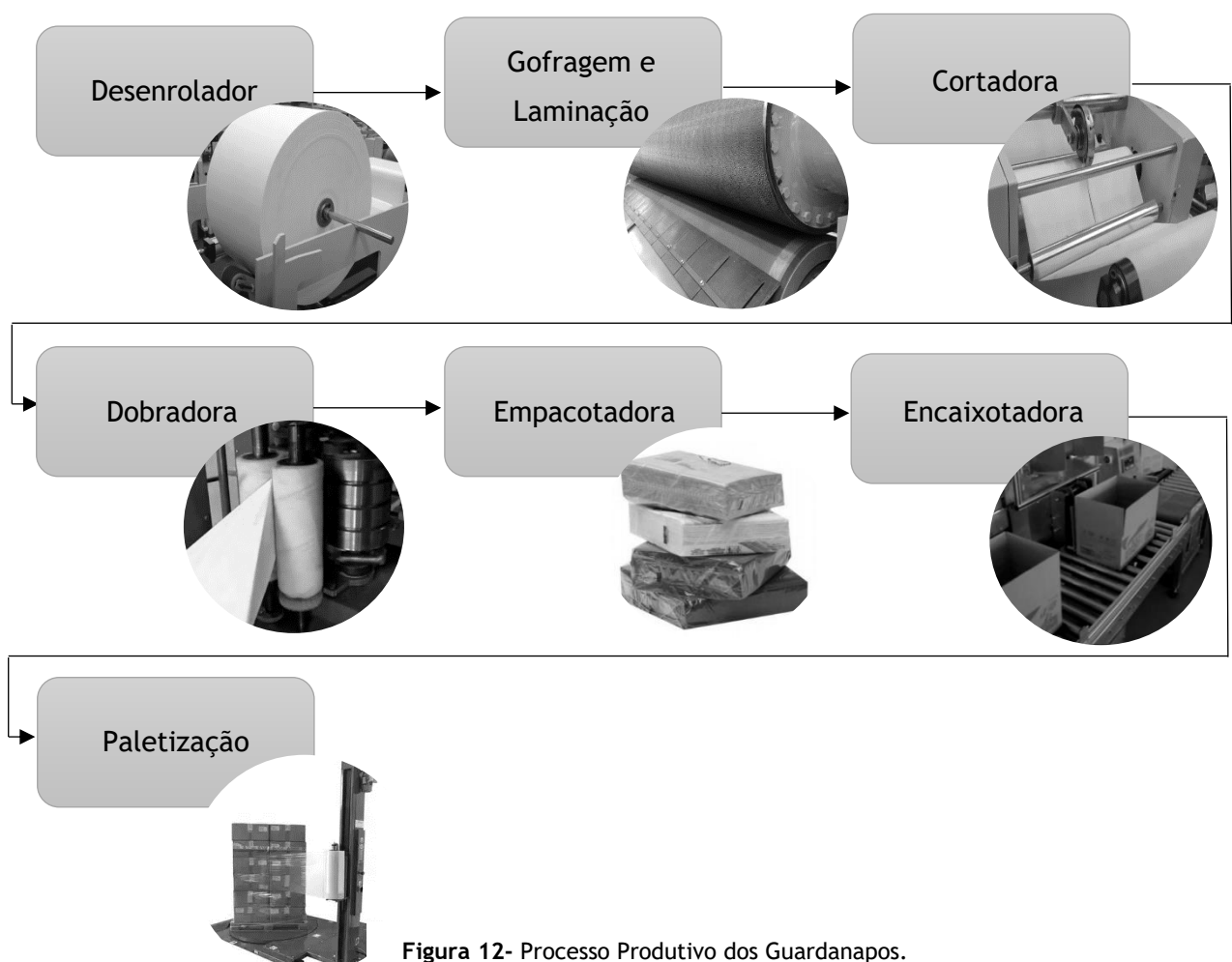


Figura 12- Processo Produtivo dos Guardanapos.

A bobine alimentada à máquina de guardanapos é uma bobine que foi rebobinada podendo ser constituída por folha simples ou folha dupla dependendo do tipo de produto a ser formado. O rolo é colocado no desenrolador de modo a que o papel seja desbobinado e a folha passa então para a unidade de gofragem. A gofragem pode ser de dois tipos, gofragem aço-aço ou ponto-ponto e gofragem aço-borracha:

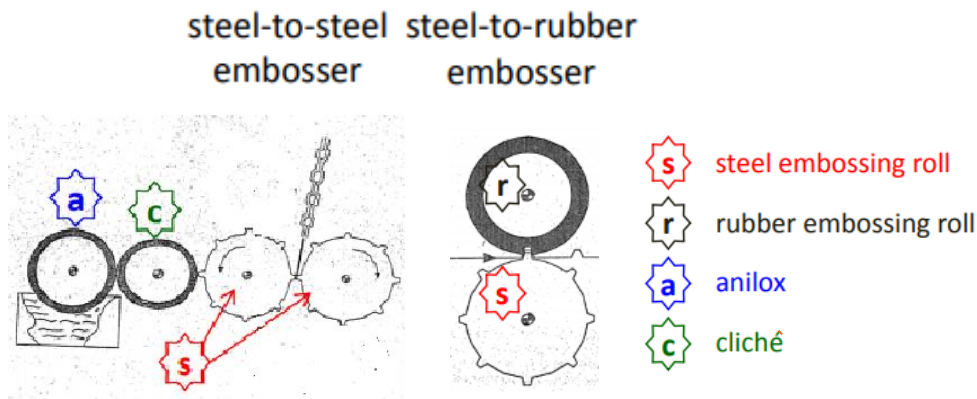


Figura 13- Representação dos dois tipos de gofragem utilizadas em guardanapos. [23]

Na gofragem aço-aço é alimentada à máquina uma bobine de folha dupla e as folhas são separadas, uma é encaminhada para um rolo de aço que recebe a cola pelo mesmo sistema que os rebobinados, e a outra é dirigida para a superfície do outro rolo de aço. De seguida, as duas folhas passam por os dois rolos de aço numa configuração ponto-ponto, onde as saliências de um rolo encaixam nas saliências do outro. Assim, neste processo não é necessário um rolo pressionador porque a colagem já é bem-sucedida nos rolos de aço, resultando assim num guardanapo de folha dupla ponto-ponto. Na gofragem aço-borracha a folha simples ou folha dupla é direcionada para um par de rolos gofradores em que um é revestido por borracha e o outro é constituído por aço com a marcação em relevo. Neste tipo de gofragem não é adicionada cola adesiva e a junção das folhas, no caso da folha dupla, resulta da pressão aplicada entre os rolos. A gofragem aço-borracha pode ser dividida em 2 tipos: gofragem de borda, cercadura ou de quadro e gofragem contínua:

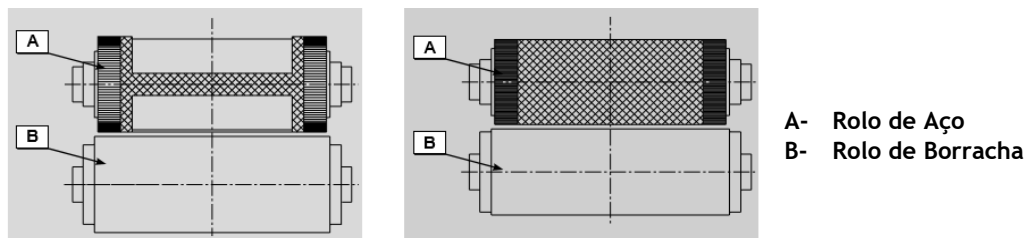


Figura 14- Representação dos dois tipos de gofragem aço-borracha. A gofragem de borda à esquerda e a gofragem contínua à direita.

Na gofragem de borda o papel é gravado somente nas bordas enquanto que na gofragem contínua é gravada toda a superfície do papel. Assim, é possível obter os guardanapos de folha simples contínua e guardanapos de folha dupla cercadura. Após o processo de gofragem, segue-se o corte da folha de papel ao meio através de uma lâmina circular a fim de se obter duas faixas de papel com a largura desejada do guardanapo. É de ter atenção que, na Figura 14 está representado um rolo de aço com gofragem de borda para uma folha de papel já com a largura do guardanapo. Normalmente, o que se produz são dois guardanapos em simultâneo e assim, o rolo gofrador corresponde ao duplicado do que está representado na Figura 14. Posteriormente, a folha passa numa chapa de dobra com a forma de um V que realiza a primeira dobra ao longo do comprimento do papel e dirige-se depois aos cilindros de dobra onde o papel é sujeito a um mecanismo de pinçamento e então é feita a segunda dobra transversal, o corte, e o guardanapo é solto. No final, com a ajuda de um transferidor automático o papel é contado, agrupado e transportado para a empacotadora já com o número exato de guardanapos para cada *pack*. A empacotadora à medida que vai embalando os packs também vai colocando o lote nos produtos de igual modo que os rebobinados.

Os guardanapos são armazenados em caixas de cartão, portanto os *packs* são encaminhados para uma encaixotadora. A encaixotadora é composta por um elevador que dispõem os *packs* de guardanapos em filas, formando um arranjo pré-estabelecido, e por um empurrador que após as filas estarem todas posicionadas as coloca dentro da caixa. A caixa de cartão foi previamente montada para receber os *packs* por abertura da mesma e colagem da parte inferior com cola quente ou fita cola. Após a caixa estar completa segue para uma zona de selagem da parte superior com a mesma cola. Por último, as caixas são amontoadas numa palete que é envolvida por um filme estirável, etiquetada e enviada para o armazém automático.

Lenços de Papel

O processo produtivo dos lenços de papel é similar ao dos guardanapos pelo que, uma bobine de folha tripla ou de folha quadrupla, obtida por rebobinagem de bobines mãe de guardanapos, é alimentada à máquina de conversão. A bobine é desenrolada e ocorre a aplicação de uma gofragem aço-borracha do tipo cercadura ou de borda. De seguida, a folha segue para a unidade de corte longitudinal que a divide ao meio. Após o corte, o papel é conduzido para uma chapa de dobra com a forma de um Z que efetua duas dobras ao longo do comprimento do papel.

Posteriormente, é realizado um corte transversal no comprimento pretendido e os papeis individuais dobrados longitudinalmente são arrastados para os cilindros de dobra. Os

cilindros de dobra efetuam duas dobras transversais em direções opostas obtendo-se assim um lenço de folha tripla ou quadrupla.

Os lenços formados passam para uma unidade de contagem onde são contados e reunidos em pilhas com um número exato de lenços. De seguida, são transportados para uma empacotadora para serem embalados em *packs* individuais. Nos *packs* individuais é aplicado um picotado radial juntamente com uma fita, chamada fita de fechamento, que consiste numa fita de plástico com um adesivo para que seja possível uma abertura e fecho fácil dos mesmos. Os *packs* individuais depois são embalados tendo em conta o número de *packs* individuais pretendidos em cada *pack* de lenços. Por últimos, nos *packs* de lenços é então impresso o lote e os processos a jusante são semelhantes aos guardanapos.

3 Materiais e Métodos

De forma a comparar as propriedades das bobines mãe medidas na Fortissue com as propriedades do respetivo produto transformado como papel higiénico, rolo de cozinha, guardanapos e lenços medidas na Suavecel, foram selecionados 8 tipos de produtos para serem estudados. Primeiramente, classificaram-se os produtos para facilitar a sua comparação tendo em conta a bobine mãe que lhes deu origem, a rebobinagem, a gramagem, a gofragem, a decoração, o número de folhas e por fim o tipo do produto como se pode observar na tabela 1.

No Apêndice A encontram-se os vários tipos de produtos e as imagens das diferentes gofragens aplicadas.

Tabela 1-Tipos de produtos estudados.

Nome Produto	Bobine mãe	Rebobinado	Gramagem (g·m ⁻²)	Gofragem	Decorado	Nº Folhas	Tipo
GD 19 FS	GD	Sim	19	Contínua	Não	1	Guardanapos de Folha Simples
GD 15 FD-C	GD	Sim	15	Cercadura	Não	2	Guardanapos de Folha Dupla
GD 15 FD-PP	GD	Sim	15	Ponto-ponto	Sim	2	Guardanapos de Folha Dupla
Lenços FT	GD	Sim	15	Cercadura	Não	3	Lenços de Folha Tripla
RC 20 Comp	RC	Não	20	DESL	Sim	2	Rolo de Cozinha Compact
RC 21 Stan	RC	Não	21	DESL	Não	2	Rolo de Cozinha Standard
RC 21 Comp	RC	Não	21	DESL	Não	2	Rolo de Cozinha Compact
PH 16 Stan	PH	Não	16	DESL	Não	2	Rolo de Cozinha Standard

O tipo de produto está relacionado com o número de folhas no caso dos guardanapos e dos lenços e do ponto de vista dos rolos de cozinha e do papel higiénico o produto é intitulado de *standard*, quando é um produto padrão com dimensões exatas e de *compact*, quando o produto contém um gofrado menos acentuado devido à aplicação de uma menor pressão entre os rolos gofradores. Assim, esse produto apresenta menor volume e contém mais papel para o mesmo diâmetro do rolo.

De seguida, os produtos da Suavecel bem como as bobines mãe da Fortissue foram submetidos a testes para avaliar as suas propriedades físicas, mecânicas e óticas como a gramagem, a espessura, o brilho e a resistência à tração a seco e a húmido.

Gramagem

A gramagem do papel é definida como a massa da amostra por unidade de área. Para determinar a gramagem dos produtos, no caso dos guardanapos e do rolo de cozinha, utilizou-se uma guilhotina circular com uma área de corte de 100 cm² e uma base de corte. Foram sobrepostos 5 serviços abertos de cada produto sobre a base de corte, realizou-se o corte, e as rodelas de papel resultantes foram posteriormente pesadas numa balança analítica.



Figura 15- Guilhotina circular e base de corte. [24]

Como a área de corte e a massa da amostra são conhecidas foi possível determinar a gramagem (g·m⁻²) a partir da equação 2:

$$Gramagem = \frac{massa}{\text{área} \times n^{\circ} \text{ de folhas}} \quad (2)$$

Para os produtos como o papel higiénico e os lenços a gramagem foi obtida pesando-se individualmente 5 serviços de cada produto e a área foi calculada através da medição do comprimento e da largura de cada serviço.

Para a determinação da gramagem das bobines mãe na Fortissue, foi retirada uma amostra do final da bobine mãe. De seguida, a amostra foi dobrada e cortada na guilhotina circular e obteve-se 6 rodelas de papel que foram posteriormente pesadas na balança analítica e a gramagem foi obtida pela equação 2. Por último, a gramagem dos produtos e das bobines mãe foi calculada pela média das gramagens dos ensaios realizados.

Espessura

A espessura dos produtos pode ser medida através de um equipamento chamado medidor de espessura ou micrómetro. O micrómetro é designado como um método de contacto porque possui um pé de pressão que aplica uma força de compressão sobre a amostra numa

determinada área e mede com uma elevada rapidez e precisão a distância entre as duas faces do papel. Este equipamento é capaz de testar vários tipos de materiais nomeadamente papéis *tissue* com relevo ou sem relevo, filmes de plástico, têxteis, entre outros. Dependendo do tipo de material a testar é necessário configurar determinados parâmetros críticos como a pressão aplicada, diâmetro do pé de pressão e o tempo de permanência do pé de pressão em contacto com a amostra de modo a ter uma medição mais precisa.^[25]

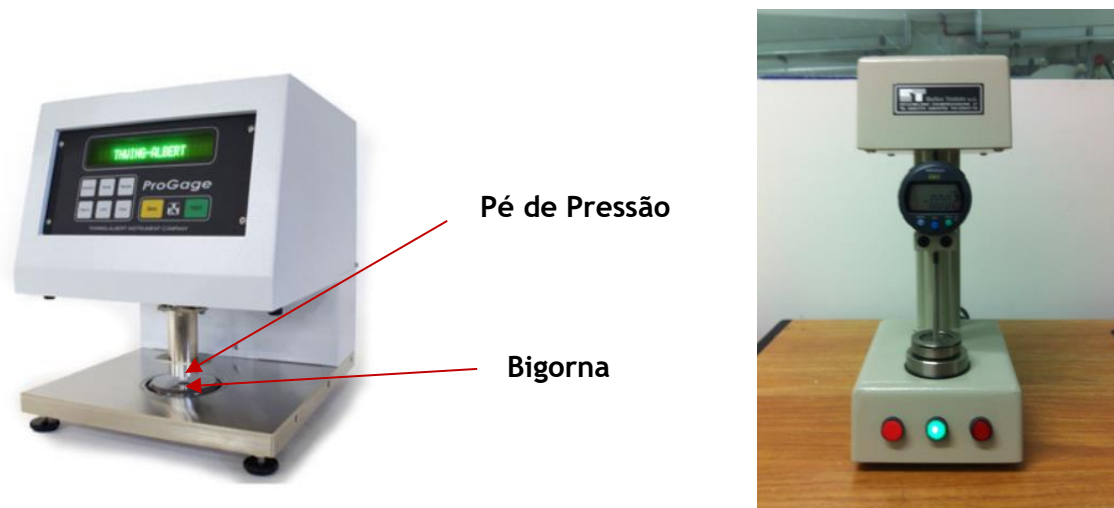


Figura 16- Medidor de espessura da Suavecél à esquerda e Medidor de espessura da Fortissue à direita.^[25]

Pela visualização da figura 16 é de notar que o equipamento da Suavecél e da Fortissue tem uma geometria diferente, adequada a cada tipo de material a testar.

A bigorna, ou base circular, é responsável por garantir um elevado paralelismo, um contacto completo do pé de pressão com a amostra e permite a calibração do zero. Nos produtos que apresentam relevo ou gofrado o micrómetro mede a máxima espessura da amostra.^[25]

A espessura dos produtos e das bobinas mãe foi medida colocando-se as rodela de papel cortadas através da guilhotina circular ou o serviço aberto, uma após a outra, entre a bigorna e o pé de pressão. Automaticamente, o instrumento indicou o valor da espessura em micrómetros e calculou-se a média das medições. É de ter atenção que, nos produtos que apresentam gofragem cercadura ou de borda como os guardanapos e os lenços realizou-se a medição da espessura na zona onde não apresentava relevo.

Brilho

O brilho do papel relaciona-se com as suas propriedades óticas e o termo é frequentemente confundido com a sua brancura. O brilho é definido como a quantidade de luz refletida por uma superfície de papel num comprimento de onda específico de 457 nm (região

azul do espectro) quando exposto a uma fonte de luz. Por outro lado, a brancura é uma medida da refletância da luz em todos os comprimentos de onda da região do espectro visível. Assim, como a medição do brilho ignora a quantidade refletida pelos outros comprimentos de onda é importante fazer-se a sua distinção.^[26]

A medição do brilho na Suavecél foi possível, utilizando-se um espectrofotômetro de bancada. Este equipamento é indicado para medir superfícies irregulares ou volumosas com maior precisão e exatidão e é constituído por: uma fonte de luz ou iluminante, uma esfera integradora e uma matriz de fotodetetores ou recetores.^{[27],[28]}

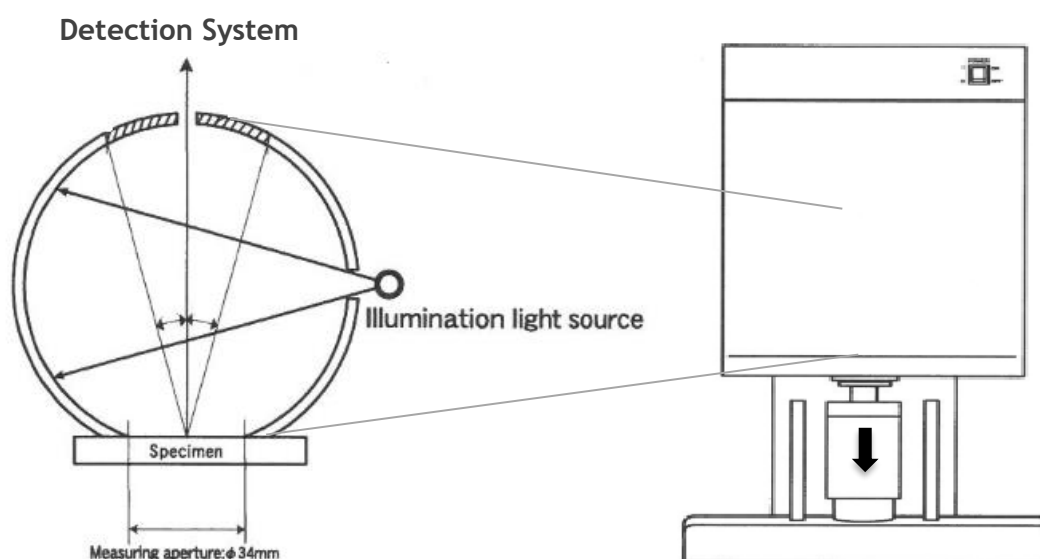


Figura 17-Princípio de funcionamento de um espectrofotômetro com esfera integradora. ^[27]

A amostra foi colocada entre a abertura inferior da esfera integradora e um suporte móvel e exposta a uma radiação difusa proveniente de um iluminante. A luz refletida foi medida na direção normal à superfície da amostra através de um sistema de detecção. O sistema de detecção é constituído por uma matriz de fotodetetores ou recetores. Estes fotodetetores produzem um sinal elétrico que é proporcional à quantidade de luz refletida. Cada detetor mede a quantidade de luz refletida a um comprimento de onda específico. Assim, obtém-se o fator de refletância numa gama alargada de comprimentos de onda. Como se está a medir o brilho, só é medido o fator de refletância para o comprimento de onda de 457 nm.^[28]

Os iluminantes mais utilizados na indústria do papel encontram-se padronizados pela CIE (Comissão Internacional da Iluminação) e podem ser de dois tipos:

- Iluminante D65: representa a luz do dia incluindo a região de comprimento de onda ultravioleta com uma temperatura de 6504 K;
- Iluminante C: representa a luz do dia que não inclui a região de comprimento de onda ultravioleta com uma temperatura de 6774 K;

Os detetores apresentam um ângulo de detecção que corresponde ao ângulo com a normal à superfície do papel. Esse ângulo de detecção é chamado de observador padrão. Os observadores padrões também se encontram padronizados sendo de dois tipos: o observador a 2° em que o ângulo de detecção corresponde a 2° em relação à normal da superfície e o observador a 10° .^[29]

A esfera integradora é revestida por um material branco que apresenta uma reflexão difusa próxima de 100%, permitindo uma exposição homogênea da amostra a radiação difusa em vez de ser iluminada diretamente pela fonte de luz.^[28]

Para efetuar a medição do brilho foi necessário realizar uma calibração prévia do equipamento, primeiramente fez-se a calibração do zero colocando-se uma cavidade preta entre as bases circulares. Esta apresenta um fator de refletância que se aproxima dos 0% e posteriormente, utilizou-se um material branco que representa um refletor perfeito com um fator de refletância próximo de 100% para fazer a calibração do branco.

De seguida, retiram-se alguns serviços do produto a analisar, dobraram-se e colocaram-se entre as bases circulares de modo a formar uma camada opaca e assim, garantir que a espessura da amostra não influencia o fator de refletância medido. Em cada medição, foi movida a amostra de modo a medir o brilho em regiões distintas. Como o equipamento indica dois valores de brilho em cada medição foram feitas 3 medições a cada produto e calculadas as respetivas médias.

O brilho foi medido na Fortissue com a ajuda de um equipamento chamado colorímetro de refletância. Este equipamento é mais simples e barato, porém apresenta uma menor precisão para medições mais complexas.



Figura 18- Colorímetro de refletância. ^[30]

O colorímetro é composto por uma fonte de luz interna que ilumina a superfície da amostra e à medida que a luz é refletida passa por 3 filtros óticos: o azul, o verde e o âmbar.

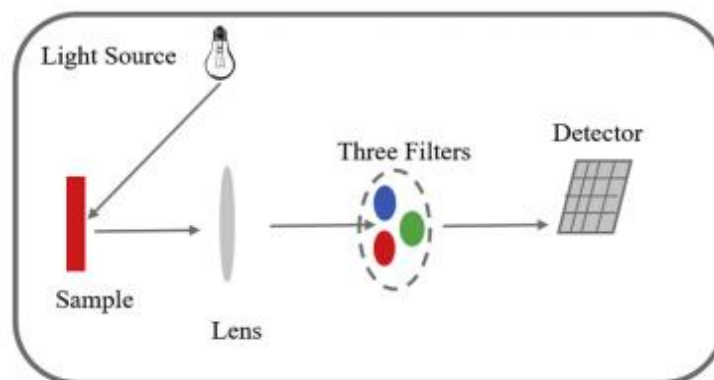


Figura 19- Princípio de funcionamento de um Colorímetro de refletância. ^[31]

Estes filtros óticos apenas deixam atravessar a radiação no seu comprimento de onda específico. Portanto, para a medição do brilho foi realizada a calibração do zero utilizando-se uma cavidade preta seguida da calibração do branco com um material branco e foi selecionado só o filtro azul no visor do equipamento. A amostra da bobine mãe foi colocada sob a fonte de luz e efetuaram-se 5 medições em regiões distintas da mesma. Desta forma, permitiu que a radiação refletida fosse fracionada de modo a passar só no filtro azul e assim o detetor mediu só a radiação refletida no comprimento de onda da região do azul. Obtendo-se assim o brilho de cada amostra pela média das medições realizadas. ^{[30],[32]}

Resistência à Tração a Seco e a Húmido

Para determinar a resistência à tração na Suavecel que corresponde à máxima tensão suportada pelo papel até ocorrer rutura e o respetivo alongamento, utilizou-se um equipamento designado de dinamómetro. Começou-se por sobrepor 8 serviços de um produto e com o auxílio de uma guilhotina foram cortadas tiras de papel com uma largura de 15 mm e um comprimento suficiente para se poder fixar entre as garras do equipamento. As tiras de papel foram cortadas em dois sentidos: no sentido longitudinal (ou sentido da máquina) e no sentido transversal.

Durante o processo de fabrico do papel *tissue*, as fibras tendem a orientar-se na direção do movimento na máquina de papel e então é definido como sentido longitudinal o sentido do movimento da máquina (ou o sentido do enrolamento da bobine de papel) e sentido transversal o sentido perpendicular a este. Assim, para o caso dos produtos o sentido longitudinal é visto como o sentido de desenrolamento da bobine de papel *tissue* na máquina de conversão e o sentido transversal o sentido perpendicular ao mesmo.

De forma a realizar os testes de resistência à tração a seco e a húmido foram cortadas 16 tiras de papel no sentido longitudinal e 16 tiras de papel no sentido transversal. O dinamómetro utilizado para os testes encontra-se na figura seguinte:



Figura 20-Dinamómetro configurado para teste a seco à esquerda e o dispositivo de frinch utilizado para teste da resistência à tração a húmido à direita.^[33]

Para realizar os testes a seco, primeiro ajustou-se a distância entre as garras do equipamento para 100 mm ou 70 mm dependendo do produto a ser testado. Para guardanapos, lenços e rolo de cozinha utiliza-se uma distância de 100 mm e para papel higiénico uma distância de 70 mm. Posteriormente, foram fixadas 8 tiras de papel na garra superior do mesmo sentido e uma delas foi presa na garra inferior de modo a estar o mais vertical possível e sem folgas. De seguida, foi efetuado o zero e iniciou-se o teste. O equipamento mantém a garra superior fixa enquanto que a garra inferior é puxada a uma velocidade constante de 50mm/min produzindo uma taxa de deformação contante no papel. O ensaio é levado até a rutura do papel e após a rutura é fixada outra tira de papel na garra inferior e o processo repete-se sucessivamente até serem testadas as 8 tiras de papel no sentido longitudinal e no sentido transversal. Terminando-se os testes para um sentido das 8 medições efetuadas foram selecionados 5 pontos concordantes sendo os outros eliminados.

O dinamómetro mede a força que é necessário exercer até à rutura do material bem como o seu alongamento, em %. Para calcular a resistência à tração ($\text{N}\cdot\text{m}^{-1}$) que é definida como uma tensão de rutura utilizou-se a equação 3:

$$\text{Resistência à tração} = \frac{\text{Força}}{\text{Largura inicial}} \quad (3)$$

A largura inicial diz respeito à largura da tira de papel antes de ser tracionada que corresponde a 15 mm. Por fim, o equipamento indica diretamente a média das forças dos 5

ensaios e do alongamento e é calculada então a resistência à tração pela equação 3 em ambos os sentidos.

Para realizar o teste de tração a húmido as amostras foram colocadas previamente numa estufa durante 15 min a 105°C de modo a retirar toda a humidade da amostra. Seguidamente, utilizou-se um utensílio chamado dispositivo de *frinch* para a medição, foi colocado na garra inferior e enchido com água desionizada. Uma tira de papel foi passada pela haste do dispositivo e as suas extremidades foram fixadas na garra superior de forma a não conter folgas. De seguida, elevou-se o compartimento com água até uma posição superior e manteve-se o papel mergulhado durante 2 segundos, voltando-se a baixar de seguida. Após a amostra ter sido molhada foi iniciado o teste, repetindo-se o mesmo processo para as 8 tiras de papel de cada sentido. Do mesmo modo que o processo a seco, foi calculada a resistência à tração a húmido e o alongamento nos dois sentidos.

Na Fortissue o equipamento utilizado para determinar a resistência à tração das amostras das bobines mãe é chamado de dinamómetro horizontal que apresenta um princípio de funcionamento similar ao equipamento da Suavecel.



Figura 21-Dinamómetro Horizontal à esquerda e método de medição da resistência à tração a húmido à direita.^[34]

No Dinamómetro Horizontal são usadas tiras de papel com 50 mm de largura e um comprimento adequado ao equipamento. Da mesma forma que o teste efetuado na Suavecel, são cortadas na guilhotina 16 tiras de papel no sentido longitudinal e 8 tiras de papel no sentido transversal. Na Fortissue não é realizado o teste de resistência à tração a húmido no sentido transversal.

Para o teste de resistência à tração a seco uma tira de papel é colocada de cada vez sobre as duas garras do equipamento sem a presença de folgas e é realizado o teste. O teste ocorre também a uma taxa de deformação constante com uma garra fixa e a outra garra móvel sendo levado até à rutura. No final dos ensaios é calculada a resistência à tração a seco dos 5 ensaios selecionados, pela equação 3, as respetivas médias e a média do alongamento é obtida diretamente do equipamento.

Para a medição da resistência à tração a húmido as tiras de papel foram também levadas previamente para uma estufa durante 15 min a 105°C, mas não foi necessário nenhum utensílio adicional para a medição. Colocou-se uma tira de papel entre as garras e o próprio equipamento encolheu a mesma fazendo-a mergulhar num reservatório com água desionizada como se pode observar na figura 21. Depois a tira de papel foi tracionada e repetiu-se o processo para as outras tiras de papel. No final, obteve-se a média das resistências à tração a húmido e o respetivo alongamento de modo semelhante às resistências à tração a seco.

4 Resultados e Discussão

Após a realização dos testes físicos nos 8 tipos de produtos a serem estudados procedeu-se à identificação das bobines mãe que lhes deram origem. Para isso, consultou-se o lote de cada produto e assim foi possível identificar os lotes das bobines mãe que os originaram, assim como suas propriedades físicas, mecânicas e óticas. No caso dos produtos formados a partir de bobines rebobinadas, como os guardanapos e os lenços primeiro, foi identificado o lote da bobine rebobinada e só depois os lotes das bobines mãe e as suas propriedades.

É de realçar que as bobines mãe são testadas logo após a sua formação, sendo depois armazenadas durante alguns meses. Quando é necessária a sua utilização, as bobines são colocadas na máquina de conversão para formar os vários tipos de produtos. Por isso, um produto testado agora pode ter uma bobine mãe que já se encontra testada há vários meses.

De seguida, foi feita uma comparação das propriedades medidas nas bobines mãe com as propriedades medidas nos produtos transformados a partir das mesmas de modo a avaliar a alteração das propriedades ao longo do processo. Para isso, foram calculadas variações das propriedades, em %, da bobine mãe para o respetivo produto transformado. Os resultados para cada tipo de produto encontram-se no Apêndice B. Posteriormente, foram calculadas as médias das variações das propriedades e o desvio padrão para cada tipo de produto e os produtos foram agrupados no mesmo gráfico para cada propriedade de forma a ser possível a sua comparação.

Por fim, foram realizadas análises de várias amostras de bobines mãe num microscópio eletrónico de varrimento à superfície e na secção de corte longitudinal para verificar a orientação das fibras de celulose e a influência da gramagem do papel *tissue* no processo de crepagem, respetivamente.

4.1 Variações das Propriedades da Bobine mãe para o Produto transformado

4.1.1 Variação da gramagem

As médias das variações da gramagem juntamente com as barras do desvio padrão de cada produto medidas das bobines mãe para o produto transformado encontram-se na figura 22:

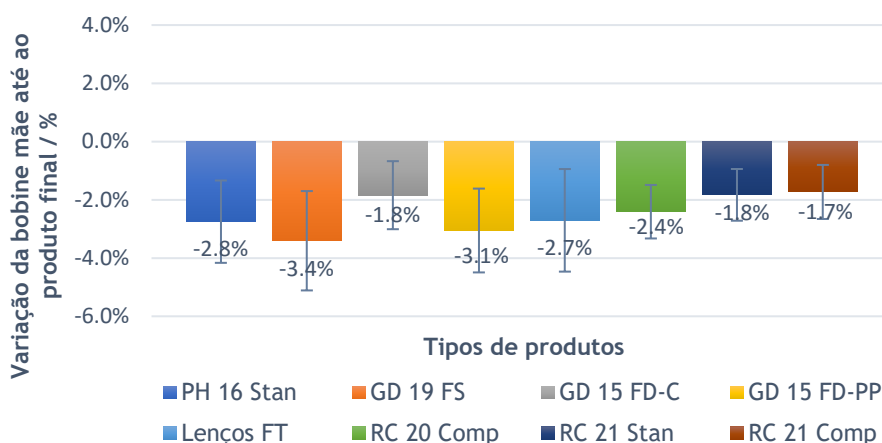


Figura 22-Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.

É de reparar pela visualização da figura 22 que a gramagem de todos os produtos diminui ao longo do processo. Visto que o papel *tissue* exibe um comportamento de um material viscoelástico, quando está sujeito a tensões baixas apresenta um comportamento elástico reversível retomando ao seu estado inicial quando a tensão é retirada, mas quando é sujeito a tensões mais altas apresenta uma deformação plástica irreversível. Como as bobines de papel *tissue* antes de serem alimentadas à máquina de conversão podem ser rebobinadas, ou seja, são desenroladas, cortadas e voltadas a enrolar em bobines de menores dimensões o papel sofre tensões elevadas que o deformam plasticamente como é o caso das bobines para produzir guardanapos e lenços. Posteriormente, a bobine é desenrolada e segue para a secção de gofragem, corte e dobragem onde também ocorre o esticamento do papel.

As bobines mãe para formar o papel higiénico e o rolo de cozinha apesar de não ocorrer rebobinagem nas mesmas, antes do processo de conversão, no próprio processo de conversão são desenroladas e voltadas a enrolar no mandril de cartão, o que expõe também o papel a tensões elevadas, ocorrendo o seu estiramento.

O que comprova este comportamento para todos os produtos é o facto de as máquinas operarem a grandes velocidades e o papel estar constantemente a quebrar durante o processo de conversão. Assim, constata-se que todos os produtos diminuem a gramagem porque o papel é esticado constantemente durante o processo, sofrendo uma deformação plástica e consequentemente diminui a quantidade de massa pela sua área.

4.1.2 Variação da espessura

Os resultados das médias das variações da espessura bem como o desvio padrão desde a medição na bobine mãe até à medição no produto final podem ser observados na figura 23:

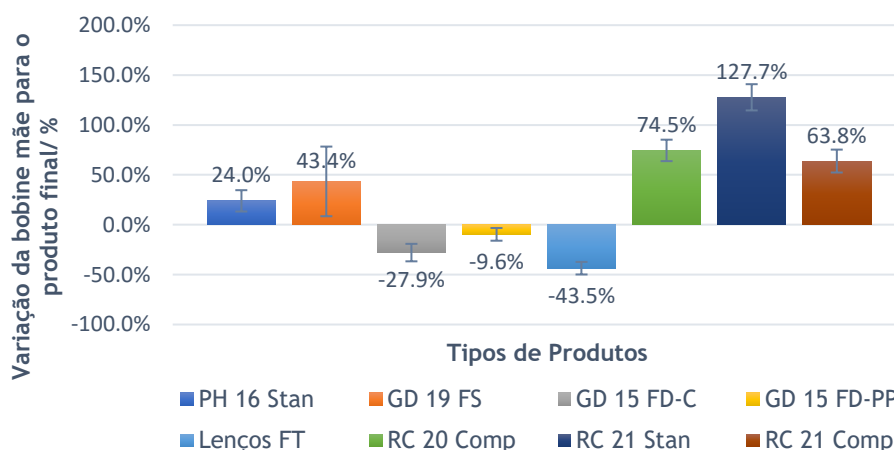


Figura 23- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.

Verifica-se que os produtos que apresentam gofragem cercadura como os lenços e os guardanapos a espessura diminui da bobine mãe para o produto transformado devido ao estiramento do papel ao longo do processo. Como a medição é realizada na superfície que não levou gofragem consegue-se evidenciar a redução da espessura.

Nos guardanapos com gofragem ponto-ponto observa-se que a espessura diminui da bobine mãe para o produto final. Embora o papel esteve sujeito durante a gofragem a um aumento do seu volume, o relevo aplicado é pouco acentuado. Então, o papel perdeu mais espessura durante o estiramento do que a que foi incrementada na gofragem.

Nos outros produtos a espessura aumentou uma vez que durante o processo de gofragem foram expostos a uma gofragem mais carregada que proporciona ao papel um maior volume e consequentemente uma maior espessura. Dentro dos rolos de cozinha, o rolo *standard* tem um maior aumento da espessura em comparação com os outros dois rolos porque a pressão aplicada nos rolos gofradores é muito maior do que um produto compacto. Deste modo, um produto compacto como apresenta menor volume e espessura, para o mesmo diâmetro do rolo contém mais papel do que um produto *standard*.

4.1.3 Variação do brilho

Na figura 24 estão presentes as médias das variações do brilho bem como o desvio padrão para os vários tipos de produtos ao longo do processo:

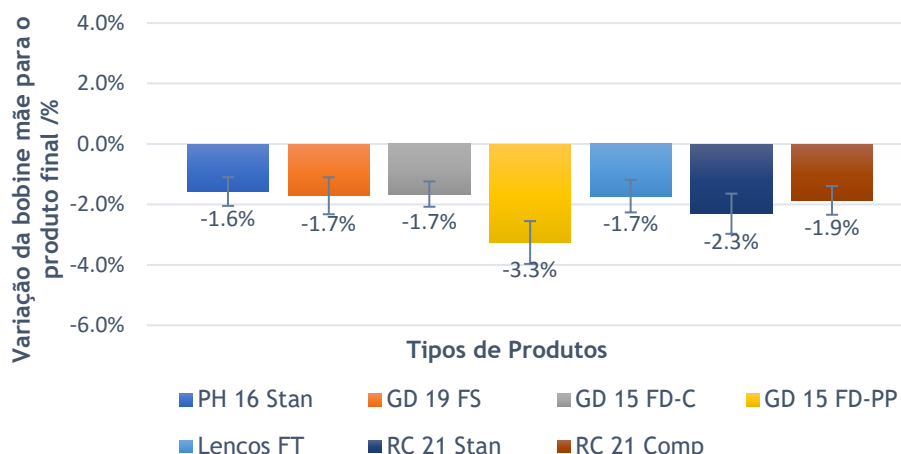


Figura 24- Variação do brilho da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.

Pela observação da figura 24 verifica-se que o brilho diminui da bobine mãe para o produto final em todos os tipos de produtos. É de ter em atenção que o brilho não foi medido no rolo de cozinha de gramagem 20 g m^{-2} compacto porque este produto é decorado e não contém uma área de papel branca suficiente para a medição. Contudo, o equipamento utilizado para cada medição tem um método de funcionamento diferente. Enquanto que no equipamento da Suavecél a determinação do brilho baseia-se numa matriz de fotodetetores onde cada um deles é específico para cada comprimento de onda, o equipamento da Fortissue utiliza filtros óticos que selecionam a radiação para ser posteriormente medida no detetor. Posto isto, não é possível concluir nada sobre a variação do brilho ao longo do processo visto que os métodos de medição tem princípios de funcionamento distintos.

De forma a comprovar que o brilho efetivamente não diminui da bobine mãe para o produto transformado dado que, não são adicionados nenhuns aditivos que influenciem a cor do papel, mediu-se uma mesma amostra nos dois equipamentos e o equipamento da Fortissue apresentou valores superiores de brilho do que o equipamento da Suavecél. O que sugere que o brilho permanece contante ao longo do processo.

4.1.4 Variação da resistência à tração e do alongamento a seco no sentido longitudinal

Os valores médios das variações da resistência à tração a seco assim como do alongamento até a rutura no sentido longitudinal e as barras do desvio padrão da bobine mãe para o produto podem ser visualizados na figura 25 e na figura 26, respetivamente.

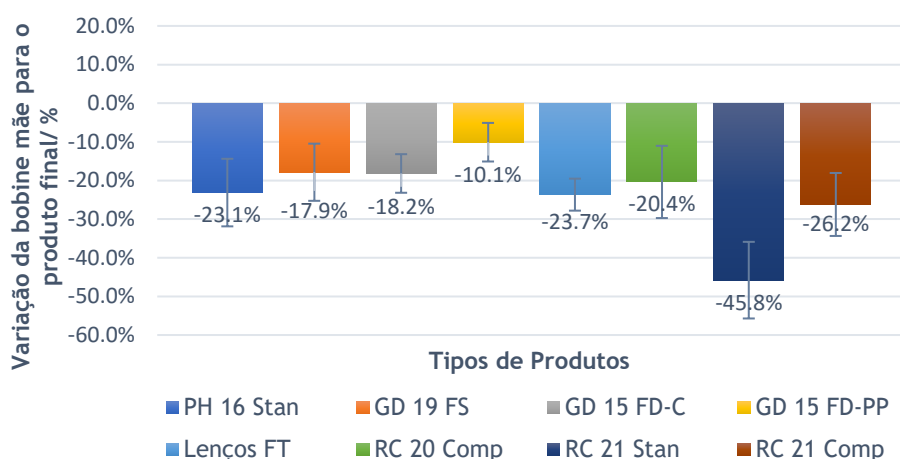


Figura 25- Variação da resistência à tração a seco no sentido longitudinal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.

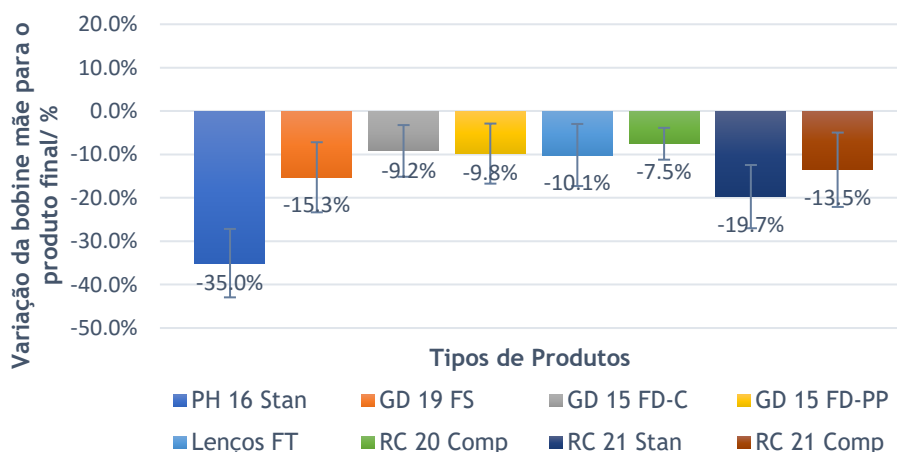


Figura 26- Variação do alongamento até à rutura a seco no sentido longitudinal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.

A resistência à tração das fibras de celulose depende da orientação das mesmas em relação à direção da tensão aplicada e do nível de ligação molecular entre elas. Quanto maior for a capacidade de formação de ligações interfibras maior será a resistência do papel. As fibras encontram-se orientadas no sentido do movimento que corresponde ao sentido longitudinal, o que proporciona uma maior resistência nesse sentido. Como o papel foi sujeito a um processo de crepagem antes do enrolamento na bobine mãe, as dobras formadas conferem um maior alongamento. Portanto, o papel no sentido longitudinal, para além de apresentar uma maior resistência, também exibe um maior alongamento do que no sentido transversal.

Na figura 25, observa-se que a resistência à tração a seco no sentido longitudinal diminui da bobine mãe para o produto em todos os tipos de produtos. Devido ao estiramento do papel ao longo do processo ocorre a quebra de ligações interfibras e intrafibras que o enfraquece. Outro fator que proporciona o enfraquecimento do papel é a gofragem, pois há a ocorrência de

deformações e quebras de ligações localizadas em vários pontos do papel. O rolo de cozinha *standard* tem uma maior perda de resistência devido ao gofrado aplicado ser mais intensivo do que nos outros produtos. Assim, os fatores que influenciam a resistência à tração são a gofragem e o estiramento do papel.

O alongamento do papel relaciona-se com a facilidade das cadeias celulósicas se reorientarem na direção da tensão aplicada. Como existe a presença de dobras, devido ao processo de crepagem, isso permite um maior alongamento do papel até à rutura.

Pela visualização da figura 26, verifica-se que o alongamento até à rutura diminui em todos os produtos da bobine mãe para o produto final pois, à medida que o papel vai sendo esticado as dobras vão se alisando, ficando este com menos capacidade para se alongar. A gofragem também tem influência no alongamento pois enfraquece o papel e assim, este tem menos capacidade de se alongar sem que ocorra rutura. É de notar que o papel higiénico mostra uma maior perda de alongamento. Os fatores que podem explicar este comportamento é o facto de ter uma gramagem baixa, assim resiste menos ao estiramento do papel e as fibras são mais alongadas do que um produto com uma gramagem alta. Outro fator, é a gofragem aplicada, pois é mais elevada em comparação com os produtos de baixa gramagem.

4.1.5 Variação da resistência à tração e do alongamento a seco no sentido transversal

Nas figuras 27 e 28 encontram-se as médias das variações da resistência à tração e do alongamento a seco no sentido transversal bem como o desvio padrão da bobine mãe para o produto final.

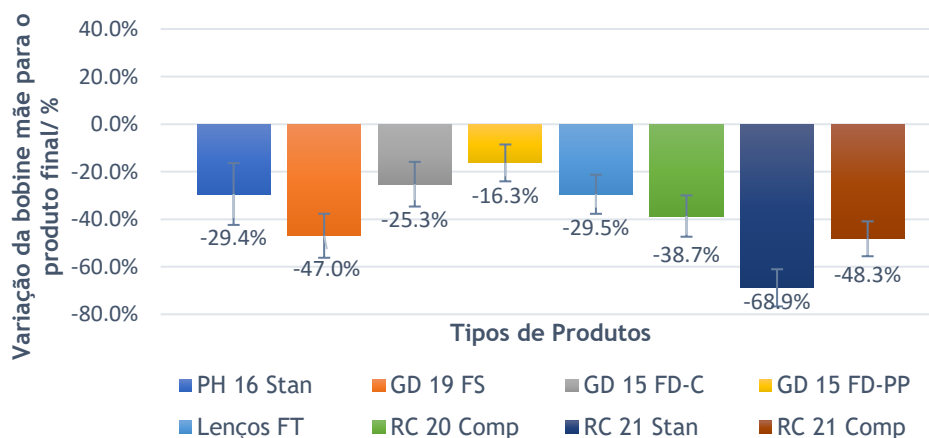


Figura 27-Variação da resistência à tração a seco no sentido transversal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.

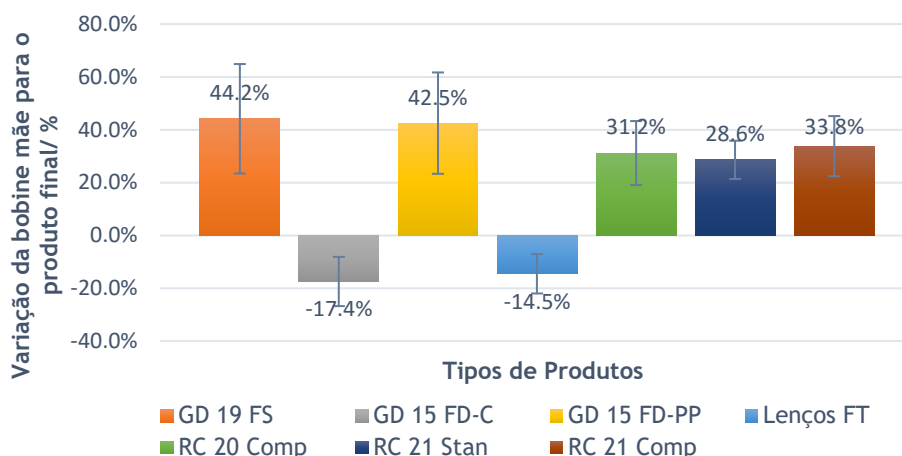


Figura 28- Variação do alongamento até à rutura a seco no sentido transversal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.

De igual modo que o sentido longitudinal, a resistência à tração no sentido transversal também diminui para todos os produtos devido ao estiramento do papel e à gofragem o que pode ser visualizado pela figura 27. O estiramento do papel leva à quebra de ligações dentro das fibras ou fibra-fibra e a gofragem faz com se criem vários pontos fracos ao longo do papel, ou seja, regiões mais suscetíveis a ocorrerem falhas e assim diminui a sua resistência. O rolo de cozinha standard tem uma maior diminuição da resistência em consequência da exposição a um gofrado mais carregado do que os outros produtos.

Do ponto de vista do alongamento, verifica-se pela observação da figura 28 que, para os produtos que apresentam gofragem cercadura como os lenços e os guardanapos o alongamento até à rutura diminui, mas nos produtos que apresentam gofrado por toda a superfície do papel o alongamento aumenta. Quando se dá a tração, no sentido transversal, de um papel que apresenta gofrado por toda a superfície, as fibras deformam-se no sentido da aplicação da tensão e dá-se a criação de micro ruturas nas zonas em que o papel levou o gofrado. Desta forma, a tensão aplicada vai-se distribuindo por essas zonas em vez de se concentrar num ponto de rutura. Assim, um papel com gofrado em toda a superfície consegue alongar-se mais do que um papel sem gofrado.

Para o papel higiénico não se conseguiu obter uma tendência para a variação do alongamento pelo facto da intensidade do gofrado aplicado estar sempre a variar. Pode-se visualizar os resultados no Apêndice B. A intensidade do gofrado para os produtos rebobinados é ajustada tendo em conta o diâmetro do rolo, se o valor do diâmetro do rolo estiver acima do valor ótimo é diminuída a intensidade do gofrado e se estiver abaixo é aumentada. Para os dobrados, o gofrado é manipulado com base na altura do pack. Como o processo é contínuo em que, ao longo da bobine que alimenta a máquina de conversão a espessura do papel vai variando, o gofrado aplicado também está sempre a ser ajustado. Portanto, quando o papel higiénico apresenta um gofrado muito carregado, o alongamento aumenta. Quando apresenta

um gofrado com uma intensidade muito baixa, faz o valor do alongamento diminuir daí não existir uma tendência clara para o alongamento.

4.1.6 Variação da resistência à tração e do alongamento a húmido no sentido longitudinal

As médias das variações da resistência à tração e do alongamento a húmido no sentido longitudinal juntamente com as barras do desvio padrão de cada produto medidas das bobines mãe para o produto transformado encontram-se nas figuras 29 e 30:

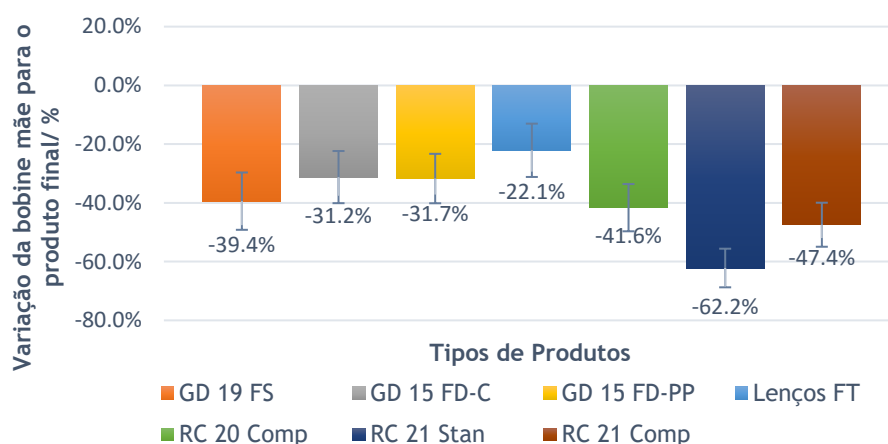


Figura 29- Variação da resistência à tração a húmido no sentido longitudinal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.

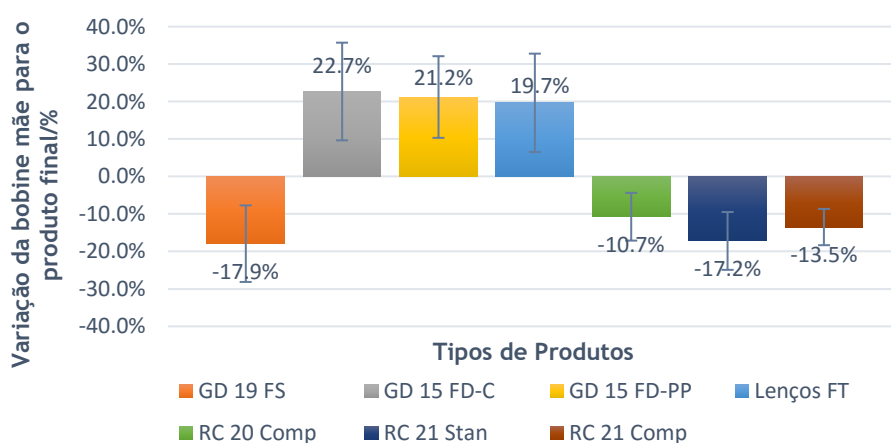


Figura 30- Variação do alongamento até à rutura a húmido no sentido longitudinal da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto.

Pela observação da figura 29, constata-se que a resistência à tração a húmido no sentido longitudinal diminui em todos os produtos. Mais uma vez, a resistência é dependente do nível de ligação entre as fibras, como durante o processo o papel é enfraquecido pela gofragem e o estiramento a resistência à tração a húmido também diminui.

Na figura 30 é de evidenciar a diminuição do alongamento até à rutura a húmido nos produtos com um gofrado mais carregado e o aumento do alongamento nos produtos com um gofrado cercadura ou menos acentuado como é o caso dos guardanapos ponto-ponto. Uma possível explicação para este comportamento é o armazenamento do papel *tissue*.

As bobines mãe depois de serem formadas estão expostas à humidade do ar durante algum tempo porque estão situadas mesmo ao lado da máquina de papel onde ocorre constantemente a evaporação de água. Depois são embaladas com um filme de polietileno, mas vão reter água no seu interior, devido à natureza altamente hidrofílica das fibras de celulose. Durante o armazenamento, que é normalmente de pelo menos 3 meses, a água atua como um plastificante e ocorre a hidrólise das ligações éster formadas entre a fibra e a resina de resistência à humidade e das ligações éster resultantes da auto reticulação da resina, resultando no amolecimento do papel e aumentado assim o seu alongamento.

Assim, o resistente a húmido vai perdendo a sua atividade durante o armazenamento e quando se volta a fazer o teste da resistência à tração a húmido, já no produto transformado, apesar do papel ter sido esticado durante o processo, este não perdeu totalmente o alongamento que ganhou durante o armazenamento e consequentemente o alongamento aumenta da bobine mãe para o produto final. Nos produtos que apresentam gofrado acentuado, o gofrado faz diminuir o alongamento.

4.2 Orientação das fibras de celulose

Por meio de um microscópio eletrónico de varrimento foram realizadas análises da superfície de amostras de bobine mãe de guardanapos, papel higiénico e de rolo de cozinha. As imagens das análises realizadas encontra-se nas figuras 31 e 32:

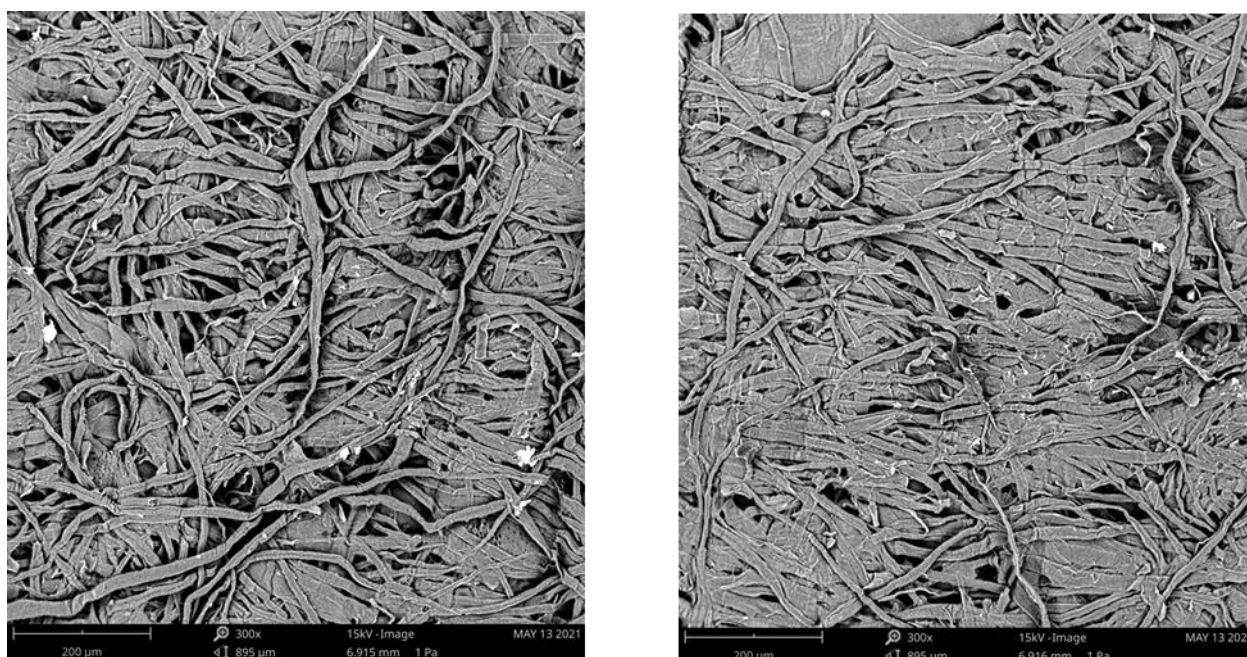


Figura 31- Imagens da análise à superfície de uma bobine mãe de papel higiénico à esquerda e de uma bobine mãe de rolo de cozinha à direita. (Sentido longitudinal da esquerda para a direita)

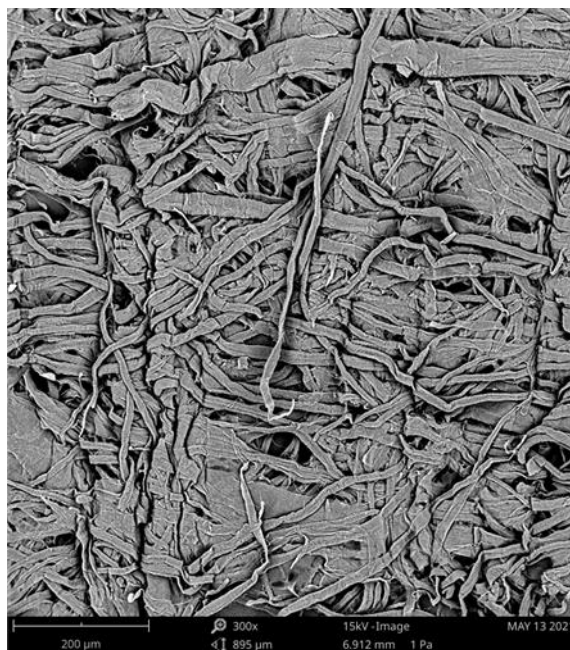


Figura 32- Imagem da análise à superfície de uma bobine mãe de guardanapos. (Sentido longitudinal da esquerda para a direita)

Através das imagens obtidas foi possível comprovar que as fibras de celulose apresentam uma orientação preferencial no sentido do movimento que corresponde ao sentido longitudinal e, por essa razão, a resistência à tração é maior nesse sentido.

Assim, pode-se afirmar que a estrutura do papel é anisotrópica, ou seja, as suas propriedades variam com a direção.

Contudo, a distribuição das fibras é irregular e o papel *tissue* é constituído por uma rede de fibras dispostas de forma não uniforme. Portanto, as propriedades do papel não são sempre iguais na mesma direção podendo conter pequenas variações. É de notar também a presença de algumas dobras resultantes do processo de crepagem.

4.3 Influência da gramagem do papel *tissue* no processo de Crepagem

Pela realização de análises, utilizando-se um microscópio eletrônico de varrimento, da secção de corte longitudinal de amostras de bobine mãe de guardanapos e rolo de cozinha foi possível verificar a influência da gramagem no processo de crepagem. As imagens dos testes realizados estão presentes nas figuras 33 e 34:

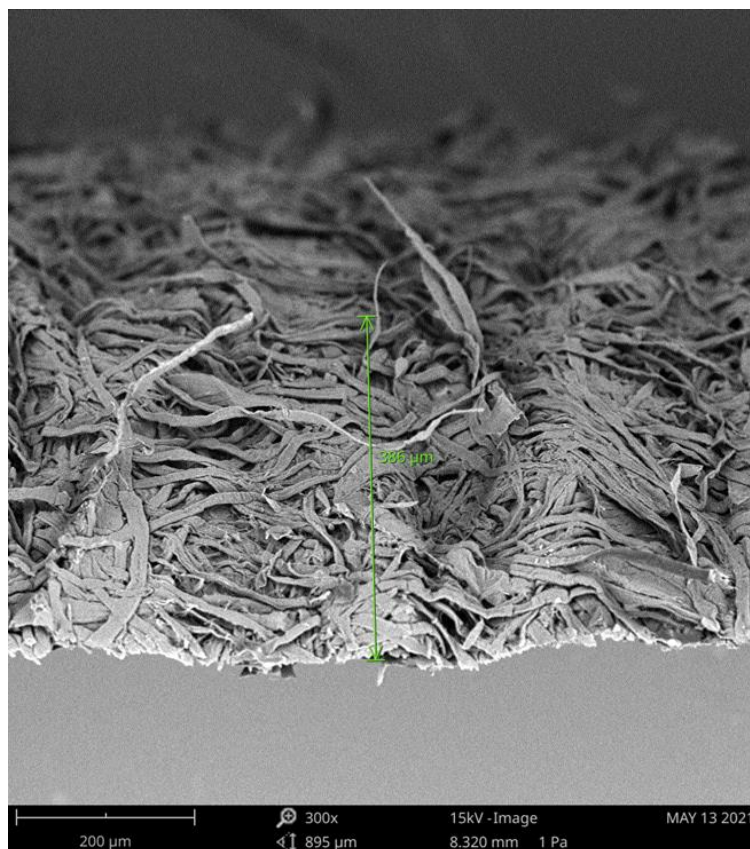


Figura 33- Imagem da análise à secção de corte longitudinal de uma bobine mãe de guardanapos com uma gramagem de 15 g·m⁻².

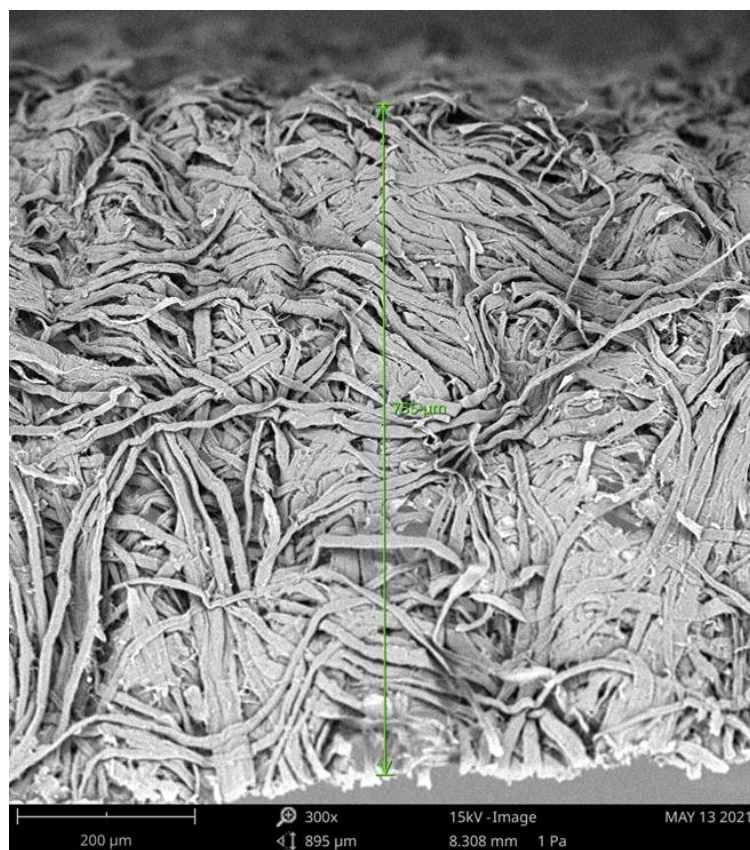


Figura 34- Imagem da análise à secção de corte longitudinal de uma bobine mãe de rolo de cozinha com uma gramagem de 21 g·m⁻².

Para a amostra de bobine mãe com uma gramagem de $15 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ nota-se que, as dobras formadas apresentam maiores dimensões do que as dobras para a gramagem de $21 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$. Devido à baixa gramagem do papel, as fibras de celulose resistem menos à sua deformação e dobragem e assim são criadas dobras maiores enquanto que, para a gramagem de $21 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ o papel é mais resistente a deformações criando-se dobras mais pequenas.

É de ter atenção que, se a distribuição das fibras é irregular, assim, as dobras formadas no processo de crepagem também irão ser irregulares.

5 Conclusões

Esta dissertação consistiu no estudo das variações das propriedades no processo de conversão do papel *tissue*. Para isso, foram medidas as propriedades como a gramagem, a espessura, o brilho e a resistência à tração a seco e a húmido de vários tipos de produtos e comparadas com as propriedades das bobines mãe que os originaram. Assim, concluiu-se que, a gramagem diminui ao longo do processo de conversão devido ao facto do papel estar a ser esticado constantemente sofrendo deformações plásticas irreversíveis. Para a espessura, verificou-se que esta diminuiu para os produtos que não apresentava gofragem por toda a superfície por consequência do estiramento do papel, contudo, nos produtos que continham gofragem em toda a superfície a espessura aumentou devido ao processo de gofragem conferir volume ao papel. Relativamente ao brilho, não foi possível aferir nada em relação à sua variação no processo pois os dois métodos de medição são distintos.

Ainda se comprovou que, o processo de gofragem tem muita influência sobre as características do papel pois, apesar de lhe proporcionar volume e um aspeto esteticamente melhor, prejudica as suas resistências a seco e a húmido, assim como, o alongamento a seco e a húmido no sentido longitudinal pois ocorrem deformações localizadas no papel que o enfraquecem. No entanto, para o alongamento a seco no sentido transversal, a gofragem dá ao papel um maior alongamento visto que, dá-se a criação de micro ruturas nos pontos mais fracos ao longo da superfície do papel quando há aplicação de tensão. Assim, a tensão aplicada é distribuída por essas zonas de rasgamento e consequentemente, o papel demora mais tempo a fraturar, aumentando assim o seu alongamento.

Por outro lado, constatou-se que, o alongamento no sentido longitudinal a húmido aumentou para os produtos com gofragem de borda ou pouco acentuada, devido ao efeito plastificante da água durante o armazenamento, resultando na perda de atividade da resina de resistência à humidade, ocorrendo assim, o amolecimento do papel.

Os resultados obtidos para as variações das propriedades da bobine mãe para o respetivo produto transformado tem uma grande utilidade para a Suavecél pois, tendo em conta que, já se conhece as variações das propriedades ao longo do processo de conversão e o valor das propriedades necessárias nos produtos finais, dadas pelos clientes, ajusta-se as propriedades do papel *tissue* de entrada de modo a que o produto final cumpra com os requisitos dos clientes.

Por último, recorrendo-se a análises de SEM provou-se que, as fibras de celulose orientam-se no sentido longitudinal atribuindo maior resistência nesse sentido apesar da distribuição das fibras ser irregular. Também deu a entender pelas análises que, gramagens de papel mais baixas originam dobras de maiores dimensões no processo de crepagem pois são mais facilmente deformadas do que gramagens mais altas.

6 Avaliação do trabalho realizado

6.1 Objetivos Realizados

O objetivo principal desta dissertação, que consistia no estudo das variações das propriedades no processo de conversão do papel *tissue* como a gramagem, a espessura, o brilho, a resistência à tração a seco e a húmido e o alongamento, no sentido longitudinal e transversal, foi alcançado. Apesar de não se ter obtido uma tendência para a variação do alongamento no sentido transversal a seco para o papel higiénico, devido à intensidade do gofrado ser variável, conseguiu-se obter para os outros produtos todas as variações ao longo do processo. Assim, é possível utilizar estes resultados obtidos na empresa para otimizar o processo e gerar produtos em função dos requisitos dos clientes.

Por outro lado, pela realização das análises de SEM, foi possível comprovar a orientação das fibras de celulose pela visualização da superfície das amostras de bobine mãe e verificar uma distribuição das fibras de forma irregular. Pelas imagens da secção de corte longitudinal, apesar das imagens obtidas não serem muito claras, nota-se um aumento no tamanho das dobras com a diminuição da gramagem.

6.2 Limitações e Trabalho Futuro

Ao longo da elaboração deste estudo foram surgindo limitações devido ao processo produtivo ser em contínuo, sem paragens, o que dificulta em muito a implementação de estudos para otimização dos processos visto que, é difícil ocorrer a mudança de variáveis de entrada ou paragens para estudar as variáveis de saída. Os produtos selecionados para serem testados também foram escolhidos tendo em conta a sua produção ser mais regular pois, para se obter uma tendência das variações foi necessário muitos testes daí só se ter estudado estes 8 tipos de produtos.

Um problema frequente na empresa é o facto de os produtos, em alguns casos, não cumprirem com os seus requisitos devido à intensidade da gofragem aplicada ser variável. Posto isto, sugere-se como trabalho futuro o estudo da influência destas 3 variáveis, a espessura inicial do papel que alimenta a máquina de conversão, a intensidade da gofragem aplicada e a resistência final do produto de modo a obter-se uma relação entre as 3 variáveis. Assim, posteriormente sabendo-se a espessura da bobine que alimenta a máquina de conversão e a resistência ótima ou alvo consegue-se determinar a intensidade do gofrado a aplicar de modo a obter um produto que cumpra com as resistências. Este estudo pode ser realizado também para o alongamento tendo em conta que também é influenciado pelo processo de gofragem.

Por fim, para a empresa Fortissue, verificou-se que a energia de refinação aplicada à fibra longa, que contém uma refinação mais agressiva, apresentava uma influência significativamente na resistência final da bobine mãe. Contudo, aumentando-se a energia da refinação aumenta-se os custos de operação e prejudica a drenagem de água no processo de secagem. Quando o papel *tissue* não cumpre com as propriedades necessárias, é efetuado um teste, chamado teste *Schopper-Riegler*, utilizando-se uma amostra retirada da saída do refinador da fibra longa. Este teste mede o grau de refinação/drenabilidade da pasta, sabendo-se o grau *Schopper*, consegue-se determinar se é necessário aumentar ou diminuir a energia de refinação. Desta forma, propõem-se como trabalho futuro o estudo da influência do grau *Schopper* medido na saída do refinador da fibra longa com a energia de refinação e a resistência final da bobine mãe para, numa fase posterior, medindo-se continuamente o grau *Schopper* da pasta e sabendo-se as resistências alvo consegue-se determinar a energia de refinação ótima a aplicar.

6.3 Apreciação Final

A realização desta dissertação foi enriquecedora pois permitiu a aprendizagem de todo o processo desde a produção do papel *tissue* até ao produto final e a incorporação de conceitos adquiridos ao longo do curso. Para além disso, o estudo do comportamento das fibras de celulose quando expostas a processos químicos e mecânicos demonstrou ser um tema muito interessante e um ponto fulcral na atribuição de características ao produto final.

Este estágio, também proporcionou um contacto com a empresa e com as rotinas de trabalho e ajudou a desenvolver o meu espírito crítico e pensamento lógico. Por último, foi um estudo com utilidade para a empresa e que de certa forma contribuiu para melhorar o seu processo produtivo.

7 Referências

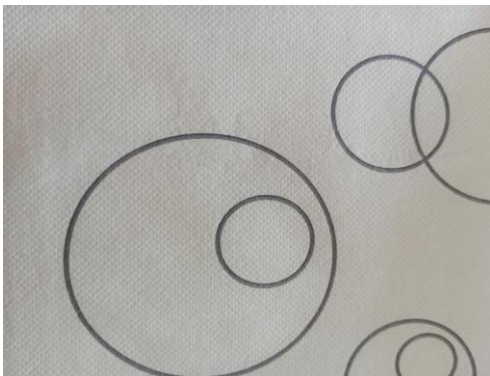
- [1] W. Y. Hamad, C. Miao, and S. Beck, "Growing the Bioeconomy: Advances in the Development of Applications for Cellulose Filaments and Nanocrystals," *Ind. Biotechnol.*, vol. 15, no. 3, pp. 133-137, 2019, doi: 10.1089/ind.2019.29172.qyh.
- [2] C. Yu, "Natural Textile Fibres: Vegetable Fibres," *Textiles and Fashion: Materials, Design and Technology*. pp. 29-56, 2015, doi: 10.1016/B978-1-84569-931-4.00002-7.
- [3] S. Caldeira, "Branqueamento de desperdício colorido da fábrica de papel *tissue*," Universidade de Aveiro, 2015.
- [4] J. Moura, "Melhoria Contínua num Processo de Produção de Papel O caso da Renova, Fábrica de Papel do Almonda S.A.," Técnico de Lisboa, 2015.
- [5] N. Machado, "APLICAÇÃO DA FERRAMENTA LEAN E SEIS SIGMA NO REUSO DO EFLUENTE TRATADO. ESTUDO DE CASO: PROCESSO DE FABRICAÇÃO DE PAPEL *TISSUE*," Universidade do Extremo Sul Catarinense, 2014.
- [6] T. De Assis, L. W. Reisinger, L. Pal, J. Pawlak, H. Jameel, and R. W. Gonzalez, "Understanding the Effect of Machine Technology and Cellulosic Fibers on Tissue Properties - A Review," *BioResources*, vol. 13, no. 2, pp. 4593-4629, 2018, doi: 10.15376/biores.13.2.deassis.
- [7] L. Sabioni, "Estudo do comportamneto da fibra de eucalipto refinada por ultrassom no processo de reciclagem," Universidade Federal de Viçosa, 2011.
- [8] S. F. Santos, R. S. Teixeira, and H. Savastano Junior, *Interfacial transition zone between lignocellulosic fiber and matrix in cement-based composites*. 2017.
- [9] E. J. Siqueira, "Polyamideamine Epichlorohydrin-Based Papers: Mechanisms of Wet Strength Development and Paper Repulping," Université de Grenoble, 2014.
- [10] D. Yang, A. Sotra, and R. H. Pelton, "Switching off PAE wet strength," *Nord. Pulp Pap. Res. J.*, vol. 34, no. 1, pp. 88-95, 2019, doi: 10.1515/npprj-2018-0074.
- [11] L. Geng, B. Chen, X. Peng, and T. Kuang, "Strength and modulus improvement of wet-spun cellulose I filaments by sequential physical and chemical cross-linking," *Mater. Des.*, vol. 136, pp. 45-53, 2017, doi: 10.1016/j.matdes.2017.09.054.
- [12] T. Obokata and A. Isogai, "The mechanism of wet-strength development of cellulose sheets prepared with polyamideamine-epichlorohydrin (PAE) resin," *Colloids Surfaces A Physicochem. Eng. Asp.*, vol. 302, no. 1-3, pp. 525-531, 2007, doi: 10.1016/j.colsurfa.2007.03.025.
- [13] Tissue Story, "Crescent Former, or Conventional, Tissue Machine Technology," *The Global Knowledge Center for Tissue Paper Products*, 2016. <https://www.tissuestory.com/2017/09/09/crescent-former-or-conventional-tissue-machine-technology/>. Acedido em: 5 abril 2021
- [14] H. Holik *et al.*, "Paper and Board, 6. Manufacturing," *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry*. 2012, doi: 10.1002/14356007.o18_o14.
- [15] R. Das, "Experimental studies on creping and its influence on mechanical properties of tissue paper products.," The University of British Columbia, 2019.
- [16] Tissue Story, "The Basics of Creping in the Tissuemaking Process," *The Global Knowledge Center for Tissue Paper Products*, 2016. <https://www.tissuestory.com/2019/12/26/the-basics-of-creping/>. Acedido em: 8 abril 2021
- [17] J. Boudreu, "New Methods for Evaluation of Tissue Creping and The Importance of Coating, Paper and Adhesion.," Karlstad University Studies, 2013.
- [18] M. Y. Ismail *et al.*, "Surface analysis of tissue paper using laser scanning confocal microscopy and micro-computed topography," *Cellulose*, vol. 27, no. 15, pp. 8989-9003,

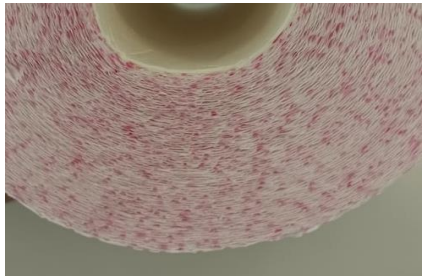
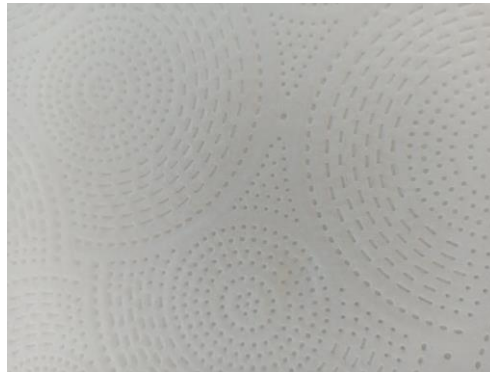
- 2020, doi: 10.1007/s10570-020-03399-w.
- [19] J. C. Vieira, A. de Oliveira Mendes, A. M. Carta, E. Galli, P. T. Fiadeiro, and A. P. Costa, "Impact of embossing on liquid absorption of toilet tissue papers," *BioResources*, vol. 15, no. 2, pp. 3888-3898, 2020, doi: 10.15376/biores.15.2.3888-3898.
 - [20] R. Spina and B. Cavalcante, "Characterizing materials and processes used on paper tissue converting lines," *Mater. Today Commun.*, vol. 17, pp. 427-437, 2018, doi: 10.1016/j.mtcomm.2018.10.006.
 - [21] Tissue Story, "Tissue Embossing Developments," *The Global Knowledge Center for Tissue Paper Products*, 2016. <https://www.tissuestory.com/2017/11/21/tissue-embossing-developments/>. Acedido em:20 abril 2021
 - [22] Sheer, "Unlock the best converting technology SINCRO, DESL, DECO," *DESL: Double Embosser Sincronizer Lamination*, 2015. <https://sheer-tissue.com/about-us/>. Acedido em:20 abril 2021
 - [23] E. Galli, "Introduction to process and properties of tissue paper," *The navigator company*, 2017. https://www.tecnicalpa.com/files/20171013_EnricoGalli.pdf. Acedido em:22 abril 2021
 - [24] A. Testnology, "James Heal Sample cutters," *Sample Preparation*. <http://www.artec-test-equipment.com/testing-of/sample-preparation/49/James-Heal-Sample-cutters.html>. Acedido em:29 maio 2021
 - [25] Thwing-Albert Instrument Company, "Materials Testing Equipment Catalog." .
 - [26] ISO 12625-7, "Tissue paper and tissue products – Part 7: Determination of optical properties," *Int. Stand.*, pp. 1-18, 2007.
 - [27] Konica Minolta, "Spectrophotometer CM-3630 Instruction Manual," 2014. file:///C:/Users/User/Downloads/cm-3630_instruction_eng.pd. Acedido em:2 junho 2021
 - [28] ISO 2469, "Paper, board and pulps – Measurement of diffuse radiance factor," *Int. Stand.*, pp. 1-26, 2007.
 - [29] P. Vitor, "Avaliar a Influência dos Agentes de Alvura ou Brilho Ótico em amostras de substratos para impressão," Instituto Superior de Educação e Ciências de Lisboa, 2017.
 - [30] Photovolt Instruments, "Model 577PC Reflectometer Manual Instruction," 2012.
 - [31] B. C. K. Ly, E. B. Dyer, J. L. Feig, A. L. Chien, and S. Del Bino, "Research Techniques Made Simple: Cutaneous Colorimetry: A Reliable Technique for Objective Skin Color Measurement," *J. Invest. Dermatol.*, vol. 140, no. 1, pp. 3-12.e1, 2020, doi: 10.1016/j.jid.2019.11.003.
 - [32] A. K. R. Choudhury, "Colour measurement instruments," *Princ. Colour Appear. Meas.*, pp. 221-269, 2014, doi:10.1533/9780857099242.221.
 - [33] Direct Industry, "Máquina de ensaio universal-Thwing-Albert Instruments." <https://www.directindustry.com/pt/prod/thwing-albert-europe/product-17719-1860263.html>. Acedido em:8 de junho 2021
 - [34] BlueStream, "Ensaio de tração vertical/horizontal." https://www.bluestream.pt/index.php?p=industria_controlo_qualidade&marca=13&produto=32. Acedido em:8 de junho 2021

8 Apêndices

A. Tipos de produtos e a respetiva gofragem aplicada

Tabela A.1-Tipos de Produtos estudados e a respetiva gofragem aplicada.

Nome do Produto	Gofragem Aplicada	
GD 19 FS		Contínua
GD 15 FD-C		Cercadura ou de Borda
GD 15 FD-PP		Ponto-Ponto
Lenços FT		Cercadura ou de Borda

RC 20 Comp		DESL 
RC 21 Stan		DESL 
RC 21 Comp		DESL 
PH 16 Stan		DESL

B. Ensaios das variações das propriedades da bobine mãe para o produto transformado para cada tipo de produto:

Foram calculadas as variações das propriedades da bobine mãe para o produto transformado para cada ensaio e, de seguida, foram seleccionados os ensaios que apresentavam uma tendência sendo os restantes ensaios eliminados.

B.1 Papel Higiénico de gramagem 16 g·m⁻² *Standard*

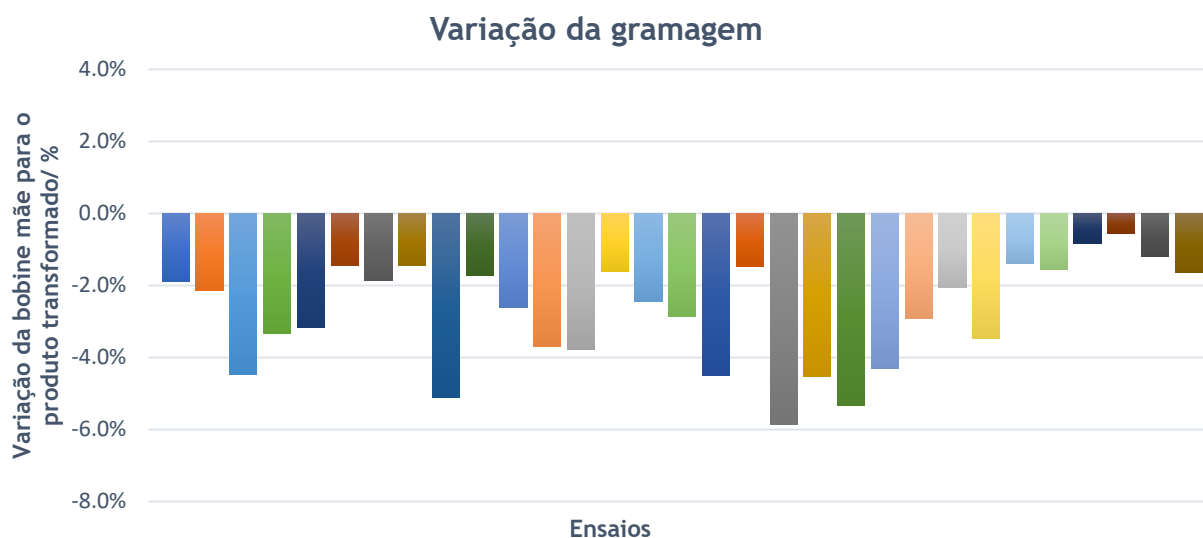


Figura B.1.1- Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para o PH 16 Stan.

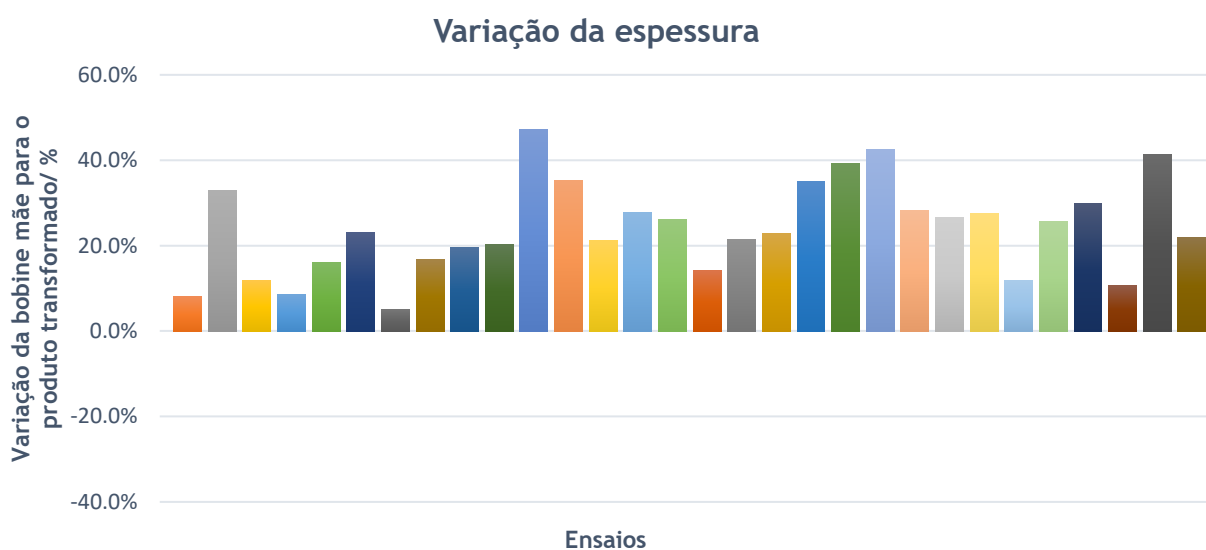


Figura B.1.2- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para o PH 16 Stan.

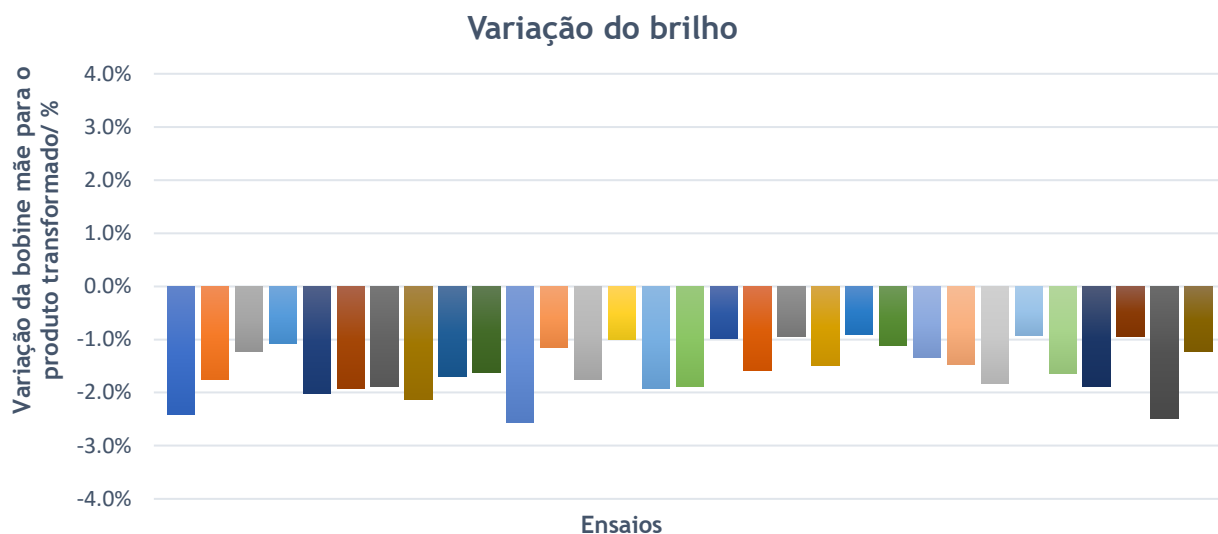


Figura B.1.3- Variação do brilho da bobine mãe para o produto transformado para o PH 16 Stan.

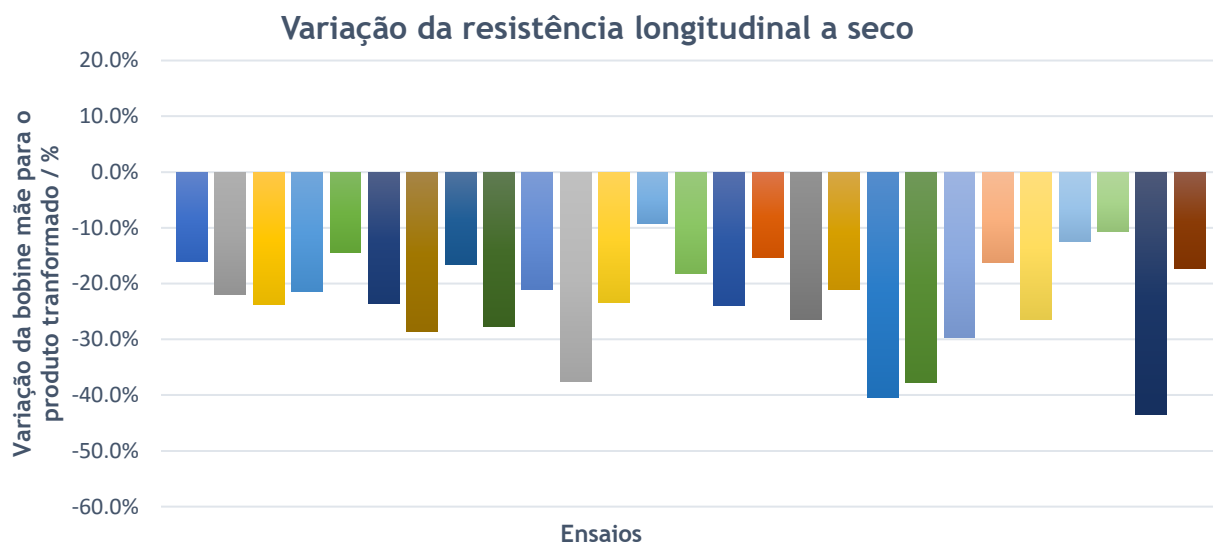


Figura B.1.4- Variação da resistência longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o PH 16 Stan.

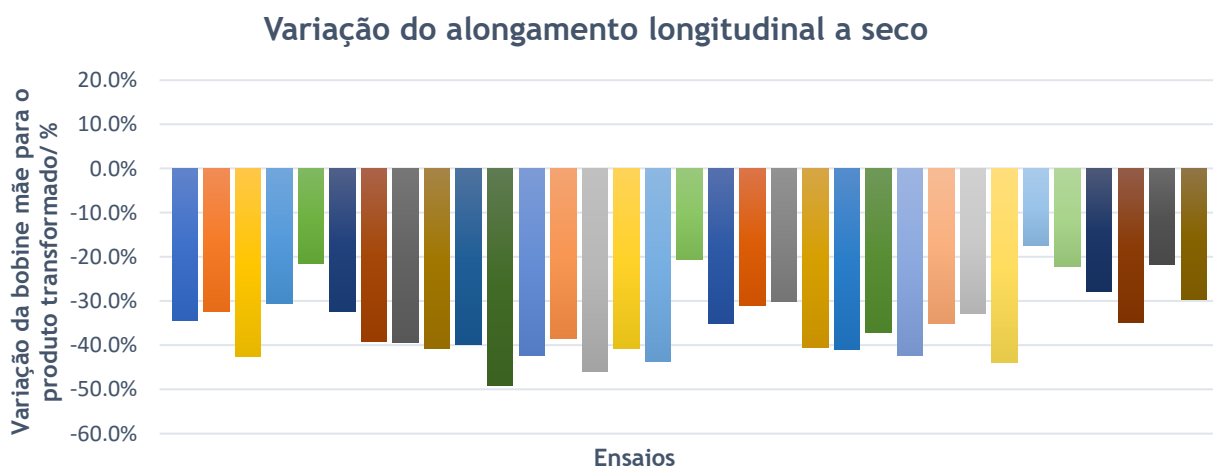


Figura B.1.5- Variação do alongamento longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o PH 16 Stan.

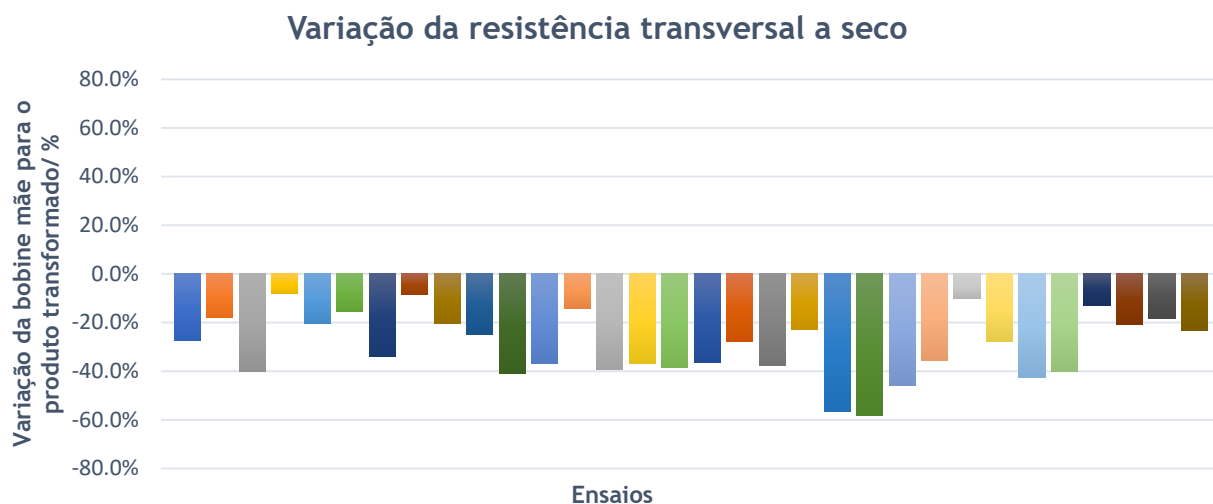


Figura B.1.6- Variação da resistência transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o PH 16 Stan.

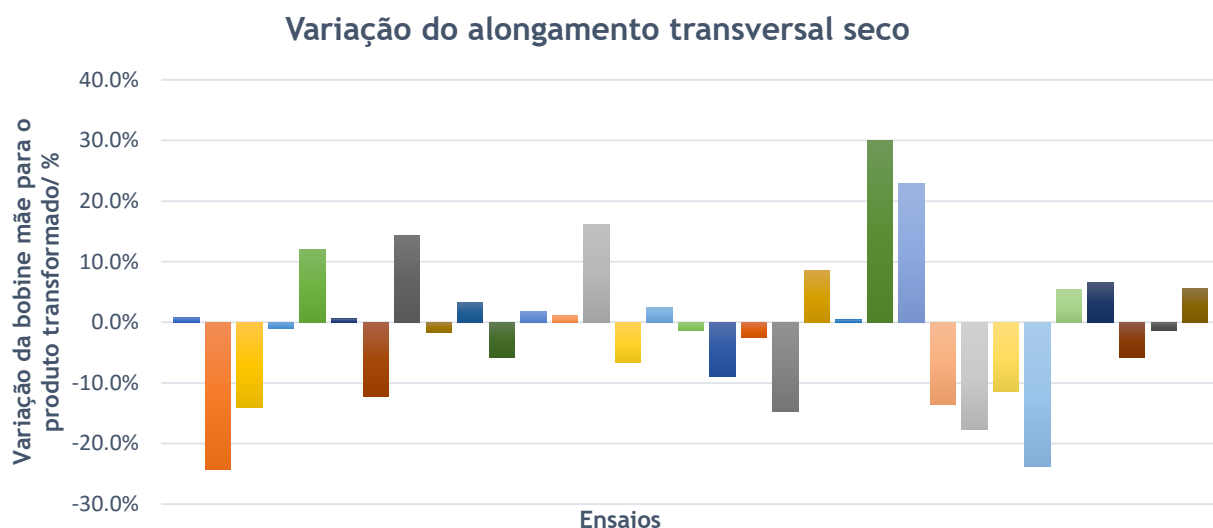


Figura B.1.7- Variação do alongamento transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o PH 16 Stan.

B.2 Guardanapos de gramagem 19 g·m⁻² de folha simples

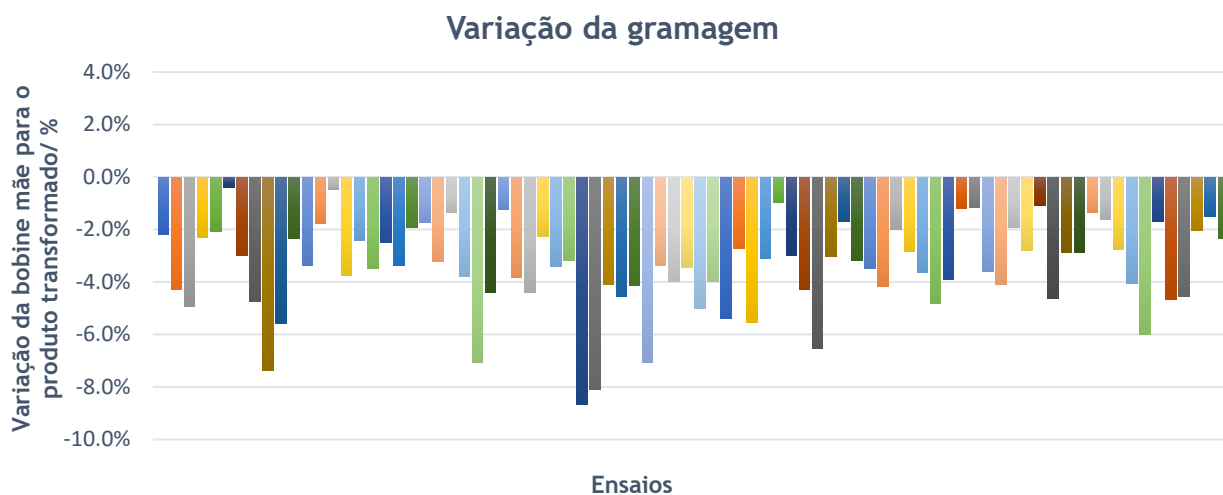


Figura B.2.1-Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para os GD 19 FS.

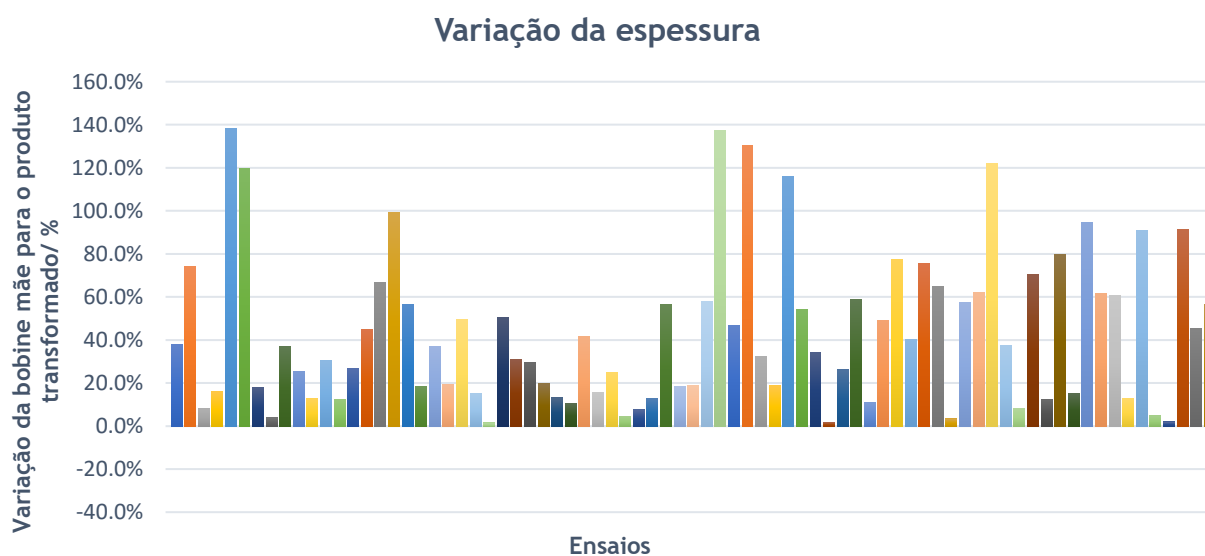


Figura B.2.2- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para os GD 19 FS.

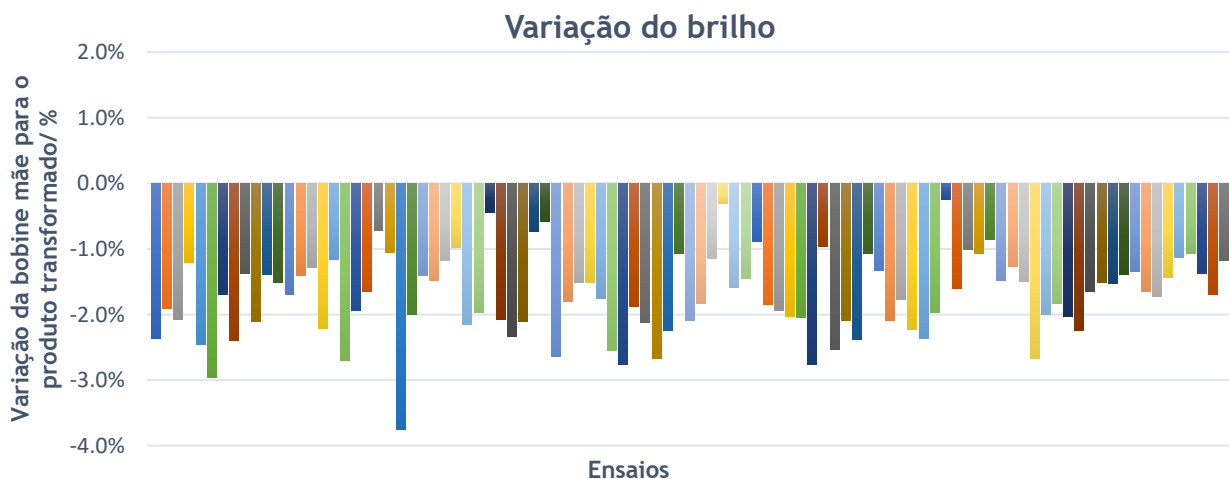


Figura B.2.3- Variação do brilho da bobine mãe para o produto transformado para os GD 19 FS.

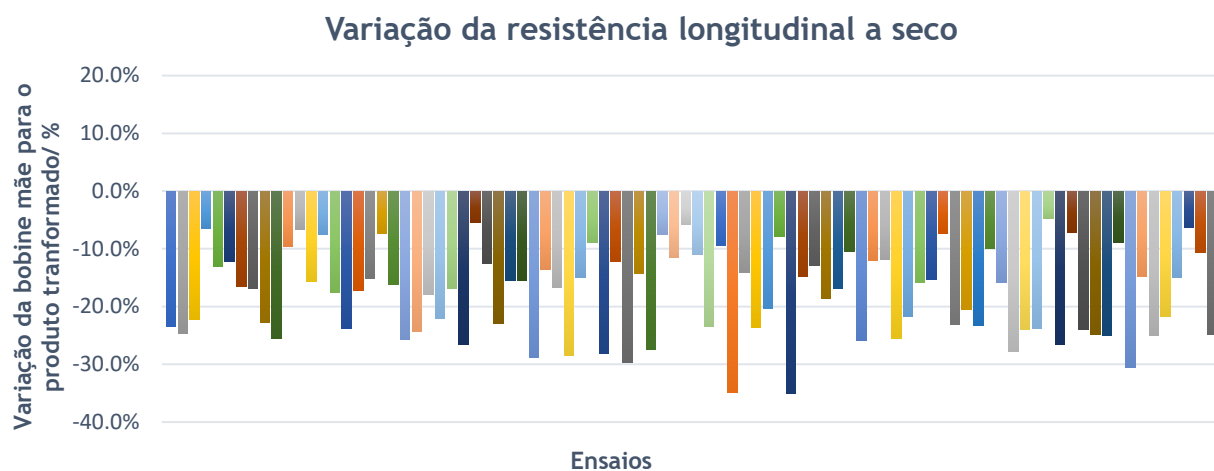


Figura B.2.4- Variação da resistência longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 19 FS.

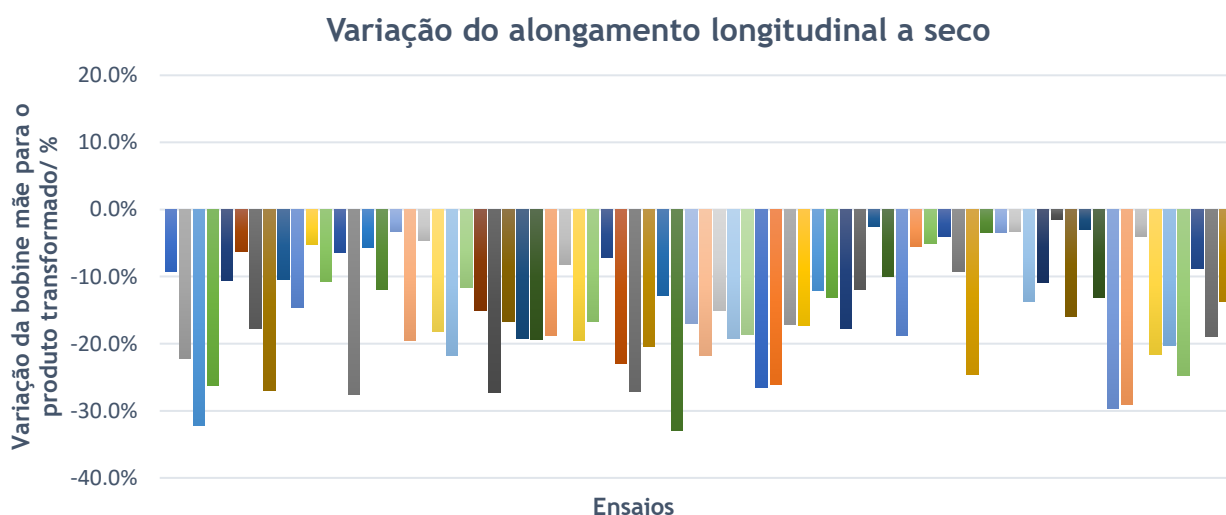


Figura B.2.5- Variação do alongamento longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 19 FS.

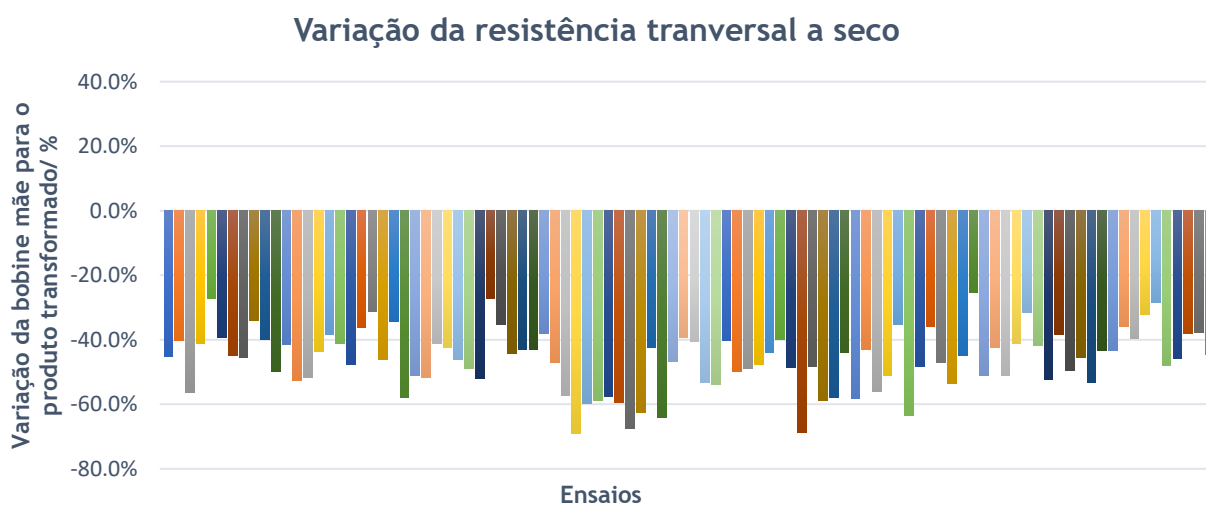


Figura B.2.6- Variação da resistência transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 19 FS.

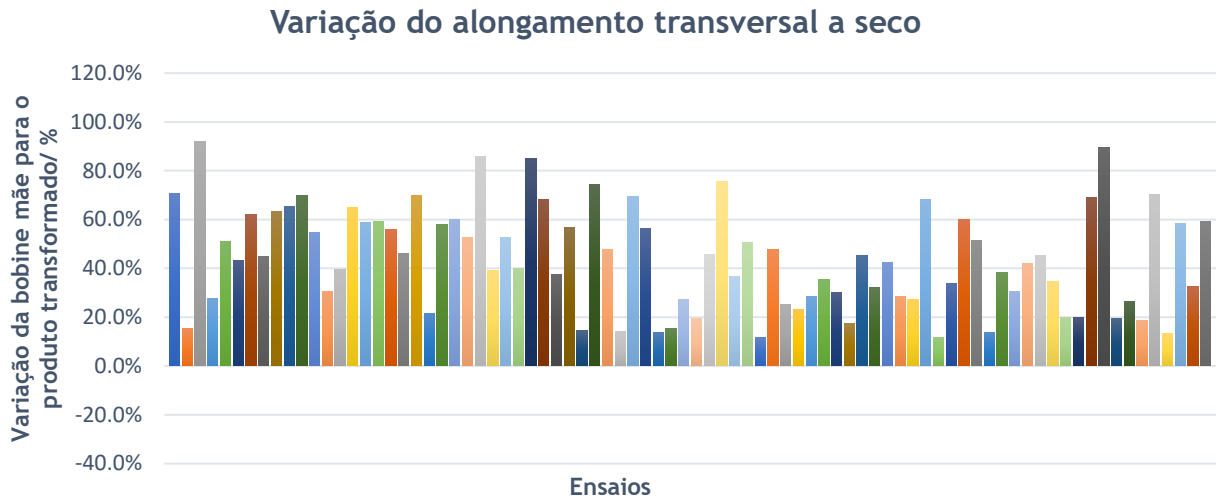


Figura B.2.7- Variação do alongamento transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 19 FS.

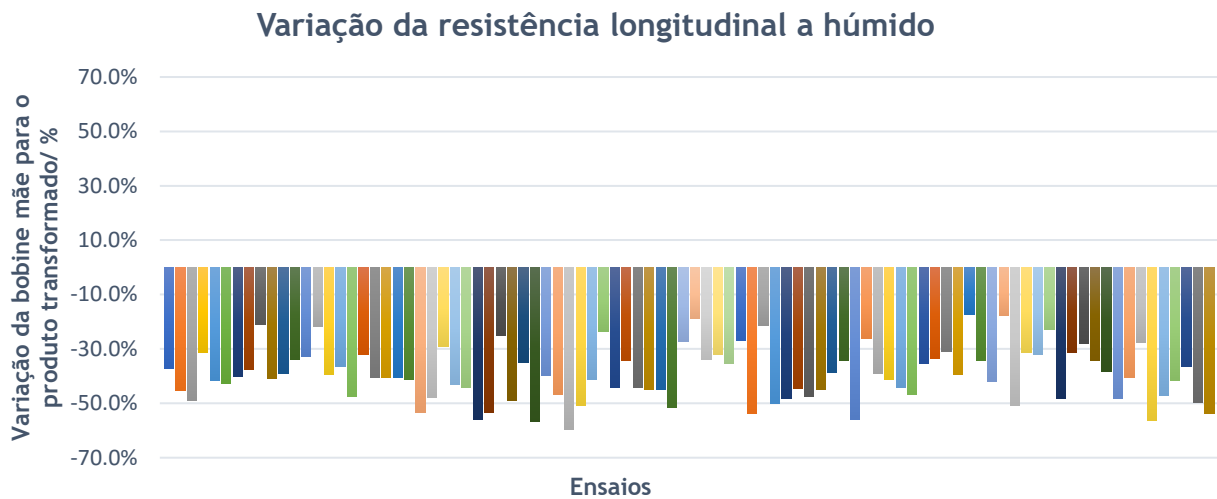


Figura B.2.8- Variação da resistência longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para os GD 19 FS.

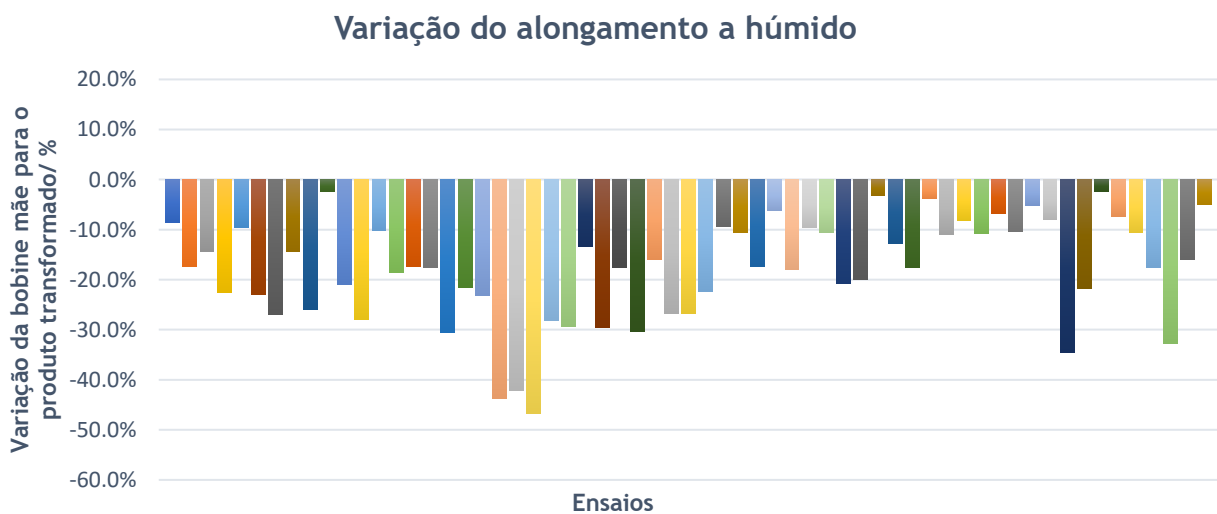


Figura B.2.9- Variação do alongamento longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para os GD 19 FS.

B.3 Guardanapos de gramagem 15 g·m⁻² de folha dupla com gofragem cercadura

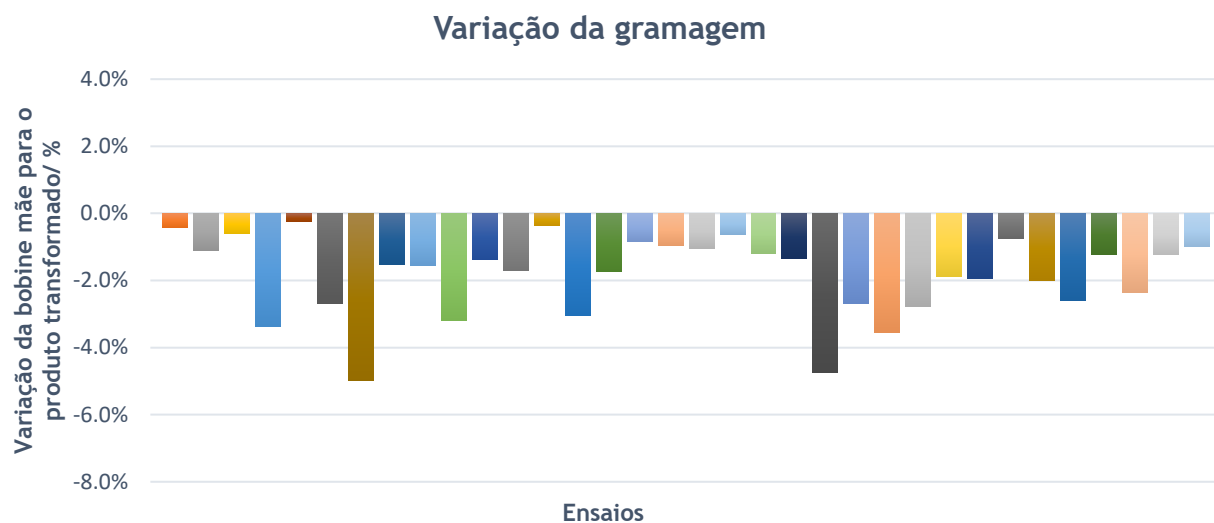


Figura B.3.1- Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-C.



Figura B.3.2- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-C.



Figura B.3.3- Variação do brilho da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-C.

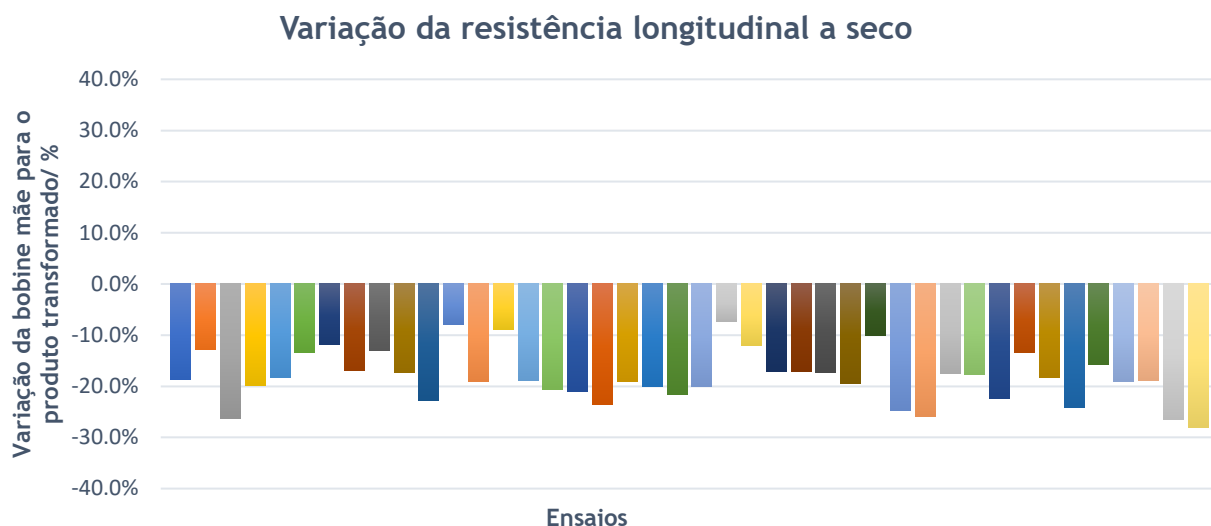


Figura B.3.4- Variação da resistência longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-C.

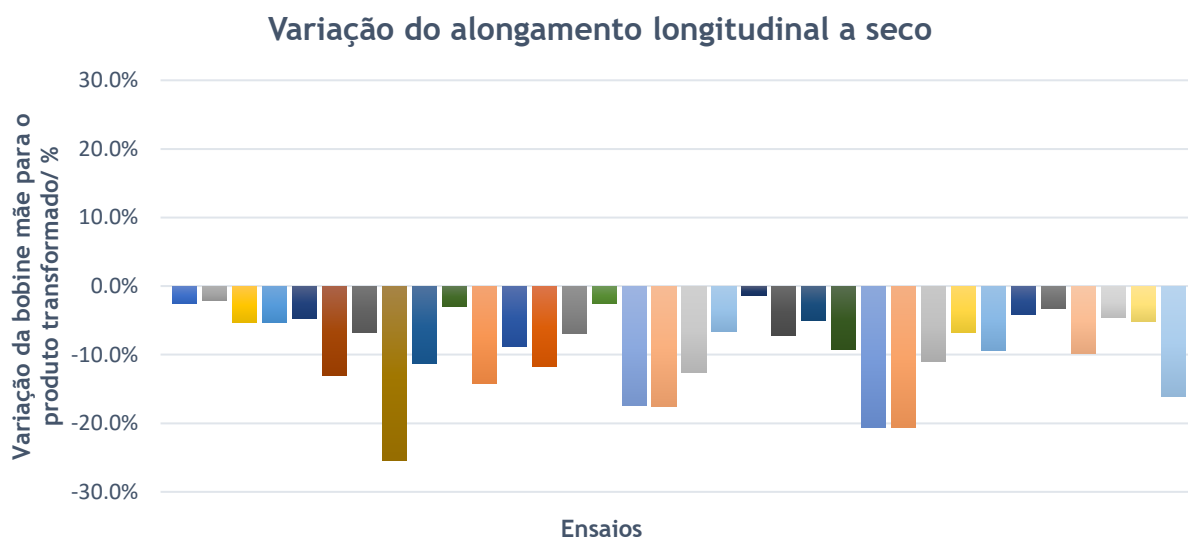


Figura B.3.5- Variação do alongamento longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-C.

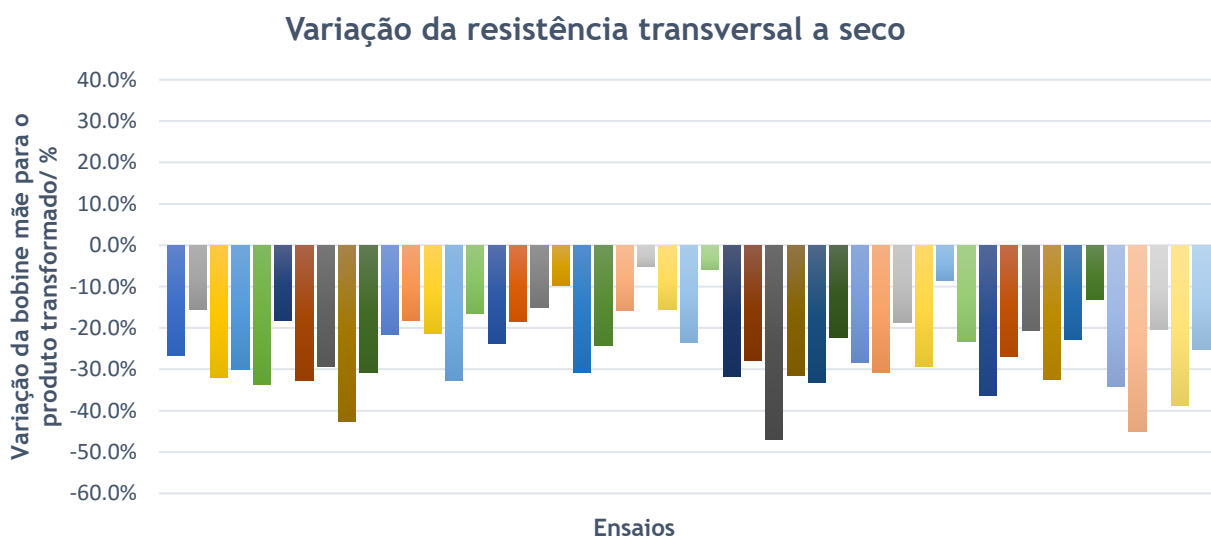


Figura B.3.6- Variação da resistência transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-C.

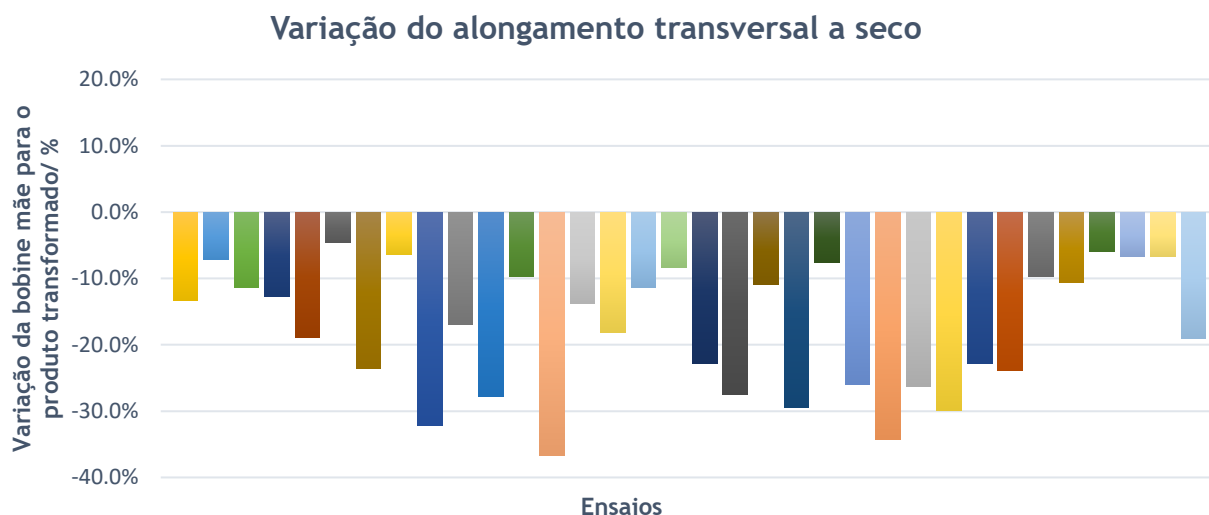


Figura B.3.7- Variação do alongamento transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-C.

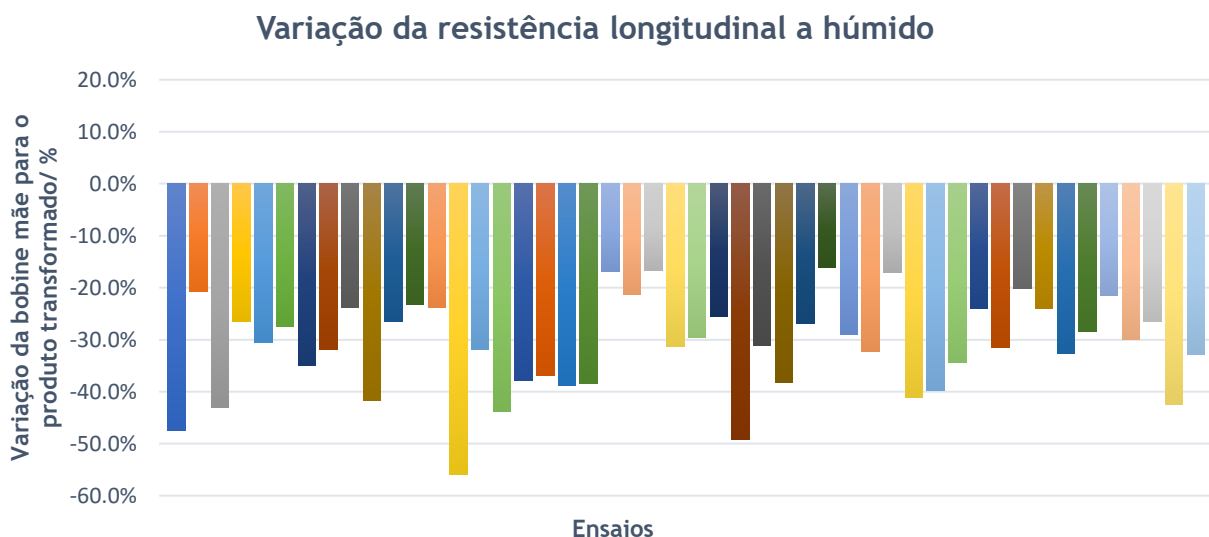


Figura B.3.8- Variação da resistência longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-C.

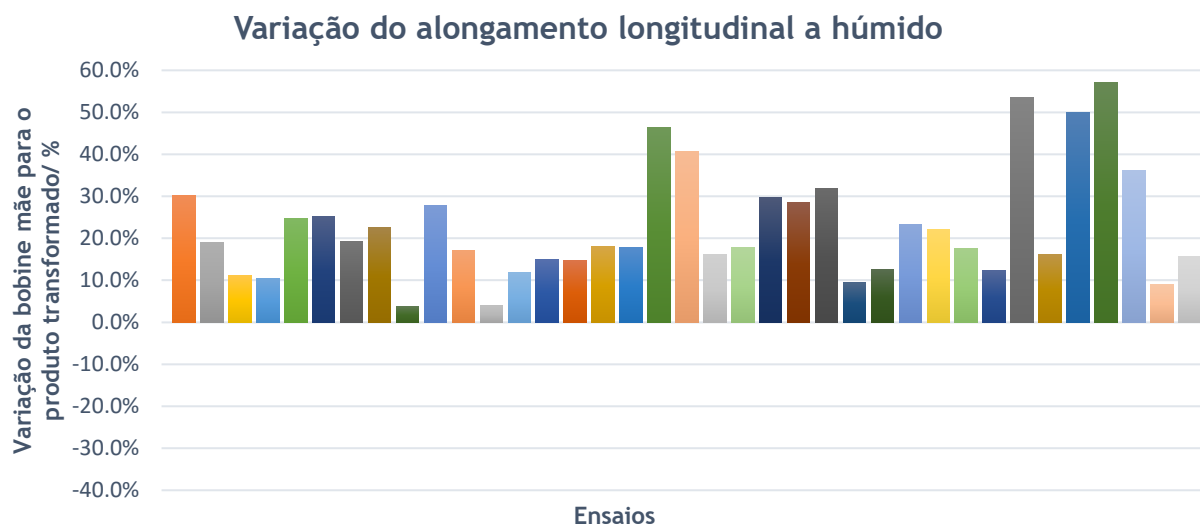


Figura B.3.9- Variação do alongamento longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-C.

B.4 Guardanapos de gramagem 15 g·m⁻² de folha dupla com gofragem ponto-ponto

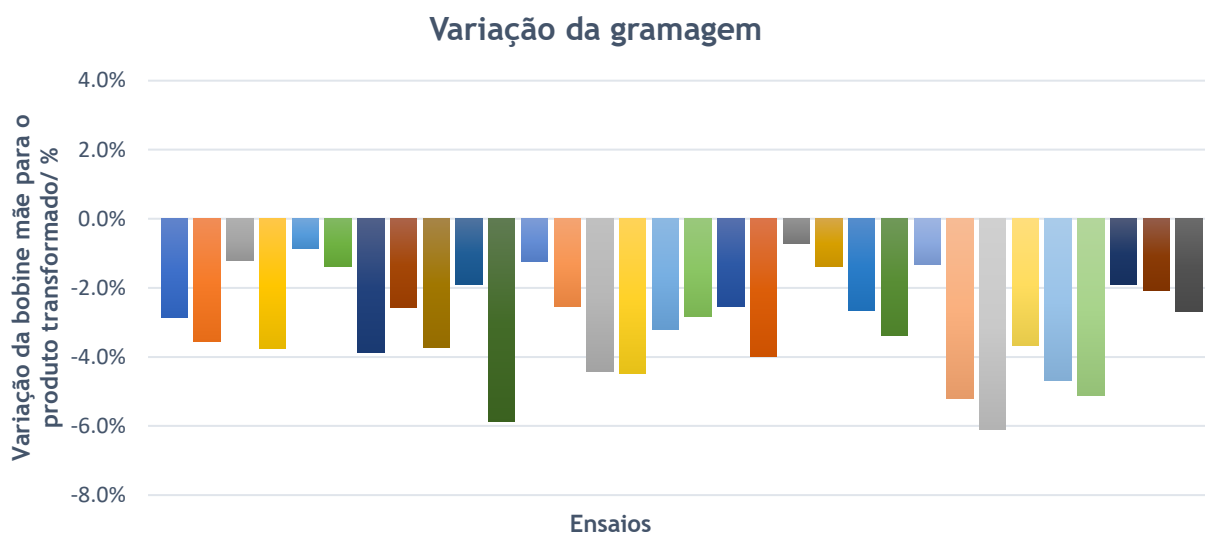


Figura B.4.1- Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-PP.

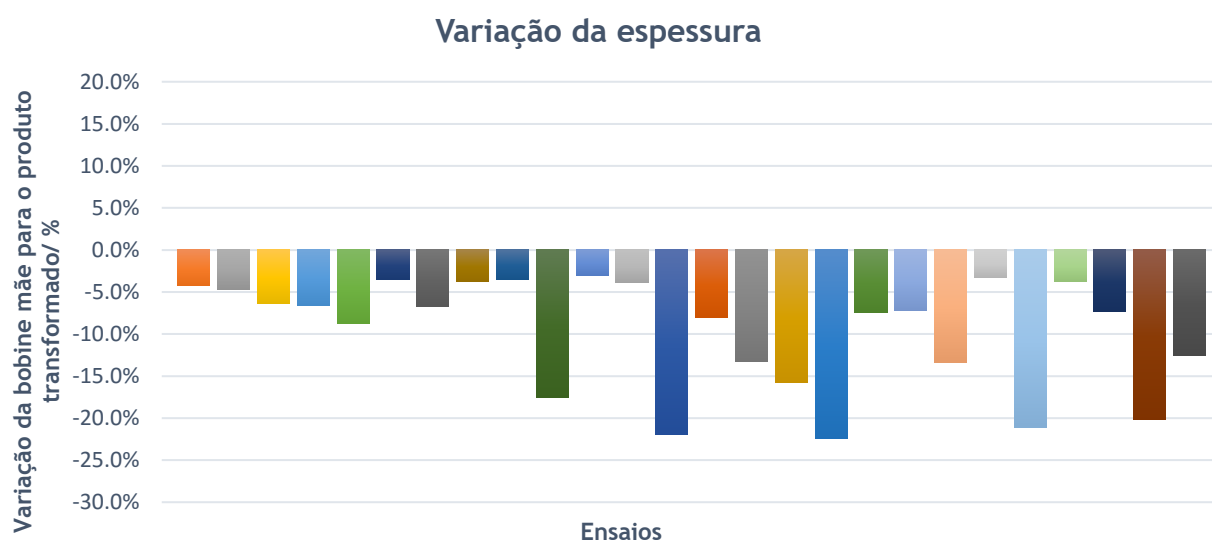


Figura B.4.2- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-PP.



Figura B.4.3- Variação do brilho da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-PP.

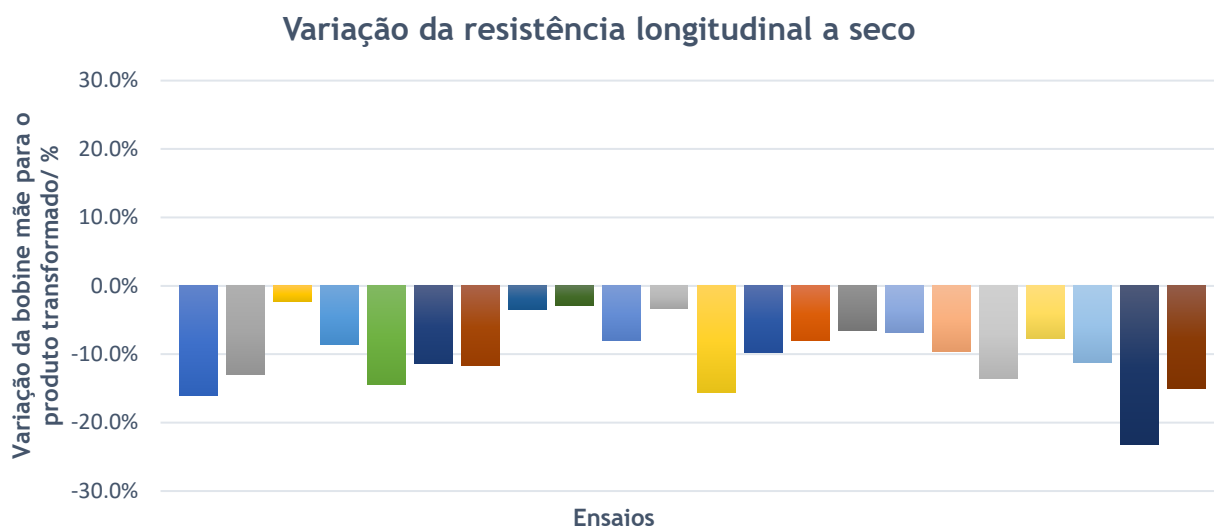


Figura B.4.4- Variação da resistência longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-PP.

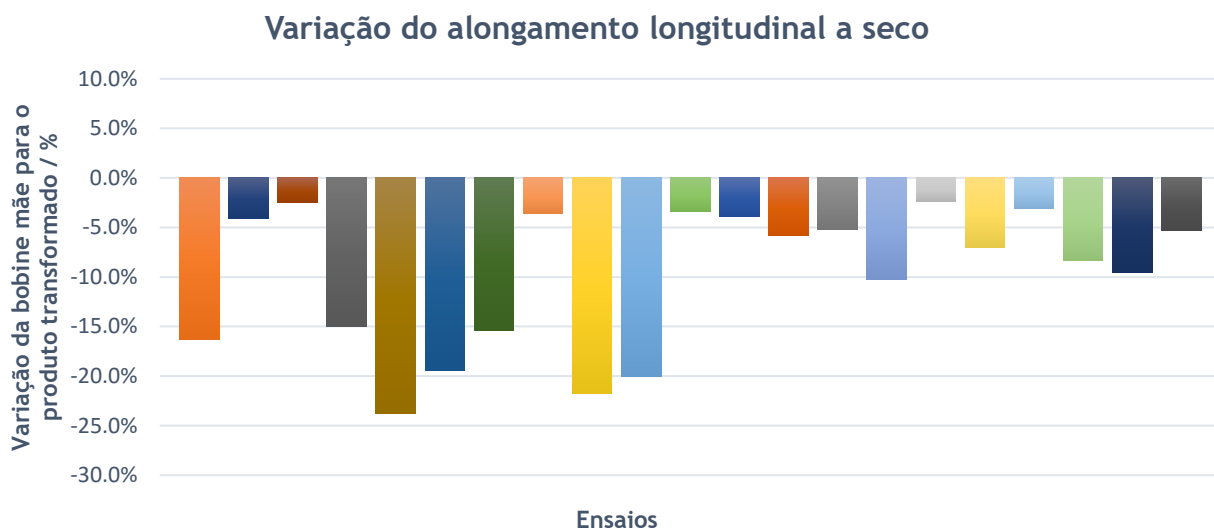


Figura B.4.5- Variação do alongamento longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-PP.

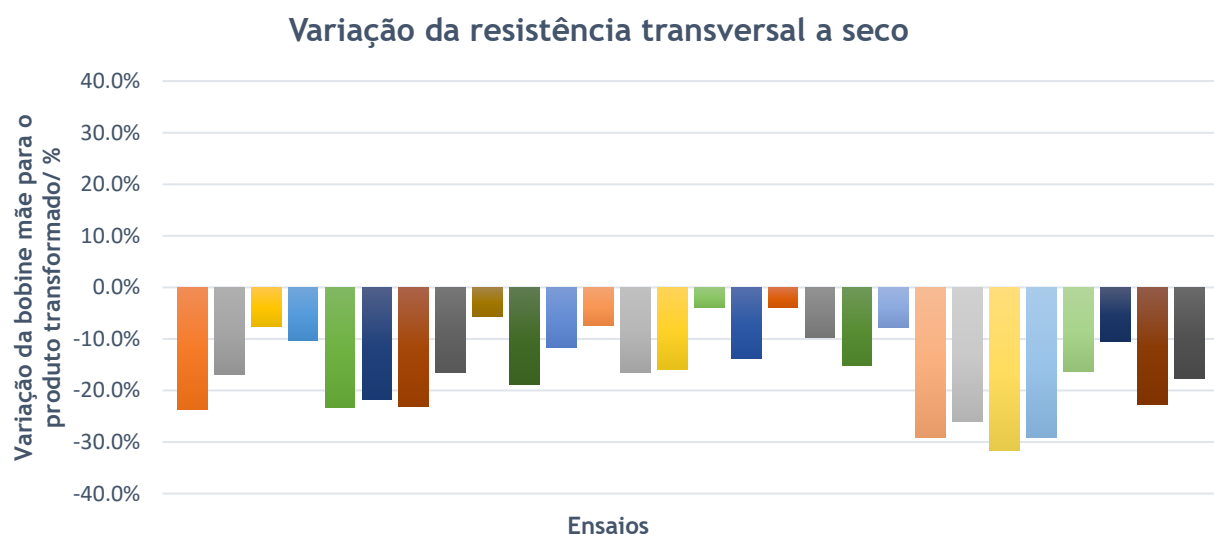


Figura B.4.6- Variação da resistência transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-PP.

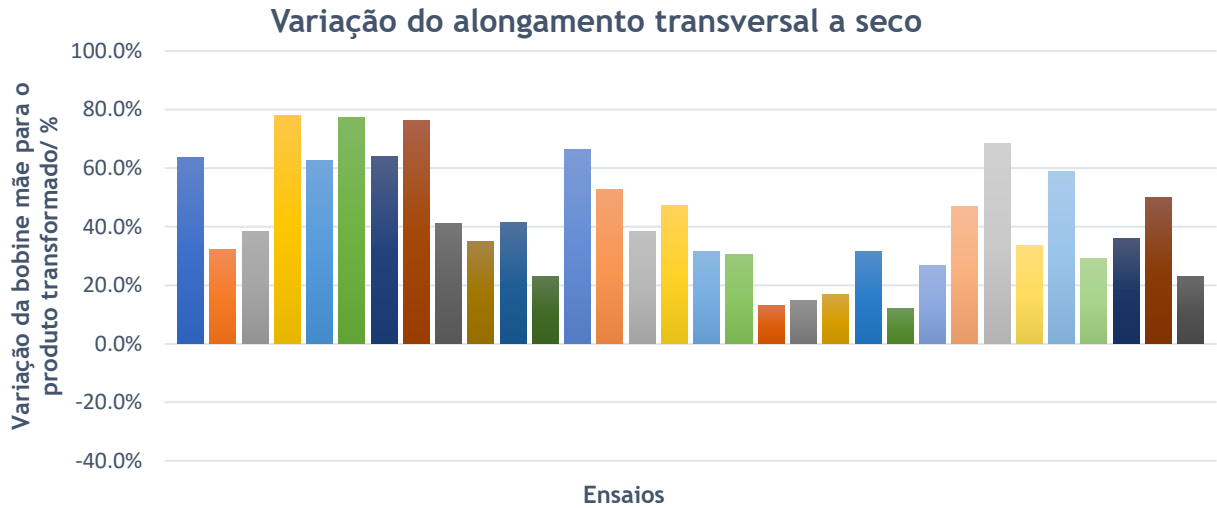


Figura B.4.7- Variação do alongamento transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-PP.

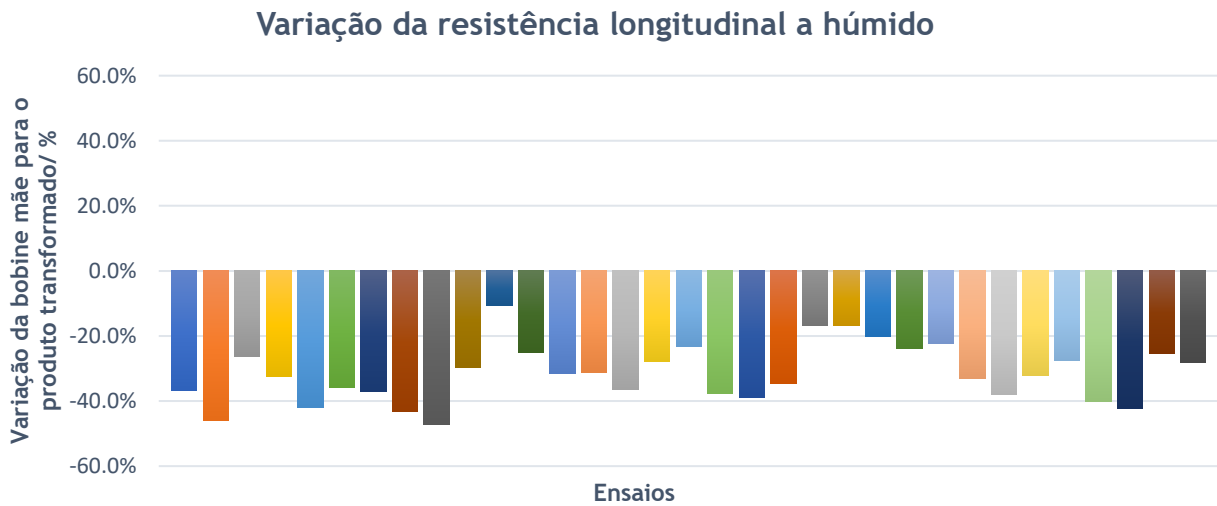


Figura B.4.8- Variação da resistência longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-PP.

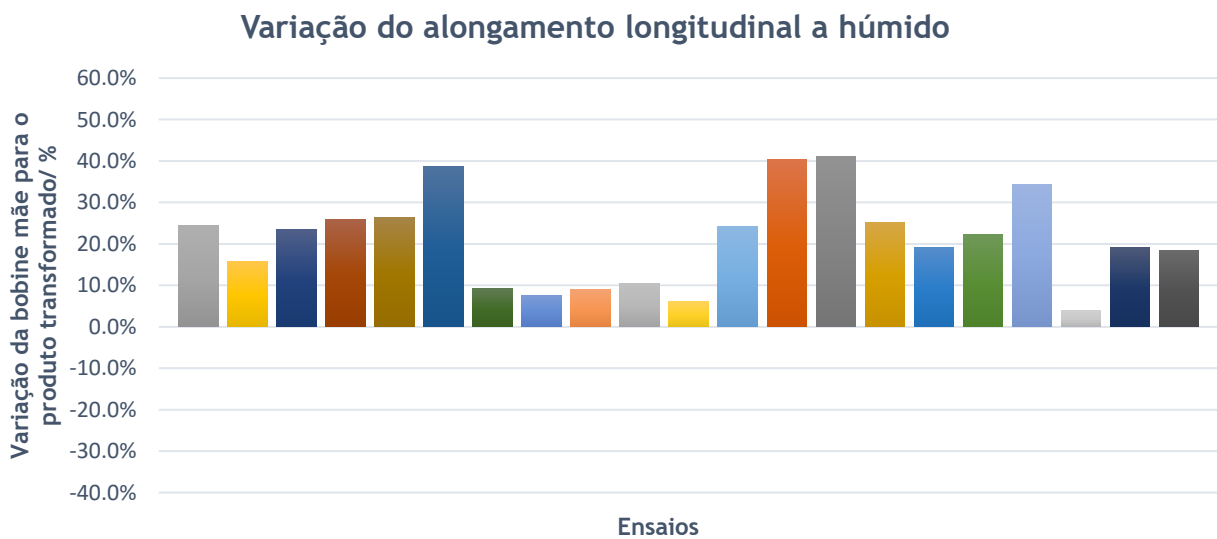


Figura B.4.9- Variação do alongamento longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para os GD 15 FD-PP.

B.5 Lenços de gramagem 15 g·m⁻² de folha tripla

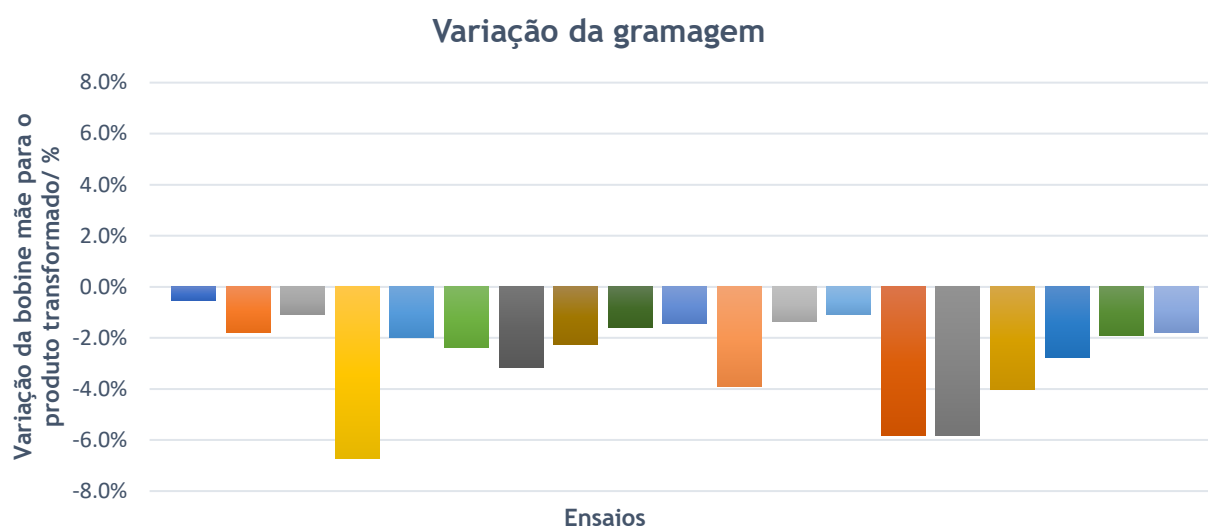


Figura B.5.1- Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para os Lenços FT.



Figura B.5.2- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para os Lenços FT.



Figura B.5.3- Variação do brilho da bobine mãe para o produto transformado para os Lenços FT.

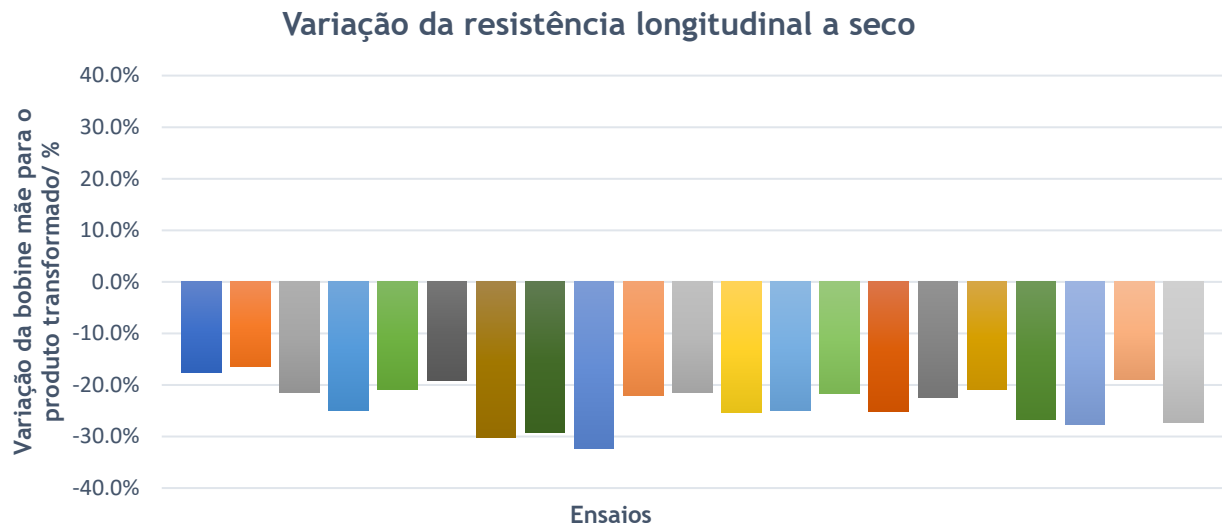


Figura B.5.4- Variação da resistência longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os Lenços FT.

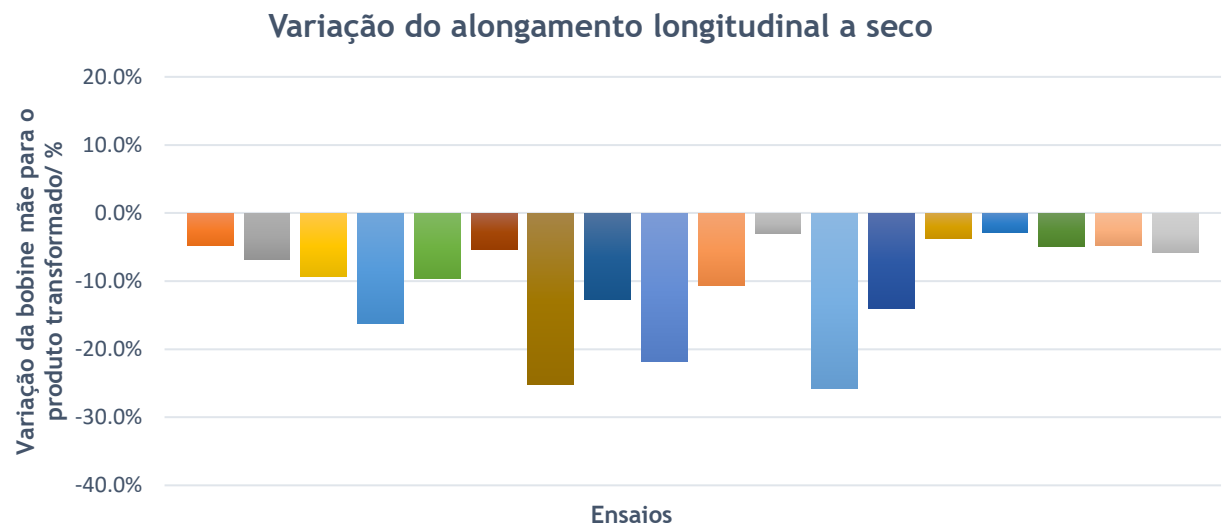


Figura B.5.5- Variação do alongamento longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os Lenços FT.

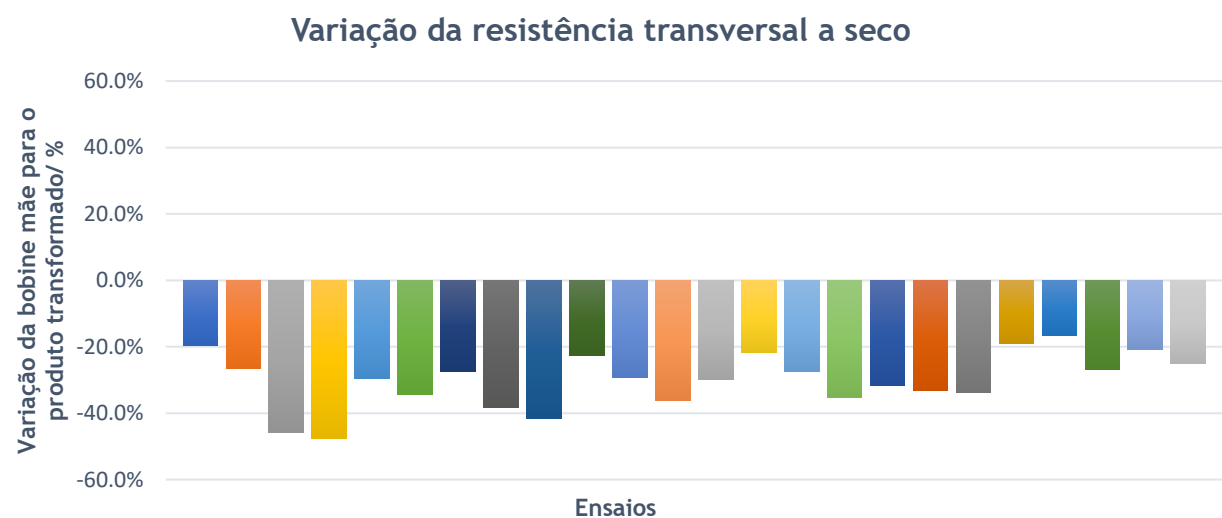


Figura B.5.6- Variação da resistência transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os Lenços FT.

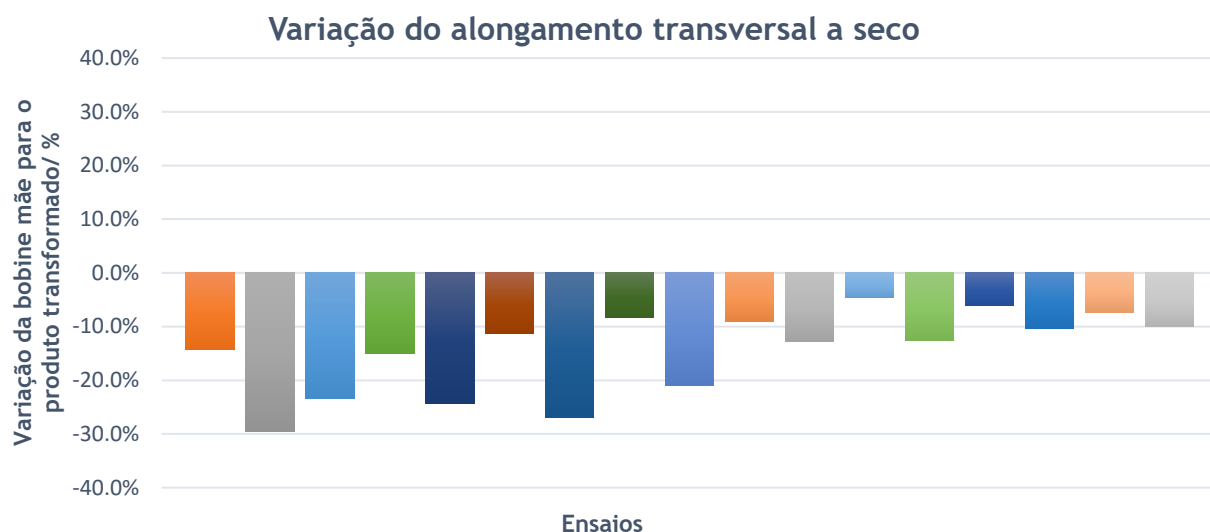


Figura B.5.7- Variação do alongamento transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para os Lenços

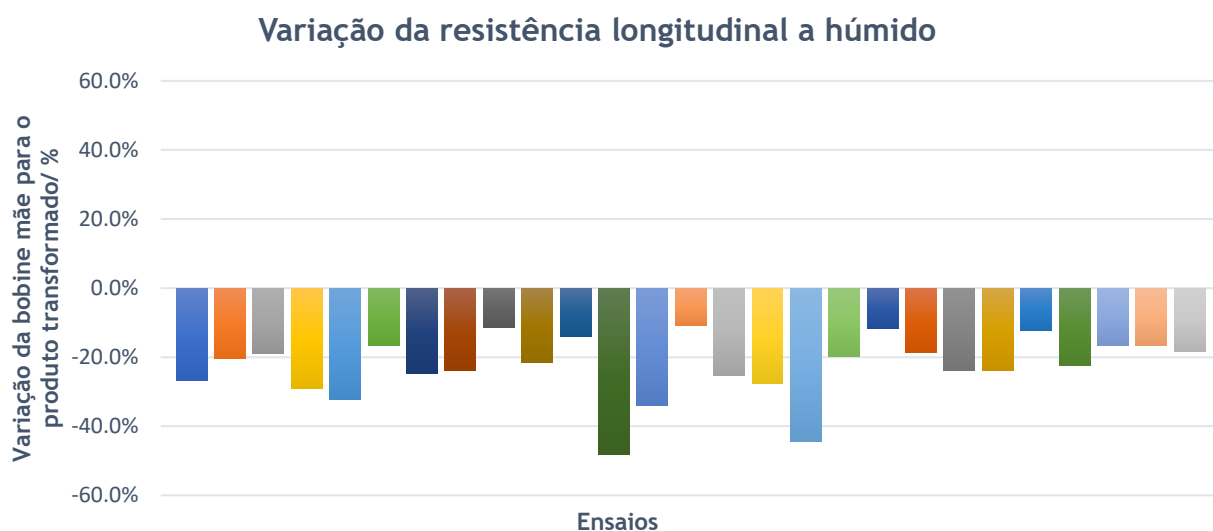


Figura B.5.8- Variação da resistência longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para os Lenços FT.

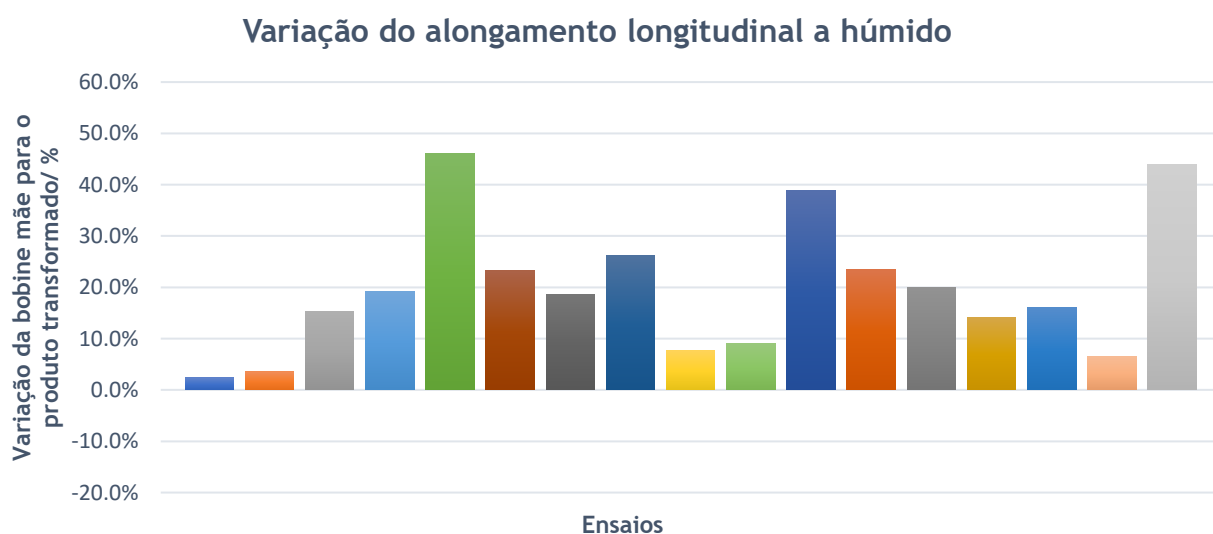


Figura B.5.9- Variação do alongamento longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para os Lenços FT.

B.6 Rolo de Cozinha de gramagem 20 g.m-2 Compact

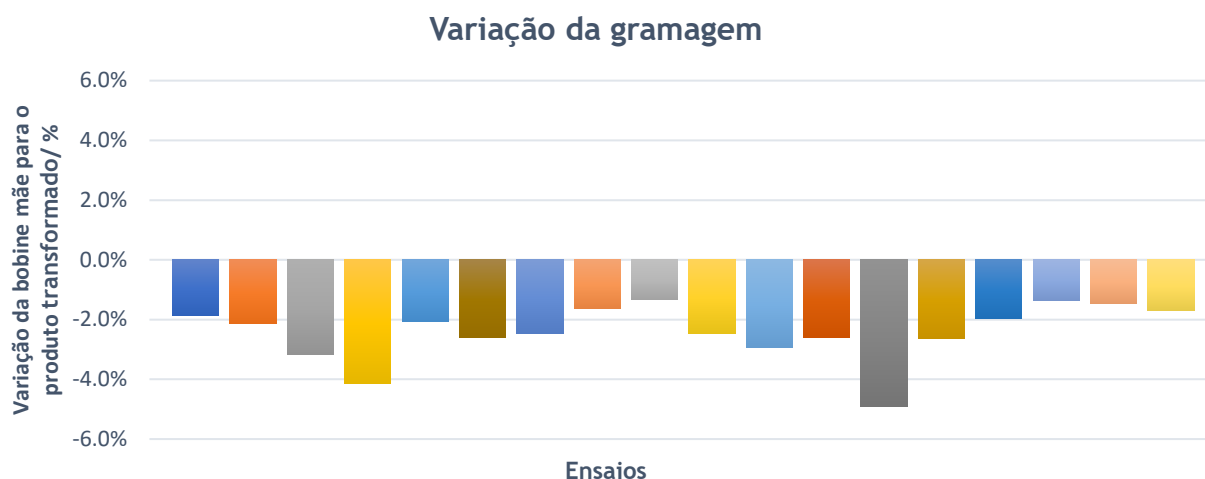


Figura B.6.1- Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para o RC 20 Comp.

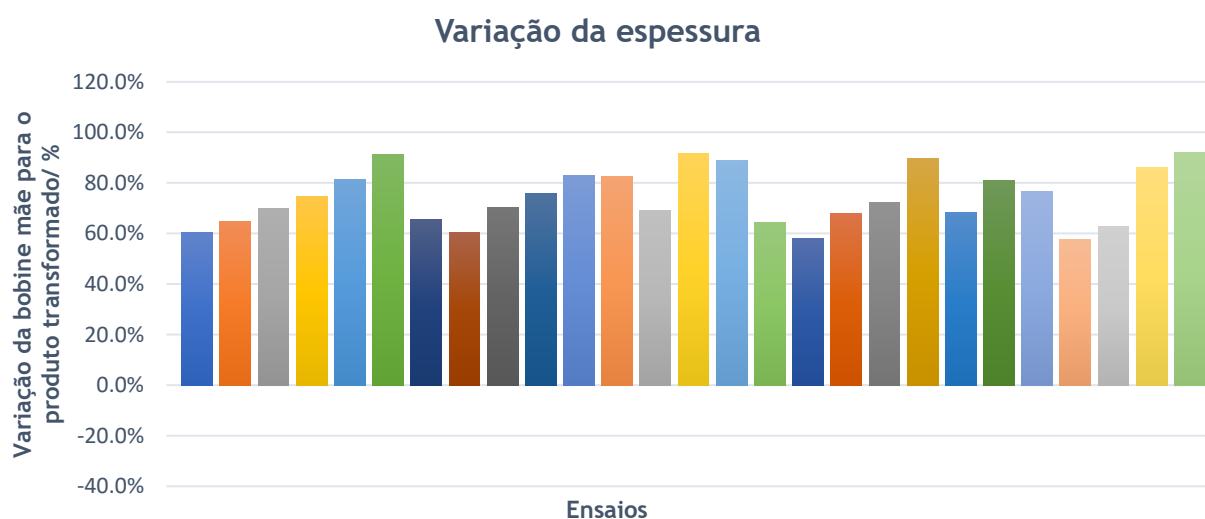


Figura B.6.2- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para o RC 20 Comp.

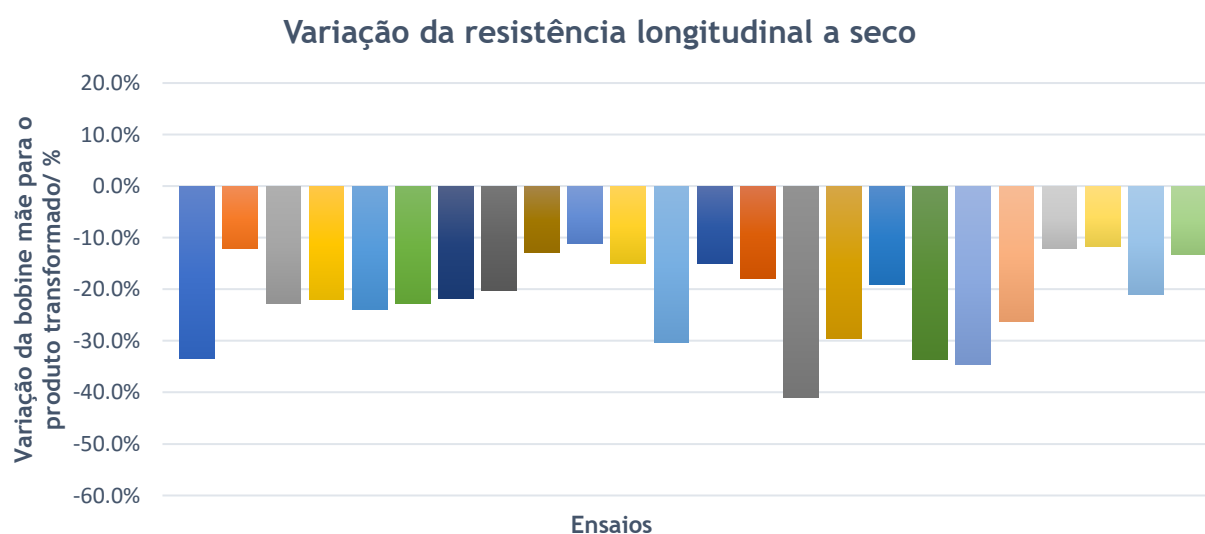


Figura B.6.3- Variação da resistência longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 20 Comp.

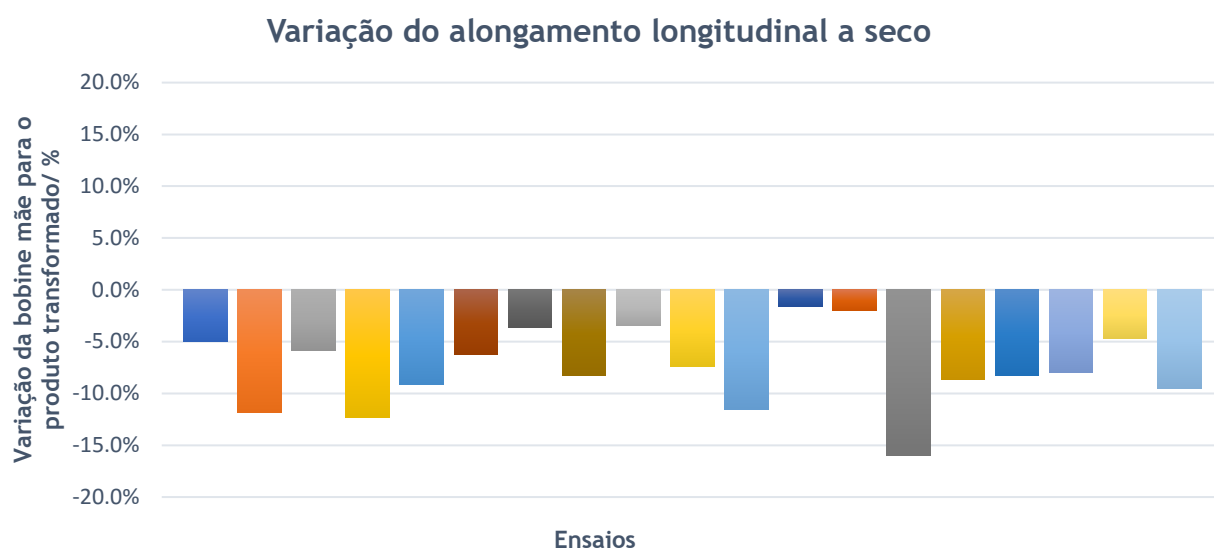


Figura B.6.4- Variação do alongamento longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 20 Comp.

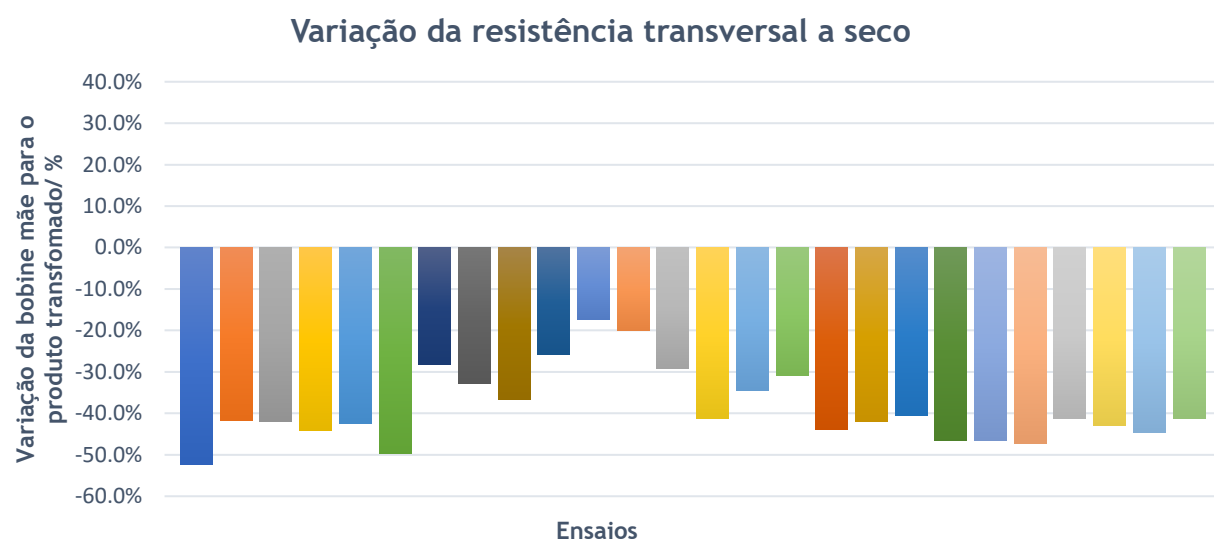


Figura B.6.5- Variação da resistência transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 20 Comp.

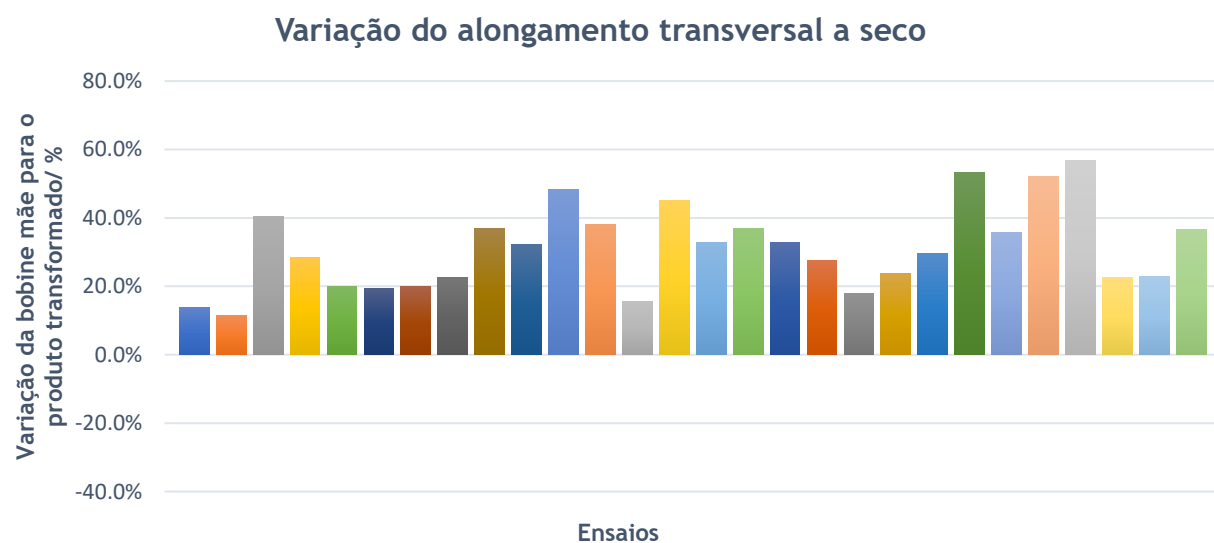


Figura B.6.6- Variação do alongamento transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 20 Comp.

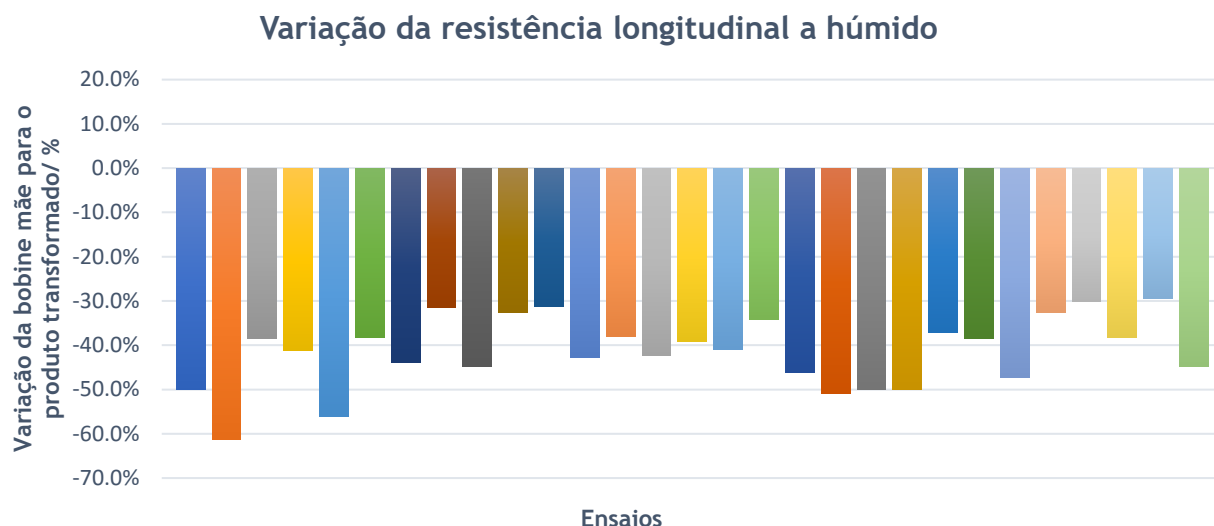


Figura B.6.7- Variação da resistência longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para o RC 20 Comp.

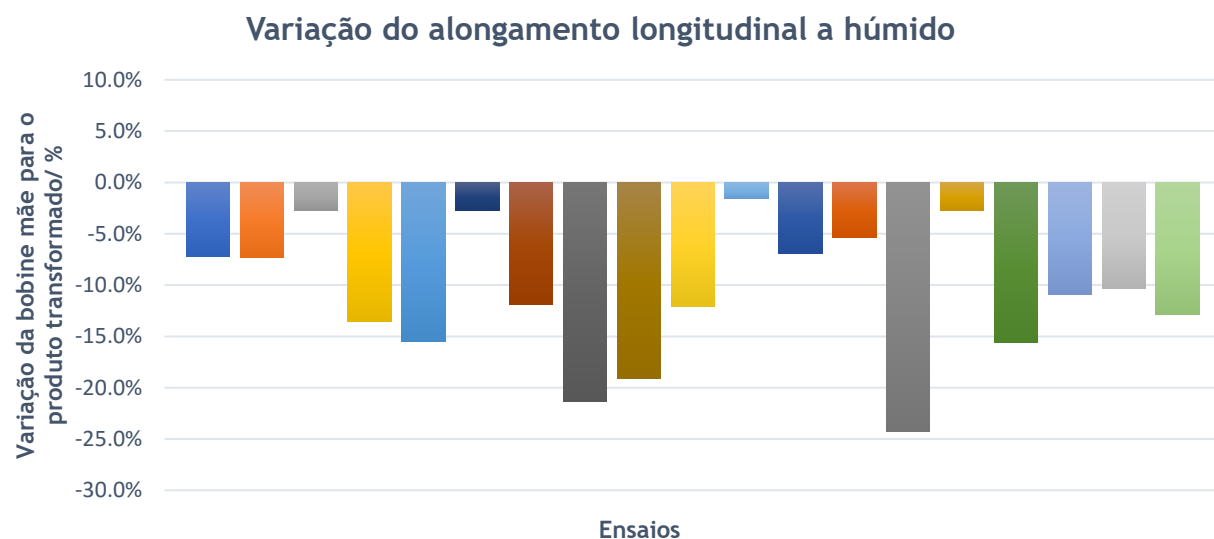


Figura B.6.8- Variação do alongamento longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para o RC 20 Comp.

B.7 Rolo de Cozinha de gramagem 21 g·m⁻² *Standard*

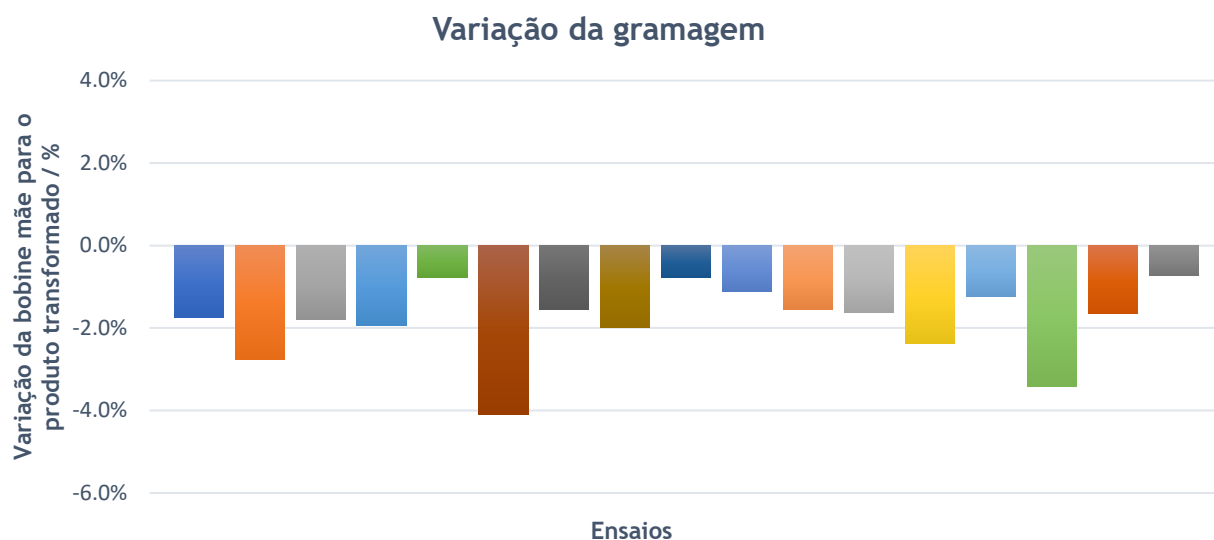


Figura B.7.1- Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Stan.

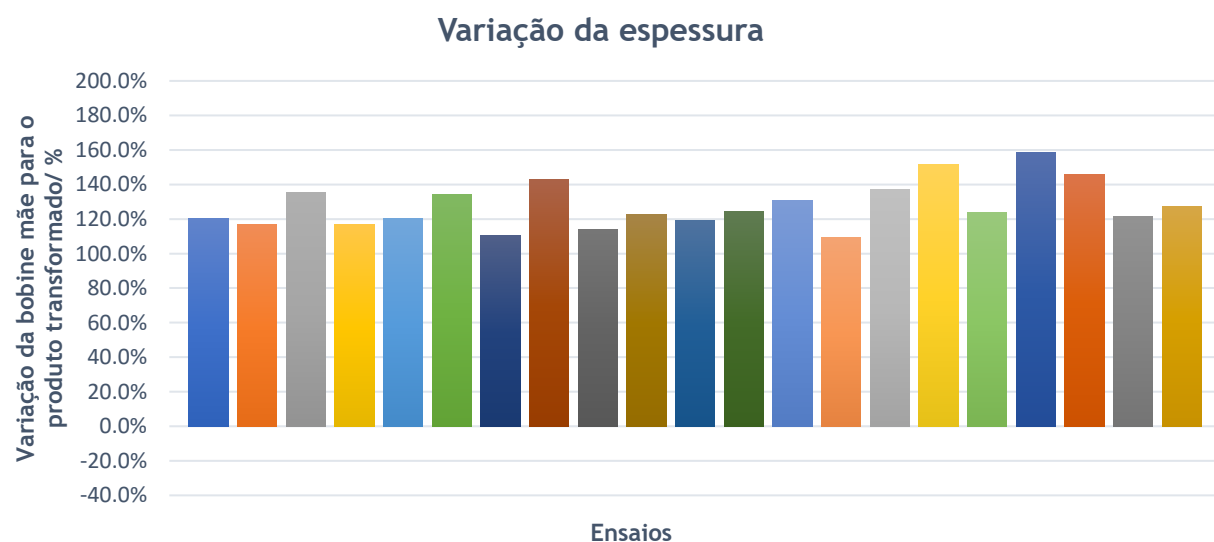


Figura B.7.2- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Stan.

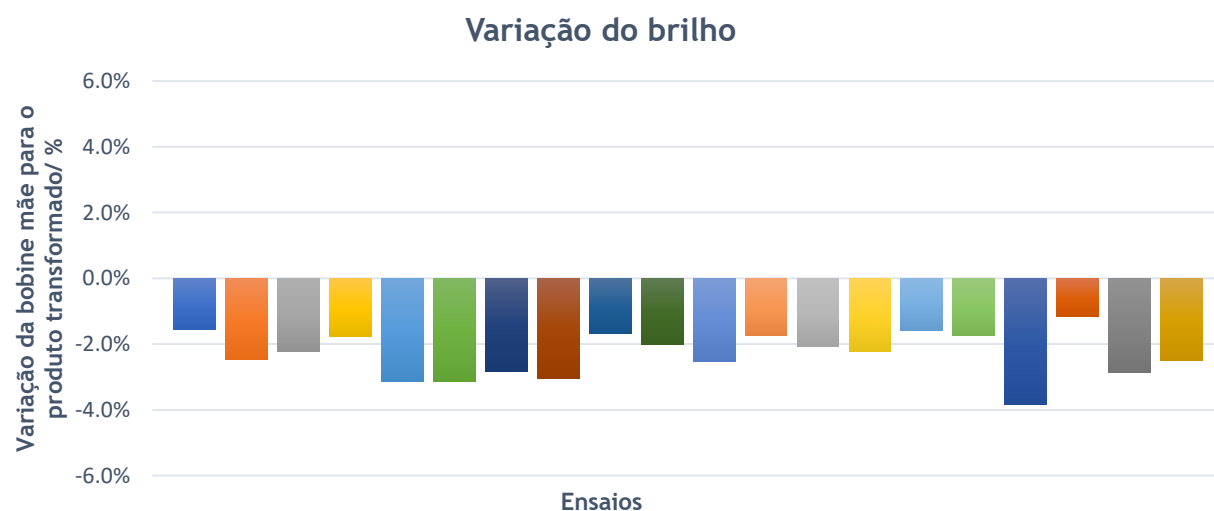


Figura B.7.3- Variação do brilho da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Stan.

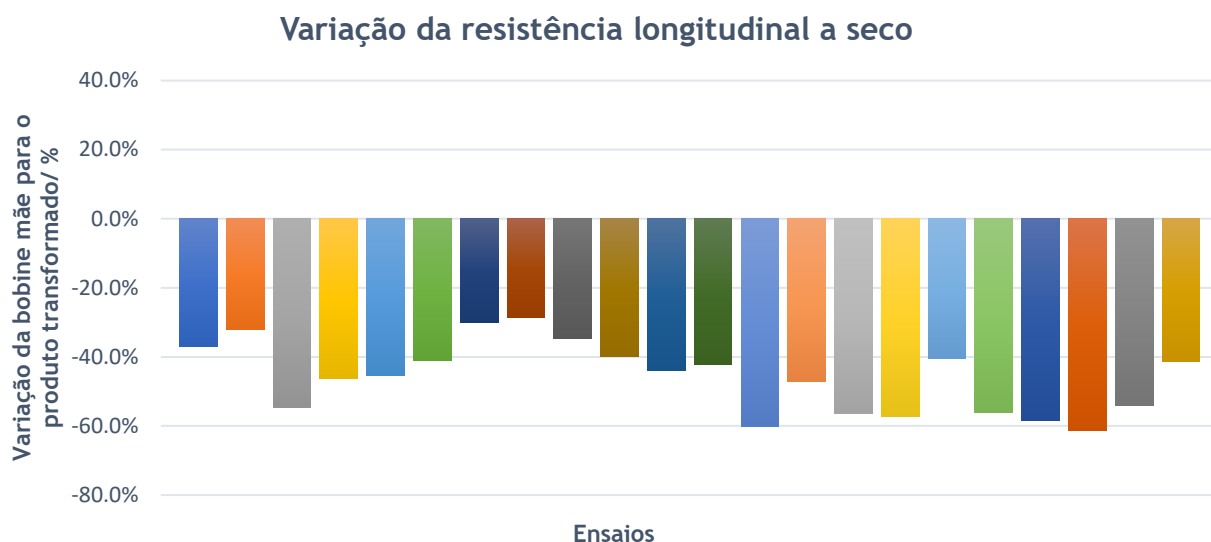


Figura B.7.4- Variação da resistência longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Stan.

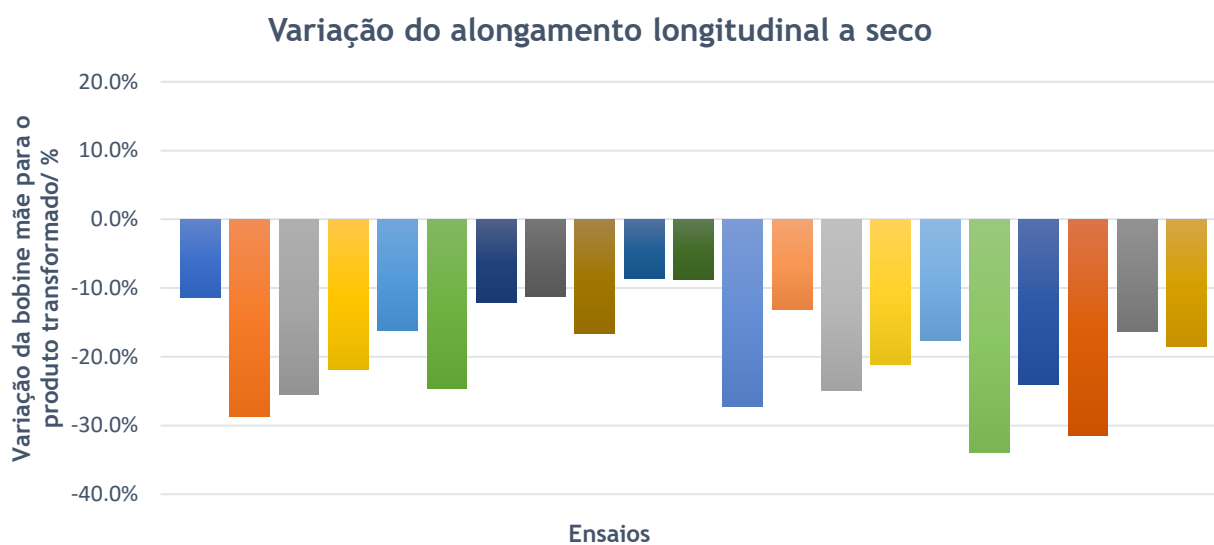


Figura B.7.5- Variação do alongamento longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21

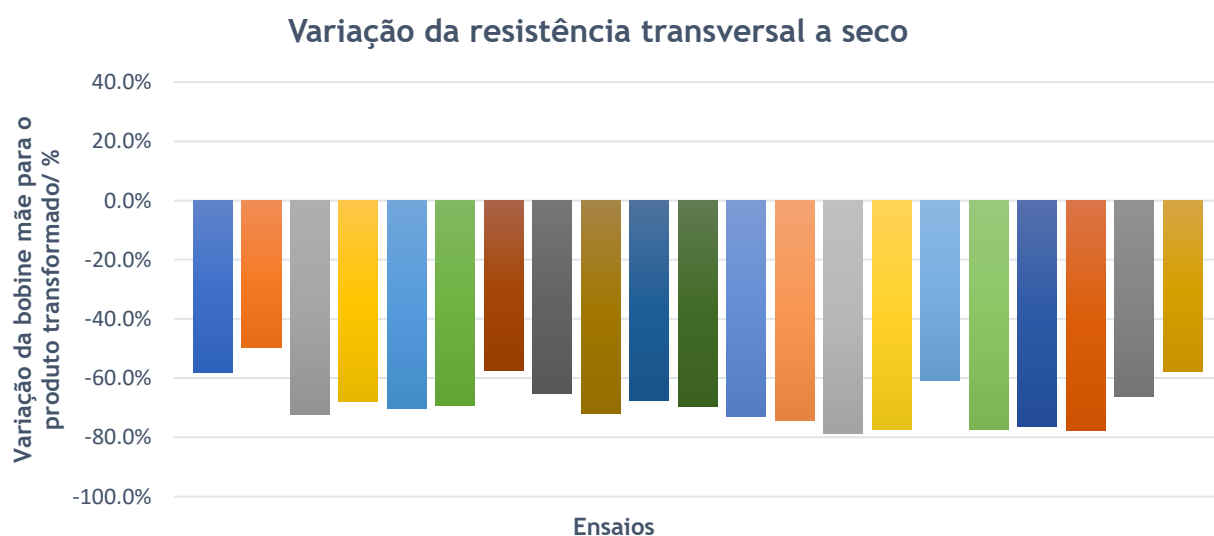


Figura B.7.6- Variação da resistência transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Stan.

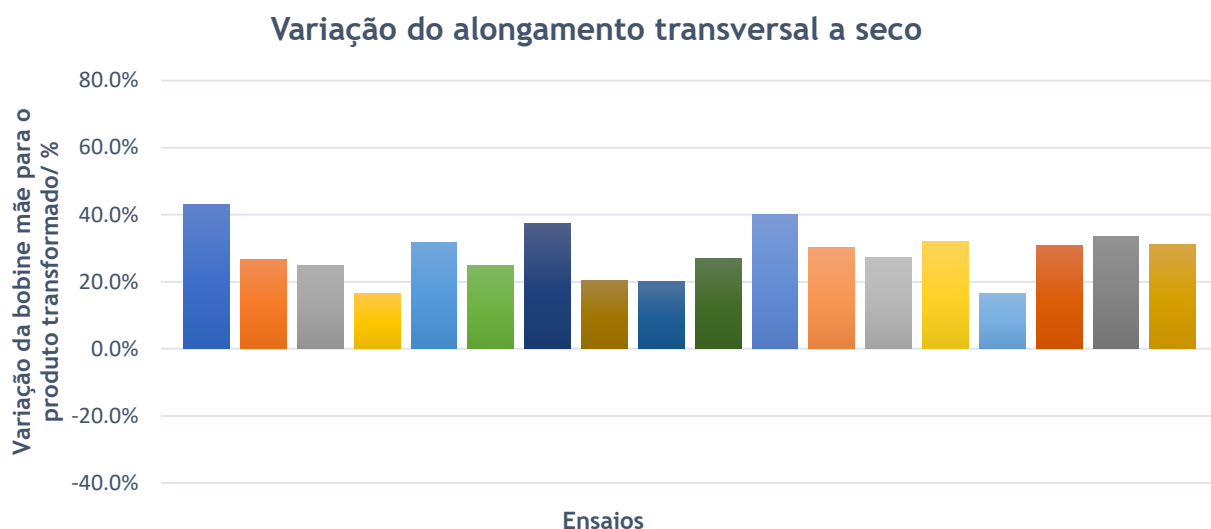


Figura B.7.7- Variação do alongamento transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Stan.



Figura B.7.8- Variação da resistência longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Stan.

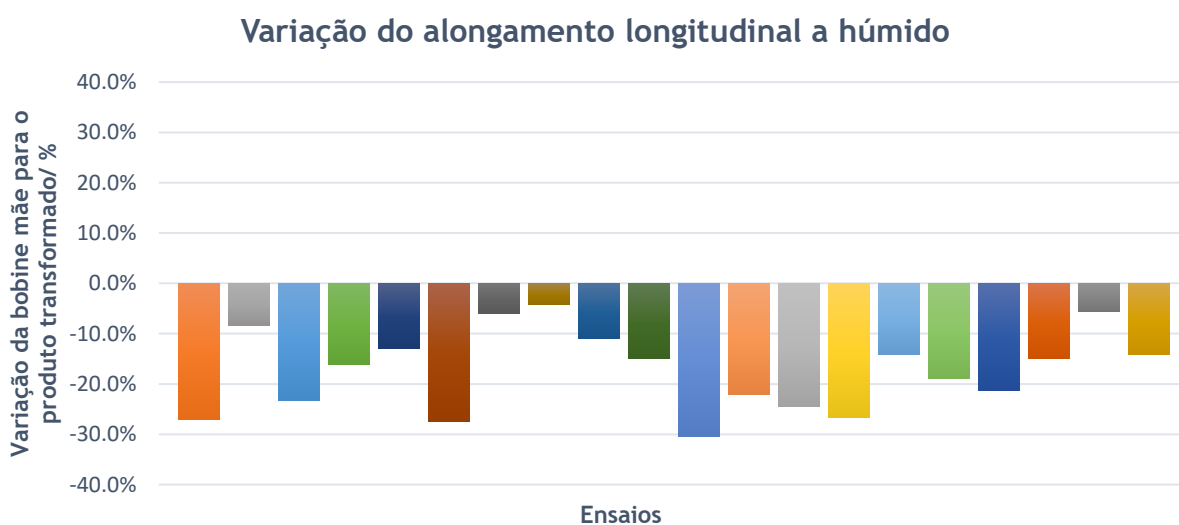


Figura B.7.9- Variação do alongamento longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Stan.

B.8 Rolo de Cozinha de gramagem 21 g·m⁻² *Compact*

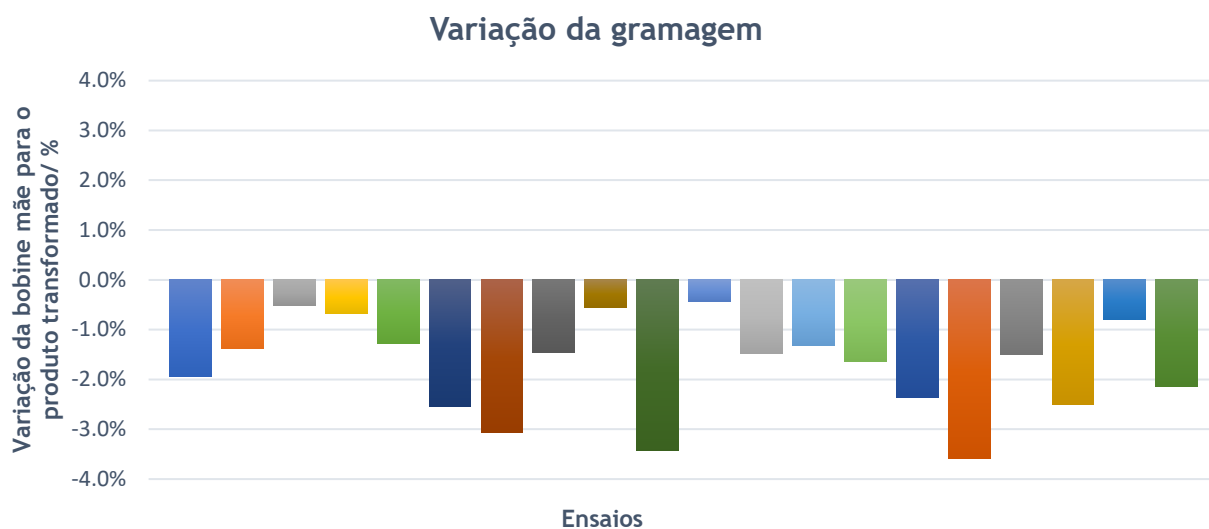


Figura B.8.1- Variação da gramagem da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Comp.

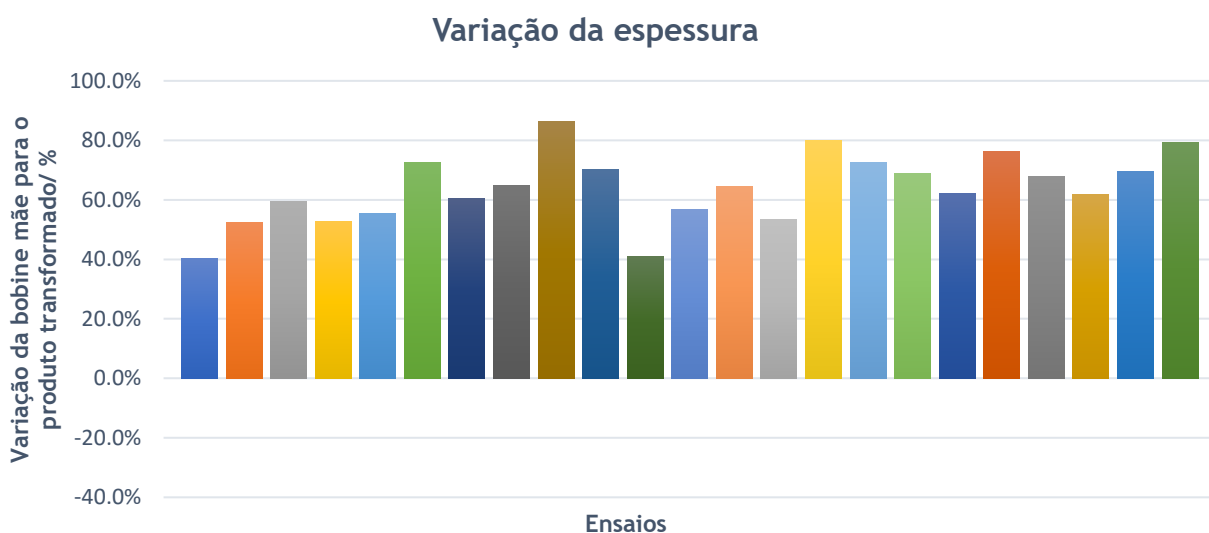


Figura B.8.2- Variação da espessura da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Comp.

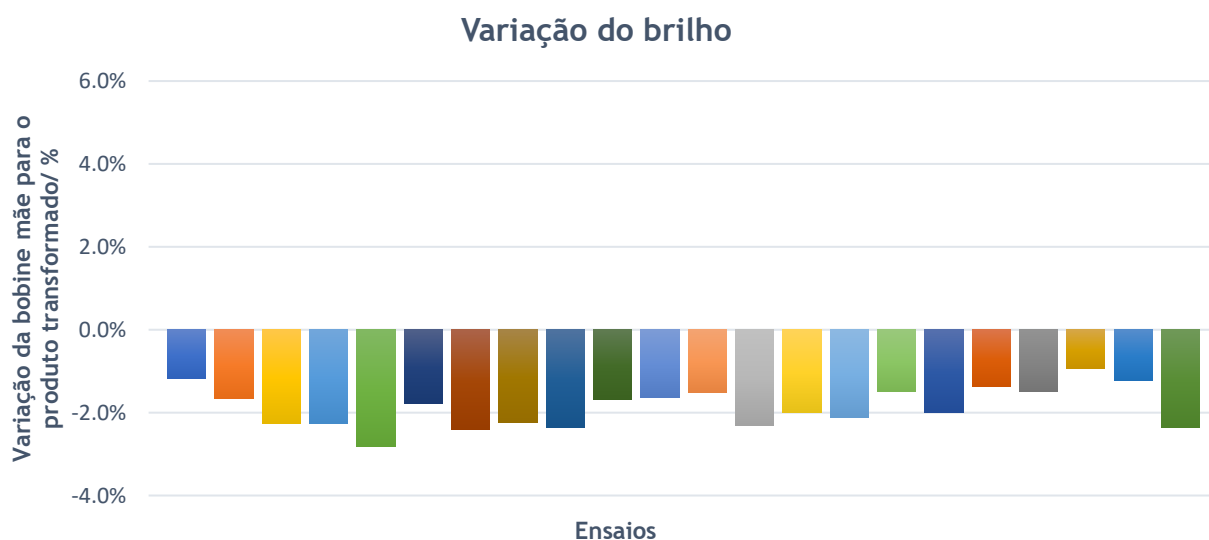


Figura B.8.3- Variação do brilho da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Comp.

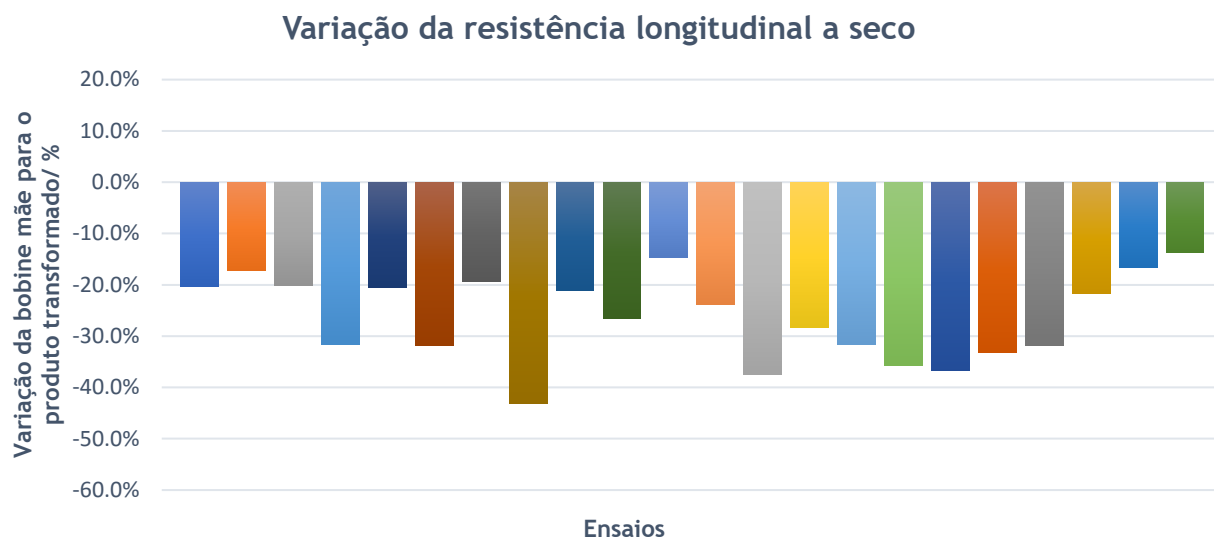


Figura B.8.4- Variação da resistência longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Comp.

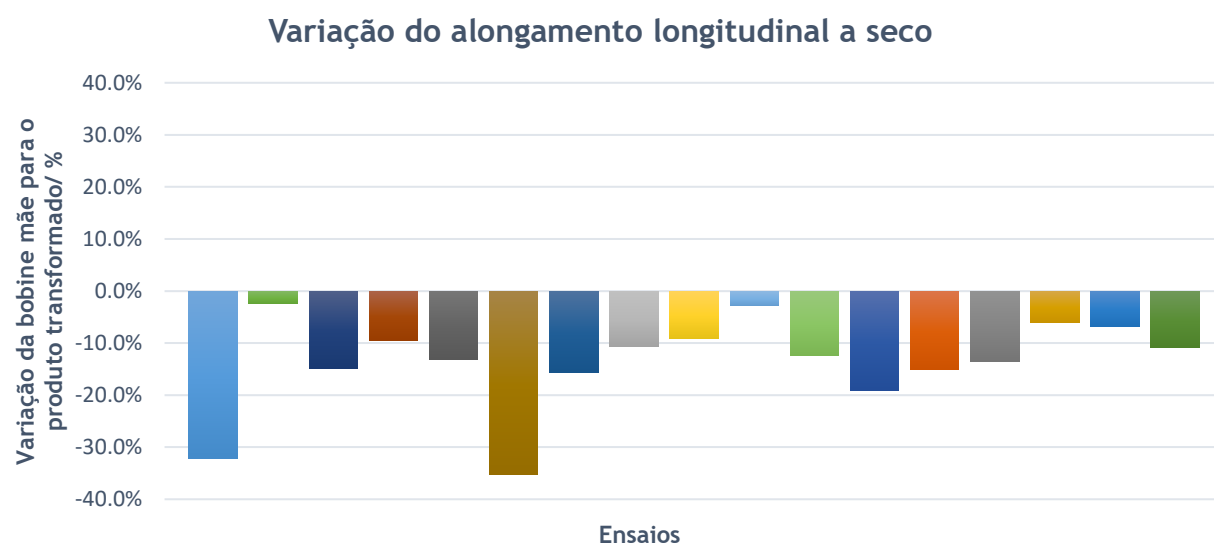


Figura B.8.5- Variação do alongamento longitudinal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Comp.

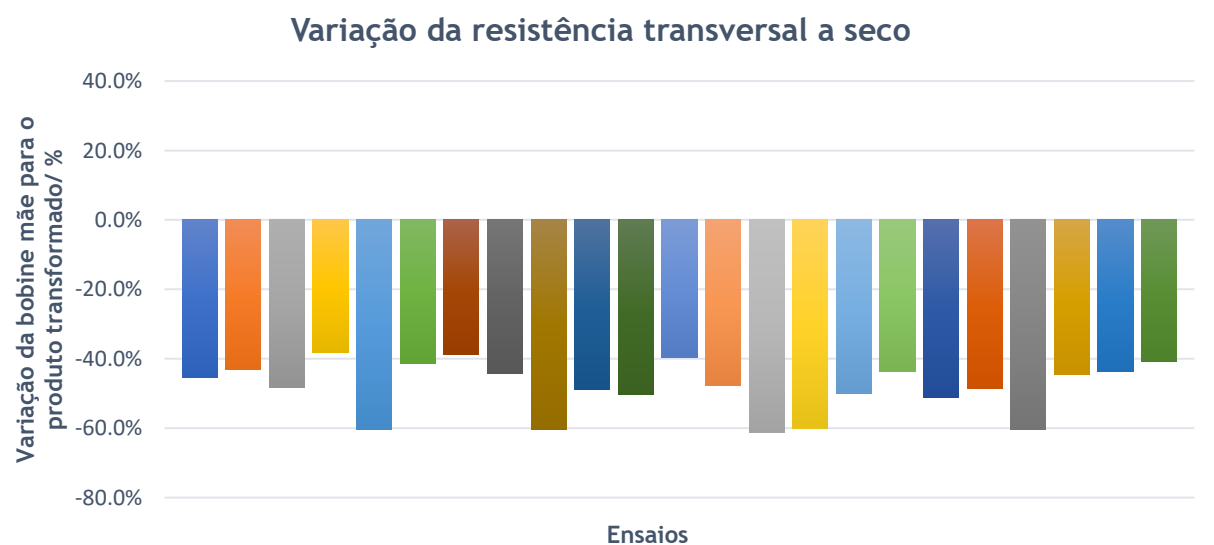


Figura B.8.6- Variação da resistência transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Comp.

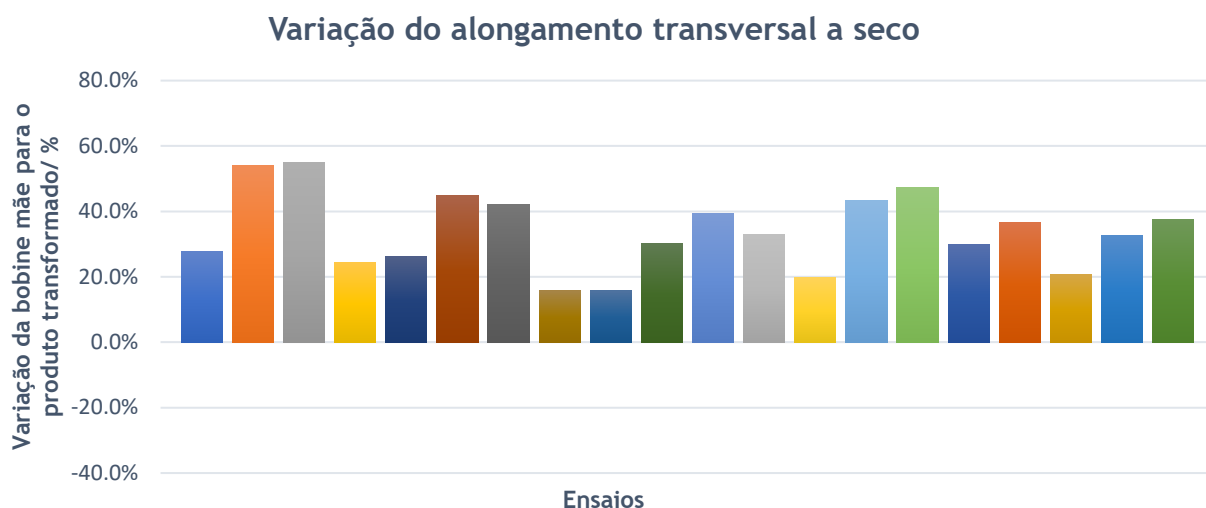


Figura B.8.7- Variação do alongamento transversal a seco da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21

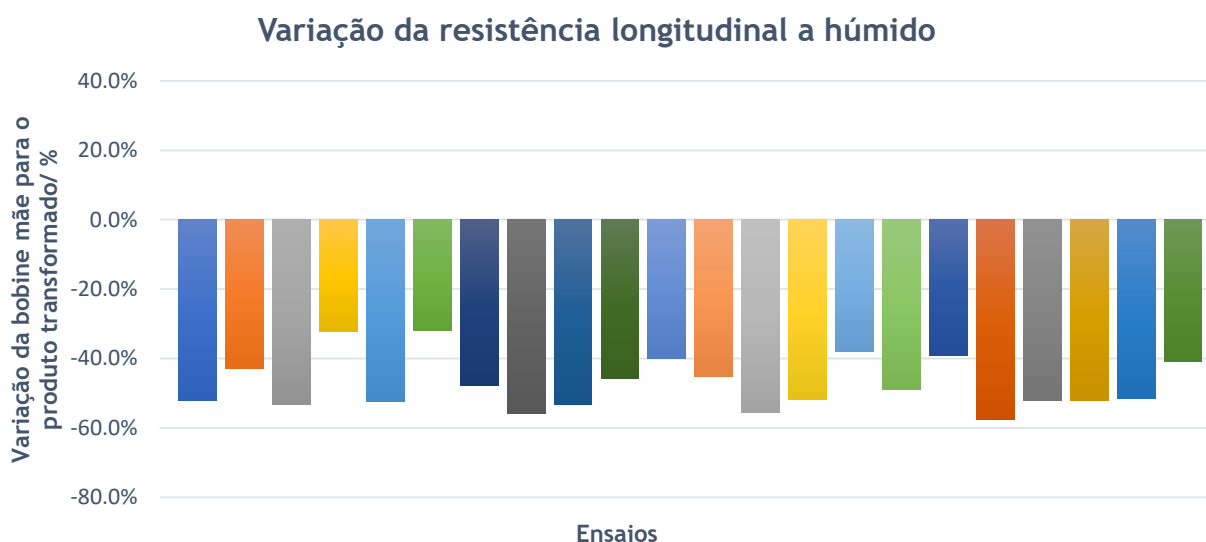


Figura B.8.8- Variação da resistência longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Comp.



Figura B.8.9- Variação do alongamento longitudinal a húmido da bobine mãe para o produto transformado para o RC 21 Comp.