

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

ALEXANDRE ARAÚJO FRANCO

**UTILIZAÇÃO DE CARBONATO DE ZIRCÔNIO COMO RETICULANTE
PARA AMIDO APLICADO SUPERFICIALMENTE NA PRODUÇÃO DE
PAPEL PARA EMBALAGENS**

MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO

PONTA GROSSA

2017

ALEXANDRE ARAÚJO FRANCO


**UTILIZAÇÃO DE CARBONATO DE ZIRCÔNIO COMO RETICULANTE
PARA AMIDO APLICADO SUPERFICIALMENTE NA PRODUÇÃO DE
PAPEL PARA EMBALAGENS**

Trabalho de Monografia apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção, do Departamento de Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Claudia Tania Picinin

PONTA GROSSA

2017

	<p>Ministério da Educação UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ CAMPUS PONTA GROSSA Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação Curso de Especialização em Engenharia de Produção</p>	
---	--	---

FOLHA DE APROVAÇÃO

UTILIZAÇÃO DE CARBONATO DE ZIRCÔNIO COMO RETICULANTE PARA AMIDO APLICADO SUPERFICIALMENTE NA PRODUÇÃO DE PAPEL PARA EMBALAGENS.

por

Alexandre Araújo Franco

Esta monografia foi apresentada no dia dezessete de março de dois mil e dezessete como requisito parcial para a obtenção do título de ESPECIALISTA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof^a. Dr^a Claudia Tania Picinin (UTFPR)
Orientadora

Prof. Dr. Cassiano Moro Piekarski (UTFPR)
Membro

Prof. Dr. Flavio Trojan (UTFPR)
Membro

Visto do Coordenador:

Prof. Dr. Ariel Orlei Michaloski
Coordenador
UTFPR – Câmpus Ponta Grossa

*A versão assinada pela banca fica depositada na pasta do aluno, no Departamento de Registros Acadêmicos.

AGRADECIMENTOS

Dedico este trabalho primeiramente a DEUS, essencial em nossas vidas, autor do meu destino que está presente em todas as horas.

A minha amada família, em especial a minha esposa, Rosângela, que me acompanha desde sempre e por sua capacidade de acreditar e me incentivar naquilo que me proponho a realizar.

À minhas duas jóias preciosas, Amanda e Caroline, amadas filhas motivos por quem meu coração bate.

À Professora Dr^a. Claudia Tania Picinin, pela orientação e conhecimento transmitido no andamento deste trabalho, além do estímulo no tema pesquisado.

Aos colegas na jornada desta especialização, os quais criamos laços de amizade que levaremos por toda a vida.

A Instituição promotora deste curso – UTFPR – e seu corpo docente os quais foram facilitadores no decorrer deste curso, no qual encerramos com esse trabalho de conclusão.

Enfim, a todos aqueles que direta ou indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.

“Não existe vento favorável a aquele que
não sabe onde deseja chegar...”

Sêneca

RESUMO

Franco, Alexandre Araújo. **Utilização de carbonato de zircônio como reticulante para amido aplicado superficialmente na produção de papel para embalagens.** 2017. 53 f. Trabalho de Monografia (Especialização em Engenharia de Produção) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2017.

A busca pelo incremento nas propriedades físicas de papéis para embalagens tem sido um desafio tanto para os fabricantes de papel como para os produtores de aditivos químicos. O amido é um dos principais produtos utilizados nesse segmento para obter o incremento de resistência, por ser um polímero natural de fácil obtenção e custo relativamente baixo. Porém devido ser altamente higroscópico e solúvel em água, parte desse incremento de resistência obtido em um primeiro momento, se perde à medida que o papel absorve a umidade do meio ao qual está exposto. Este estudo busca avaliar o comportamento da utilização de um agente a base de carbonato de zircônio como reticulante para amido aplicado superficialmente na fabricação de papéis para embalagem. Para tanto, o estudo foi conduzido com aplicações práticas em uma fábrica de papel e embalagem de médio porte localizada no estado do Paraná. No estudo realizado ficou evidenciado que o carbonato de zircônio além de ser um produto alinhado com as novas legislações ambientais, apresenta compatibilidade com as características do amido utilizado pelos fabricantes de papel, tornando-se assim uma alternativa viável para esta finalidade. Além disso, as suas características físico-químicas produzem vantagens técnicas em relação aos produtos comumente utilizados, no que diz respeito à operação e na resistência do papel, fatores estes que além de ganhos qualitativos do produto final podem afetar diretamente o resultado financeiro na produção de papéis para embalagens, gerando redução de custo para os fabricantes.

Palavras-chave: Propriedades físicas de papéis para embalagens. Amido. Reticulante. Carbonato de zircônio.

ABSTRACT

Franco, Alexandre Araújo. **Use of zirconium carbonate as a crosslinking agent for surface starch in the production of packaging paper. 2017.** 51 f. Monograph Work (Specialization in Production Engineering) - Federal Technological University of Paraná. Ponta Grossa, 2017.

The quest for increase the physical properties of packaging papers has been a challenge for both papermakers and producers of chemical additives. The starch is one of the main products used in this segment to obtain the increase of strength, as it is a natural polymer of easy obtaining and low cost impacts. However, because it is highly hygroscopic and water soluble, part of the increase in strength obtained at first, get lost as far the paper absorbes the moisture of the exposed enviroment. Therefore the study was conducted with practical applications in a paper and packaging mill located in the state of Paraná. The case studied has shown that Zirconium Carbonate, in addition to being a product in line with the new environmental legislation, is compatible with the starch characteristics used by paper manufacturers, becoming a viable alternative for this purpose. In addition, in function of their physical and chemical characteristics, it presents technical advantages over the common products, with regard to the process operation and the paper resistance. This factors get qualified results for the final product and can directly affect the result in the production of papers for packaging, generating cost reduction for manufacturers.

Keywords: Physical properties of packaging papers. Starch. Crosslinking agent. Zirconium carbonate.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tendência Teste de RCT – produção de Papel Especial 175 g/m ²	42
Gráfico 2 - Tendência Teste de CMT – Produção de Papel Especial 175 g/m ²	43
Gráfico 3 - Tendência de <i>COBB TEST</i> – Produção de Papel Especial 175 g/m ²	44
Gráfico 4 - Consumos de amido – reticulante e agente de colagem	45
Gráfico 5 - Comparativo teste compressão caixa carbonato de zircônio x epicloridrina	48
Gráfico 6 - Comparativo teste coluna caixa carbonato de zircônio x epicloridrina.....	49

LISTA DE TABELA E QUADRO

Tabela 1 - Dados Produção de Papel Especial 175 g/m ²	40
Quadro 1 - Resultados Laboratório de Caixas	48

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Estruturas de papelão ondulado	15
Figura 2 - Exemplos de diferentes embalagens de papelão ondulado	15
Figura 3 - Amostras de papel para RCT	18
Figura 4 - Suporte para ensaio Teste RCT	18
Figura 5 - Prensa programada para teste RCT	19
Figura 6 - Amostra para Teste acondicionada no respectivo suporte	19
Figura 7 - Teste de RCT em andamento	19
Figura 8 - Amostra colapsada após teste de RCT	20
Figura 9 - Amostras de papel para teste	20
Figura 10 - Concora - Ondulador de amostra para teste CMT	21
Figura 11 - Concora	21
Figura 12 - Amostra para Teste CMT ondulada	21
Figura 13 - Preparo da amostra para CMT	21
Figura 14 - Amostra Pronta para CMT	22
Figura 15 - Prensa programada para CMT	22
Figura 16 - Teste de CMT em Andamento	22
Figura 17 - Amostra colapsada após teste CMT	22
Figura 18 - Amostra Colapsada após CMT	23
Figura 19 - Amostra e Dispositivo para análise de Cobb Test	23
Figura 20 - Amostra e Dispositivo para análise de Cobb Test	24
Figura 21 - Ensaio de <i>Cobb Test</i> em andamento	24
Figura 22 - Balança para peso seco e úmido da amostra ensaiada	24
Figura 23 - Estufa para determinação da umidade do papel	25
Figura 24 - Refinador de Discos aberto	26
Figura 25 - Folha de papel com fibras não refinadas	26
Figura 26 - Folha de papel com Fibras Refinadas	27
Figura 27 - Foto microscópica amido obtido a partir da mandioca	28
Figura 28 - - Foto microscópica amido obtido a partir do milho	28
Figura 29 - Estrutura molecular do Amido	28
Figura 30 - Esquema de Size Press	30
Figura 31 - Esquema de Size Press	30
Figura 32 - Esquema do sistema de Cozimento de Amido Empresa X	31
Figura 33 - Molécula Poliamida Epicloridrina	33
Figura 34 - Molécula Carbonato de Zircônio	33
Figura 35 - Reação do Carbonato de Zircônio com Grupos Carboxila	34
Figura 36 - Reação do Carbonato de Zircônio com Grupos Hidroxila	34

LISTA DE SIGLAS

ABPO	Associação Brasileira de Papelão Ondulado
ABTCP	Associação Brasileira Técnica de Papel e Celulose
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
AOX	<i>Adsorbable Organically Halogen</i> - Composto Halogenado Adsorvível
CMT	<i>Concôra Medium Test</i>
g/m ²	Gramatura do Papel
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Kgf	Unidade de medida de força – Kilograma Força
Kg/ton	Indica o consumo de aditivos químicos no processo em Kg do aditivo por tonelada de papel produzido
pH	Potencial Hidrogeniônico de uma solução, sendo ácido neutro ou alcalino
RCT	<i>Ring Crush Test</i>
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 OBJETIVO GERAL	13
1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO.....	13
1.3 JUSTIFICATIVA.....	13
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO PAPEL	14
2.1.1 Papelão Ondulado.....	14
2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAPÉIS PARA EMBALAGENS.....	16
2.2.1 Propriedades Gerais dos Papéis	16
2.2.2 Propriedades de Resistência Mecânica de papéis para embalagens.....	17
2.2.3 R.C.T. - Resistência a Compressão do Anel	18
2.2.4 C.M.T. - Resistência ao Esmagamento	20
2.2.5 <i>Cobb Test</i> - Resistência a absorção de Água.....	23
2.2.6 Teor de Umidade no papel	25
2.2.7 Obtenção da resistência mecânica de Papéis	25
2.3 AMIDO NA FABRICAÇÃO DE PAPEL.....	27
2.4 APLICAÇÃO SUPERFICIAL DO AMIDO EM PAPÉIS.....	29
2.4.1 Sistema de cozimento de amido – EMPRESA X.....	31
2.5 RETICULANTES.....	32
2.5.1 Resinas base Formaldeído e Epicloridrina	32
2.5.2 Reticulante a base de Epicloridrina.....	32
2.5.3 Reticulante a base de Carbonato de Zircônio.....	33
3 METODOLOGIA	34
3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA	35
3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	36
3.3. COLETA DE DADOS	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	34
4.1 ESTUDO DE CASO NA EMPRESA X	37
4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.2.1 Caracterização do amido	38
4.2.2 Caracterização do Reticulante a base de Epicloridrina.....	39
4.2.3 Caracterização do Reticulante a base de Carbonato de Zircônio.....	39
4.3 DISCUSSÃO.....	39
4.3.1 Dados do período de Produção Total do Papel Especial 175 g/m ²	39
4.3.2 Análise da Tendência de RCT	42
4.3.3 Análise da Tendência de CMT.....	43
4.3.4 Análise da Tendência de COBB TEST	44
4.3.5 Análise da tendência do consumo dos aditivos	45
4.3.6 Avaliação das embalagens produzidas.....	45

4.3.7 Relatório Interno do Setor de Produção de Caixas - Empresa X.....	46
4.3.8 Avaliação final do lote produzido com Carbonato de Zircônio pelo setor de fabricação de caixas.....	49
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES.....	48
REFERENCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

O segmento de produtores de insumos químicos para indústria de fabricação de papel passa por aceleradas transformações. Em um lado tem-se a acirrada competitividade gerada por fusões de grandes companhias e a entrada de novos *players* no mercado. De outro, passa-se por um período carente em inovação de produtos, no qual a diferenciação para o cliente foca basicamente nos serviços prestados a estes e os produtos, de maneira geral, caminham para um processo de comoditização.

Face a esse hiato, a busca pela inovação em processos se torna uma alternativa viável na utilização de tecnologias de produtos disponíveis, buscando a obtenção de novas características para o produto final dentro do processo de produção de papel.

A busca pelo incremento em resistência física de papéis tem sido um desafio, tanto para os fabricantes de papel quanto para os produtores de insumos químicos, o que gera um mercado de milhões de reais/ano, seja no desenvolvimento de tratamentos alternativos nas matérias primas fibrosas que compõe a folha de papel ou seja em produtos químicos direcionados para o ganho de resistência.

Como um dos principais coadjuvantes no ganho de resistência física para papéis temos o amido, que é um polímero natural de fácil obtenção e custo baixo, o qual pode ser aplicado superficialmente na receita dos papeis ou junto com a mistura fibrosa, durante o processo de composição da receita do papel a ser produzido.

Neste trabalho, o foco está na aplicação superficial do amido, ficando para futuros estudos os efeitos da aplicação interna. Assim, para estabilizar e aumentar a eficiência desses amidos aplicados superficialmente, podem ser adicionados agentes reticulantes, os quais são responsáveis pelo aumento e fortalecimento das ligações proporcionadas pelo amido (NASCIMENTO, 2012). Este incremento ocorrido na produção inicial resulta em um papel mais resistente e, conseqüentemente o subproduto deste papel, a embalagem final, apresenta maior resistência final ou menor perda desta resistência final, dependendo do ambiente o qual está exposta.

As formulações vigentes de reticulantes utilizados pelo segmento papeleiro apresentam duas limitações importantes:

- a) os reticulantes de primeira geração apresentam nas suas formulações a utilização de compostos a base de melamina-formaldeído, os quais são insalubres e contém elementos proibitivos para alguns segmentos de mercado, como o de embalagens para alimentos, devido a presença do formol (NASCIMENTO, 2012).
- b) Os reticulantes de segunda geração, baseados em componentes de epícloridrina ativo, que não contém formaldeído, porém também apresentam residuais de compostos halogenados (AOX) que também são proibitivos acima de determinadas quantidades (RAZZOLINI, 1994).

Além dessas restrições em relação às legislações vigentes que afetam diretamente alguns mercados, como exemplo aqueles em que as embalagens mantem contato direto com alimentos, ambas as gerações apresentam uma característica que torna a sua utilização e otimização complexa, que é o processo de “cura natural”¹, no qual as propriedades finais obtidas pela sua utilização são conseguidas no mínimo 72 horas após a fabricação do papel. Esta característica torna menos precisa a previsibilidade de suas funções. Neste estudo, a premissa é avaliar a performance da utilização do carbonato de zircônio como agente reticulante para os amidos aplicado superficialmente em papéis para embalagens (produção caixas).

O carbonato de zircônio além de não conter em sua formulação elementos proibitivos como formol ou compostos halogenados (AOX), proporciona o efeito de reticulação imediatamente assim que o papel é fabricado o que pode facilitar a sua avaliação e melhorando o controle de processo, trazendo ganhos de qualidade e redução de custos para os usuários dessa tecnologia.

De forma adicional, o caso estudado descreve uma das condições mais severas de utilização de embalagens que exige uma estabilidade extrema e manutenção da resistência inicial, pois a aplicação final dos papéis tratados será utilizado em câmaras frigoríficas, que apresentam condições severas que exigem altas propriedades físicas da embalagem.

¹ Cura Natural – O tempo levado para que uma reação ocorra e seja completada ocasionando o efeito esperado pela adição de um agente químico. Pode ser imediata, levar horas ou mesmo dias.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a utilização do carbonato de zircônio como reticulante para amido aplicado superficialmente na produção de papéis para embalagens, quando comparado com reticulante a base de epicloridrina que são os atualmente utilizados.

1.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

1. Avaliar o impacto dos resultados de resistência física de papéis aplicando o Carbonato de Zircônio como reticulante, em uma unidade de produção de papel para embalagens que utilizam como matéria-prima fibras recicladas;
2. Verificar se a resistência física de papéis que usa o Carbonato de Zircônio como reticulante são eficientes para serem utilizados em câmaras frias;
3. Comparar os resultados obtidos com o reticulante atualmente utilizado a base de epicloridrina com o Carbonato de Zircônio.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem como premissa, trazer a inovação em processos de produção de papel, inserindo uma nova forma de utilização de um composto químico existente, o Carbonato de Zircônio, que apresenta compatibilidades evidentes com o processo proposto, porém nunca utilizado para esta finalidade. Essa inovação visa trazer benefícios importantes ao processo produtivo de papel para embalagens, como ganhos de qualidade (manutenção da resistência física), redução de custos, otimização de processos além de sustentabilidade ambiental. Os principais agentes reticulantes utilizados no Brasil são os baseados em melamina formaldeído e epicloridrina, que apesar de atender a necessidade, apresentam limitações técnicas (relacionadas ao processo de utilização) e também limitações em relação à legislação ambiental, a qual vem sendo atualizadas no país.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Caracterização do papel

O papel pode ser definido basicamente como uma estrutura plana formada por fibras vegetais entrelaçadas umas as outras (IPT, 1988).

Aprofundando a definição, o papel é uma pasta branqueada ou não, de origem vegetal, podendo conter outros componentes não fibrosos específicos para cada tipo de papel (colas, cargas, corantes, amidos, resinas etc.), a qual se reduz, manual ou mecanicamente, a folhas secas e flexíveis (com fibras unidas tanto fisicamente por estarem entrelaçadas a como quimicamente por pontes de hidrogênio, por ligações covalentes) utilizado para escrever, imprimir, desenhar, embalar, limpar, construir etc. (CAMPOS, 2009).

Os tipos de papéis produzidos objeto de nosso estudo serão transformados em chapas de papelão ondulado para embalagens. Basicamente, servirão para embalar produtos com a finalidade principal de proteger, mas também para ampliar a higiene, facilitar a distribuição, informar sobre o produto e seu uso e também vender os produtos (RAZZOLINI, 1994). A principal característica que uma embalagem deve apresentar é a resistência física necessária para proporcionar a devida proteção aos produtos, os quais está envolvendo, impedindo que sejam danificados durante o transporte, manuseio ou armazenagem (RAZZOLINI, 1994). A resistência final da embalagem é proporcionada pelas propriedades físicas dos papéis que as compõem. Então esses papéis devem apresentar a resistência necessária para que a futura embalagem cumpra a função de proteção a qual se propõe de forma adequada ao tipo do produto a ser envolvido.

2.1.1 Papelão Ondulado

Devido às suas propriedades, o papelão ondulado é parte integrante da moderna sociedade de consumo e está presente no cotidiano de todos os consumidores. O papelão ondulado é um material 100% reciclável e 100% produzido a partir de fontes de matérias-primas renováveis. É uma estrutura formada por folhas lisas exteriores denominadas “capas” e por folhas que formam ondas no meio denominadas “Miolo”.

As chapas de papelão ondulado podem ser produzidas desde camadas simples, duplas, triplas e múltiplas camadas. (ABPO, 2016).

A combinação de “capa” e “miolo” proporciona um material leve, resistente e versátil, com ampla utilização na produção de embalagens para os mais variados tipos de produtos, facilitando o transporte, a armazenagem e a exposição no ponto de venda. A competitividade e a excelente relação custo-benefício tornam o papelão ondulado o material mais utilizado para a fabricação de embalagens, sendo responsável pelo transporte e proteção de aproximadamente 75% dos produtos embalados no mundo todo (ABPO, 2016). A figura 1 mostra as diferentes composições das estruturas de papelão ondulado para fabricação de caixas.



Figura 1 - Estruturas de papelão ondulado
Fonte: ABPO (2016)

O principal objetivo do papelão ondulado é proporcionar a maior resistência física com o menor peso estrutural da embalagem possível, ou seja, aliar alta qualidade com custo baixo. A figura 2 mostra exemplos de diferentes embalagens produzidas a partir de papelão ondulado.



Figura 2 - Exemplos de diferentes embalagens de papelão ondulado
Fonte: ABPO (2016)

As principais exigências para uma embalagem de papelão ondulado conforme Razzolini (1994) são:

- a) baixo peso;
- b) capacidade de resistir ao empilhamento;
- c) resistência ao manuseio e transporte;
- d) resistência à água;
- e) boa printabilidade;
- f) ser facilmente reciclável;
- g) baixo custo.

Essas propriedades do papelão ondulado são fundamentalmente transferidas pelo papel para embalagem, então face a essa necessidade a busca pelo incremento das propriedades físicas destes papéis aliadas ao menor custo, são os desafios constantes dos fabricantes e dos fornecedores de insumos desse segmento (RAZZOLINI, 1994).

2.2 PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAPÉIS PARA EMBALAGENS

As propriedades físicas dos papéis determinam as suas características e a maneira que o papel resiste à ação de forças externas. Na prática para avaliar o desempenho de um papel com um determinado fim é muito importante monitorar os ensaios mecânicos que serão significativos para a sua aplicação e que irão simular os esforços que o papel irá ser submetido em sua utilização final (Campos, 2009)

Como as principais propriedades do papel objeto do estudo são:

- a- Propriedades gerais: Gramatura, espessura e umidade;
- b- Propriedades de Resistência Mecânica: RCT, CMT, *Cobb Test* e umidade.

Na sequência, serão apresentadas estas propriedades.

2.2.1 Propriedades Gerais dos Papéis

É representado pela gramatura, espessura e umidade (CAMPOS, 2009), no qual:

- a) gramatura: é a massa por unidade de área do papel. É expressa em gramas por metro quadrado de papel ou g/m^2 ;
- b) espessura: é a distância perpendicular entre as duas faces do papel. Normalmente é expressa em micras ou milímetros;
- c) umidade: é a quantidade de água retida no papel após a sua fabricação. Expressa em percentagem.

Estas propriedades são consideradas gerais, pois afetam diretamente todas as outras propriedades do papel.

Para um bom desempenho do papel para embalagem, assim como para papéis para as mais diversas aplicações, é relevante a uniformidade destas propriedades, o que garante também a uniformidade das propriedades específicas para cada aplicação final (RAZZOLINI, 1994).

2.2.2 Propriedades de Resistência Mecânica de papéis para embalagens

São as propriedades que irão determinar as resistências específicas que um papel deve ter, visando a sua utilização final. Essas propriedades físicas analisadas no papel irão refletir na resistência requerida pela embalagem final produzida com esses papéis. A maneira do papel resistir a ação de forças externas, da umidade e do calor depende de sua composição fibrosa, química e formação (IPT, 1998). Para o desempenho de um papel com fim determinado, somente um ensaio mecânico não é significativo para deduzir que o mesmo reúne as condições necessárias para sua utilização. É necessário obter um par de ensaios mecânicos diferentes e significativos para uma determinada aplicação (IPT, 1998). No caso do objeto desse estudo, o papel para embalagem de papelão ondulado, será avaliada as seguintes propriedades específicas:

- a) resistência à compressão, avaliada pelo teste de R.C.T. (*Ring Crush Test*);
- b) resistência ao esmagamento, avaliado pelo teste de C.M.T. (*Concora Medium Test*);
- c) resistência a absorção de água, avaliada pelo *Cobb Test*;
- d) teor de umidade.

2.2.3 R.C.T. - Resistência a Compressão do Anel

O *Ring Crush Test* ou R.C.T. como é conhecido, é um teste normatizado para determinação da resistência a compressão dos papéis (PEREIRA, 2012). Esta análise é efetuada em um corpo de prova de dimensões de 12,7 mm x 152,4 mm, no qual a amostra é posicionada em um suporte padronizado de forma circular (por isso é chamado de anel) e é submetida a compressão em uma prensa específica até que ocorra o seu colapso, conforme as Figuras 3 a 8.

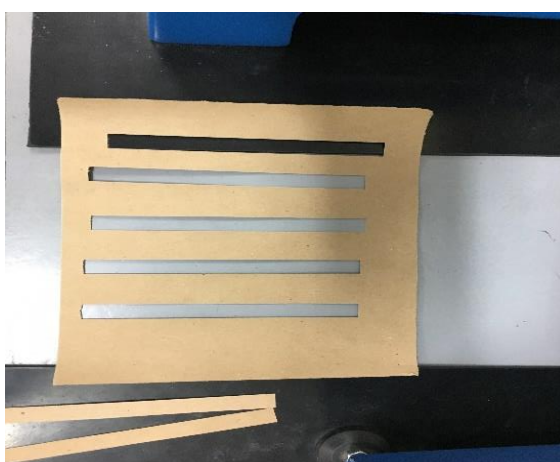


Figura 3 - Amostras de papel para RCT
Fonte: Autor (2017)



Figura 4 - Suporte para ensaio Teste RCT
Fonte: Autor (2017)



Figura 5 - Prensa programada para teste RCT
Fonte: Autor (2017)



Figura 6 - Amostra para Teste acondicionada no respectivo suporte
Fonte: Autor (2017)

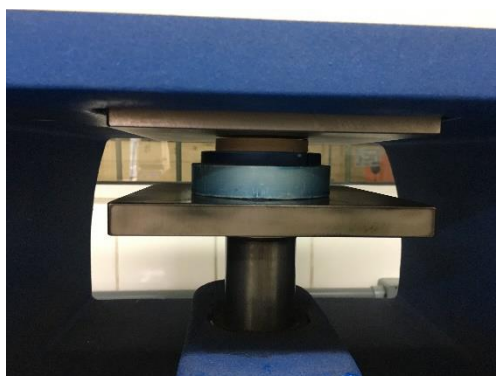


Figura 7 - Teste de RCT em andamento
Fonte: Autor (2017)

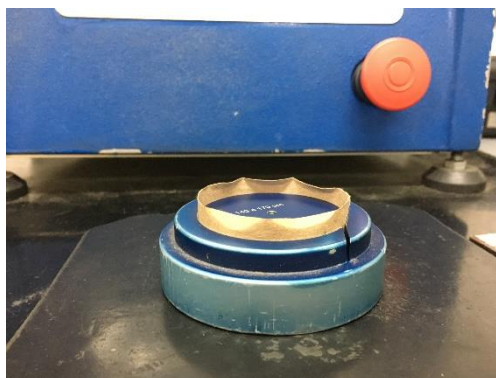


Figura 8 - Amostra colapsada após teste de RCT
Fonte: Autor (2017)

O ensaio de R.C.T. efetuado nos papéis é relacionado com a resistência de coluna obtido na caixa produzida e irá determinar ao fabricante qual a resistência da caixa durante o seu uso normal, desde a proteção dos produtos, transporte e armazenagem (PEREIRA, 2012).

2.2.4 C.M.T. - Resistência ao Esmagamento

O C.M.T. ou *Concora Medium Test* é um ensaio normatizado com o objetivo de medir a resistência ao esmagamento das ondas do papel após ondulado. Para tanto, uma amostra de dimensões 12,7 mm x 152,4 mm é ondulada em um equipamento denominado de Concora. Após isso as ondas são submetidas a compressão pela prensa que indicará a força máxima que essas ondas suportarão, sendo indicado em Kgf. O resultado obtido é relacionado com a resistência a compressão que a caixa produzida com este papel poderá suportar. (PEREIRA, 2012).

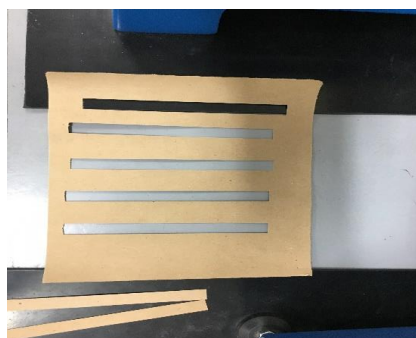


Figura 9 - Amostras de papel para teste
Fonte: Autor (2017)



Figura 10 - Concora - Ondulador de amostra para teste CMT
Fonte: Autor (2017)



Figura 11 - Concora
Fonte: Autor (2017)



Figura 12 - Amostra para Teste CMT ondulada
Fonte: Autor (2017)



Figura 13 - Preparo da amostra para CMT
Fonte: Autor (2017)



Figura 14 - Amostra Pronta para CMT
Fonte: Autor (2017)



Figura 15 - Prensa programada para CMT
Fonte: Autor (2017)

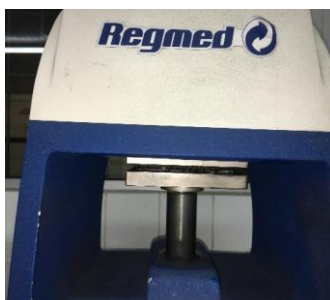


Figura 16 - Teste de CMT em Andamento
Fonte: Autor (2017)



Figura 17 - Amostra colapsada após teste CMT
Fonte: Autor (2017)



Figura 18 - Amostra Colapsada após CMT
Fonte: Autor (2017)

2.2.5 Cobb Test - Resistência à absorção de água

O *Cobb Test* é uma análise normatizada com a finalidade de se determinar a massa de água em estado líquido que uma folha de papel pode absorver na área de um metro quadrado. Este teste é realizado em um dispositivo (aparelho de *Cobb*) que delimita uma área de 100 centímetros quadrados o qual estará em contato com 100 ml de água deionizada pelo tempo total de 120 segundos. Para determinar o valor de *Cobb Test* a amostra de papel é pesada anteriormente ao contato com água e após o período de contato com água. A diferença de peso indica quantidade em gramas de água que o papel analisado absorve por metro quadrado (IPT, 1998). O *Cobb Test* indica ao fabricante de papel a tendência de maior ou menor absorção da água na caixa pronta.



Figura 19 - Amostra e Dispositivo para análise de Cobb Test
Fonte: Autor (2017)



Figura 20 - Amostra e Dispositivo para análise de Cobb Test
Fonte: Autor (2017)

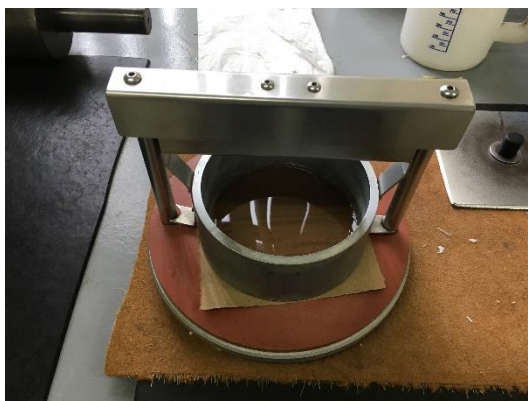


Figura 21 - Ensaio de Cobb Test em andamento
Fonte: Autor (2017)



Figura 22 - Balança para peso seco e úmido da amostra ensaiada
Fonte: Autor (2017)

2.2.6 Teor de Umidade no papel

O teor de umidade contida no papel é em síntese a quantidade de água existente no mesmo. Para sua determinação um corpo de prova é acondicionado em uma estufa a qual ira auxiliar na eliminação em toda a agua contida nessa amostra.

As massas do corpo de prova, antes e depois de submetê-lo a estufa devem ser determinadas e a diferença de peso é expressa em percentual. Esse percentual é o teor de umidade presente no papel. O teor de umidade tem grande influência e pode determinar a redução na resistência física no papel (PEREIRA 2013). Este é o principal motivo de utilizarmos os reticulantes para proteger o amido e reduzir ao máximo a perda de resistência que o mesmo proporciona pela absorção de umidade do meio ao qual o papel está exposto (NASCIMENTO, 2012).



Figura 23 - Estufa para determinação da umidade do papel
Fonte: Autor (2017)

2.2.7 Obtenção da resistência mecânica de Papéis

Para se obter a resistência mecânica dos papéis são utilizadas fibras adequadas ao uso final, podendo ser fibras longas, curtas ou recicladas. Essas fibras são devidamente tratadas no processo produtivo a fim de obter-se o melhor resultado de suas características através do processo de refinação.

No processo de refinação as fibras têm sua área superficial ampliada o que facilita o entrelaçamento mecânico destas fibras durante a formação da folha de papel o que uniformiza e incrementa a resistência mecânica da folha formada. O equipamento responsável pela transferência de energia e consequente aumento de

área superficial das fibras é o refinador, o qual tem um alto impacto nos custos com energia em uma planta produtora de papel.

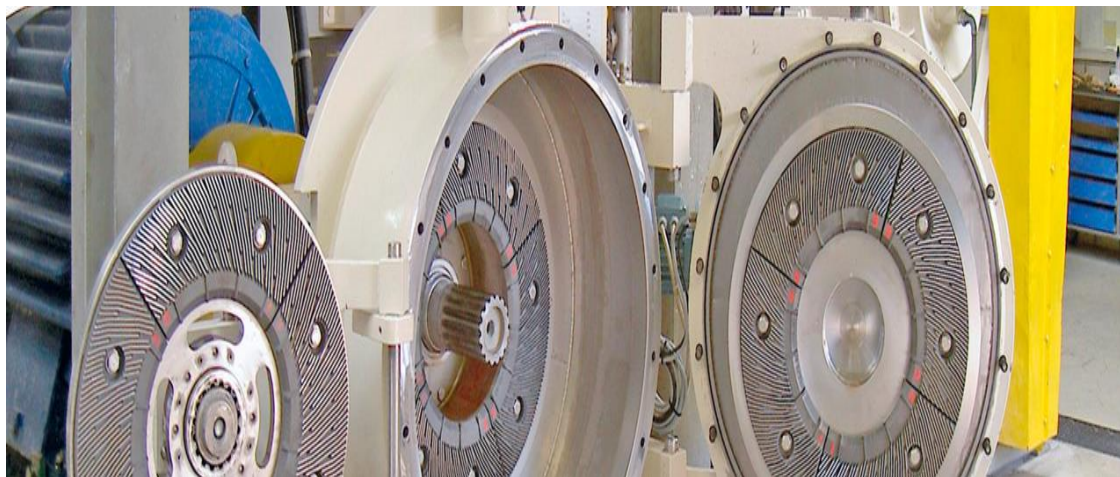


Figura 24 - Refinador de Discos aberto
Fonte: Papermaking Science and Technology (TAPPI 2000)

O tratamento mecânico obtido pelo refinador tem limitações para cada tipo de fibra, onde a energia aplicada se muito alta ou inadequada ocasiona o efeito contrário, reduzindo a resistência do papel e a capacidade produtiva da planta. Além disso, os custos de produção devido ao alto consumo de potência exigidos são notadamente afetados (IPT, 1998).



Figura 25 - Folha de papel com fibras não refinadas
Fonte: Papermaking Science and Technology (TAPPI 2000)

A figura 25 retrata uma folha de papel formada por fibras que não passaram pelo processo de refinação, mostrando a área de contato das fibras.

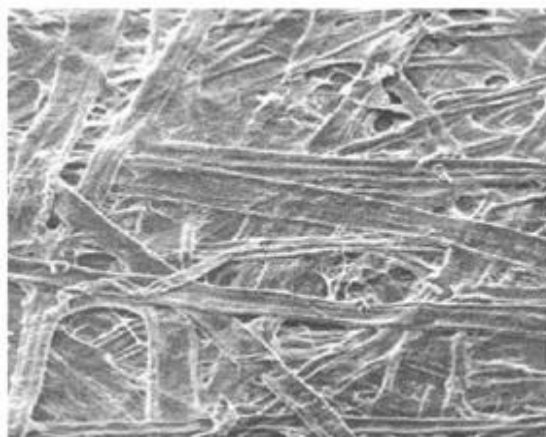


Figura 26 - Folha de papel com Fibras Refinadas
Fonte: Papermaking Science and Technology (TAPPI, 2000)

A figura 26 nos mostra uma folha de papel formada por fibras que passaram pelo processo de refinação retratando a área de contato entre fibras. Quando comparado com a folha não refinada percebe-se a diferença estrutural entre as duas condições. Essa estrutura afeta diretamente as propriedades de resistência do papel.

Em função da necessidade de incremento na resistência e redução com custos de energia a indústria de papel conta com ajuda de um importante aditivo que auxilia no aumento da resistência melhorando as ligações entre as fibras e conseqüentemente reduzindo o consumo de energia aplicado no processo de produção de papel, o amido.

2.3 AMIDO NA FABRICAÇÃO DE PAPEL

O amido é utilizado para melhorar as propriedades mecânicas e superficiais do papel, devido a sua capacidade de aprimorar as ligações entre as fibras que formam o papel. O amido utilizado na indústria de papel normalmente é o obtido a partir de milho e mandioca, pois são polissacarídeos presentes principalmente nas leguminosas.

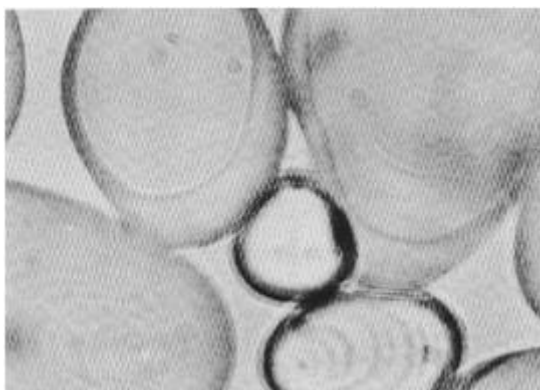


Figura 27 - Foto microscópica amido obtido a partir da mandioca
 Fonte: Papermaking Science and Technology (TAPPI, 2000)

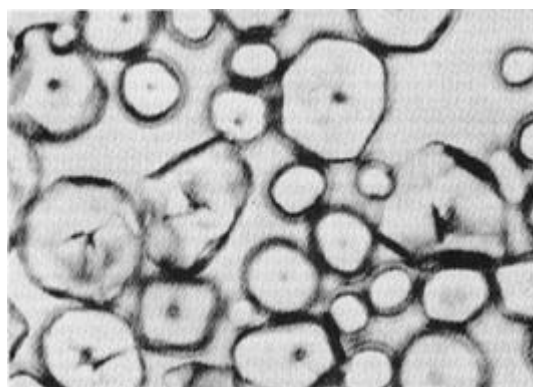


Figura 28 - - Foto microscópica amido obtido a partir do milho
 Fonte: Papermaking Science and Technology (TAPPI, 2000)

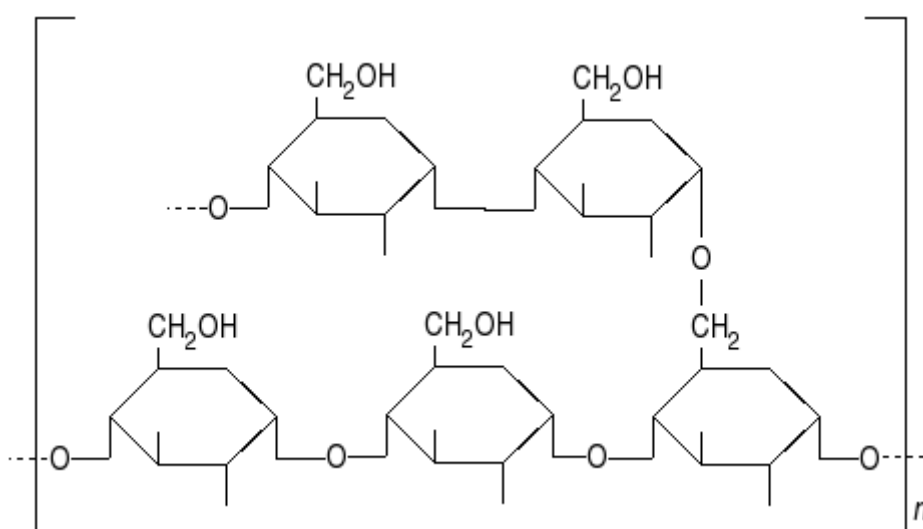


Figura 29 - Estrutura molecular do Amido
 Fonte: Papermaking Science and Technology (TAPPI, 2000)

O amido apresenta uma estrutura muito parecida com a celulose, que é o principal componente das fibras que constituem o papel, porém com maior reatividade o que explica sua contribuição para o incremento das propriedades físicas do papel (Campos, 2009).

Além dessas propriedades proporcionadas, o amido é um polímero de baixo custo o que justifica sua ampla utilização na produção de papel, devido a excelente relação custo-benefício (RAZZOLINI, 1994).

O amido no processo produtivo pode ser aplicado internamente à massa que irá formar a folha de papel (o qual não será estudado neste trabalho) e no caso estudado, pode também ser aplicado superficialmente durante o processo de secagem da folha com objetivo ampliar a resistência física final do papel, além de contribuir com as propriedades superficiais reduzindo a formação de pó e também aumentar a resistência do papel à penetração de líquidos (IPT, 1998).

Como a maioria dos polímeros, o amido é bastante solúvel em água e também altamente higroscópico. Assim quando a folha de papel que apresenta amido em sua composição é exposta a umidade, grande parte da resistência inicial do papel obtida é perdida (aproximadamente 30%), devido à solubilidade do amido quando exposto a umidade, principalmente em altas taxas (DELONG, 2011).

A fim de incrementar o efeito do amido e protegê-lo do efeito de absorção de umidade, frequentemente são utilizados em conjunto agentes *cross-linkers*, os quais tornam esses polímeros insolúveis em água além de fortalecerem as ligações amido-amido-fibra. Os *cross-linkers* mais utilizados são à base de uréia e melamina-formaldeído e poliamina-amida-epicloridrina (RAZZOLINI, 1994).

Este trabalho, irá focar em um estudo prático para a avaliação da substituição das bases utilizadas como reticulantes para o amido aplicado superficialmente, pela utilização de uma nova geração, à base de carbonato de zircônio, o qual poderá trazer ganhos de qualidade, processo produtivo e custo final do papel (DELONG, 2011).

2.4 APLICAÇÃO SUPERFICIAL DO AMIDO EM PAPÉIS

Como já mencionado anteriormente, amidos são aplicados em papéis com o objetivo principal de incrementar as suas propriedades físicas e melhorando a

qualidade final ou reduzindo o consumo de energia dedicada à refinação. O objetivo da aplicação superficial de amido é aumentar a ligação entre fibras pelo preenchimento dos poros e espaços vazios, conferindo o aumento da resistência mecânica superficial e também da resistência à penetração da água. Com uma aplicação adequada e homogênea o papel obterá uma superfície uniforme o que também resultará em melhor printabilidade.

Para que essa aplicação seja adequada, os fabricantes de papel dispõem de equipamentos específicos para que o amido seja uniformemente aplicado sobre a superfície da folha. Os equipamentos mais difundidos entre os produtores são principalmente a *Size-Press* e a *Speed Size*. (NASCIMENTO, 2012).

A diferença na definição entre ambos, basicamente, está na capacidade produtiva do fabricante, sendo a *speed size* indicada para níveis elevados de produção, ou seja, máquinas mais velozes.

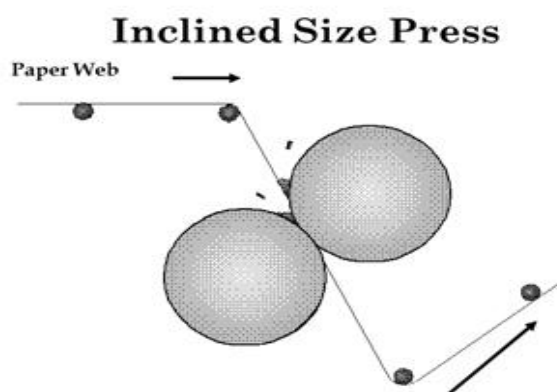


Figura 30 - Esquema de Size Press
Fonte: Papermaking Science and Technology (TAPPI, 2000)

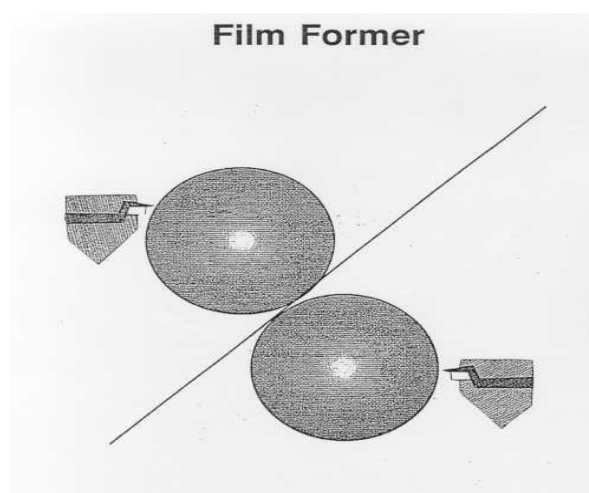


Figura 31 - Esquema de Speed Size
Fonte: Papermaking Science and Technology (TAPPI, 2000)

Em resumo a função de ambos os equipamentos é proporcionar uma ótima aplicação e distribuição do amido sobre a superfície do papel, proporcionando um efeito uniforme para garantir a qualidade em toda a extensão da folha. Entretanto, existe uma operação essencial anterior a aplicação uniforme que é a preparação do amido que será aplicado sobre o papel, conhecida como cozimento do amido (Campos, 2009).

Na operação de cozimento é preparada uma solução em que é ajustada a quantidade e sólidos (amido), e elevada a temperatura até um patamar em que o amido se mantenha em um estado de pré gelatinização. Essa temperatura depende da origem de obtenção do amido, de aproximadamente 85 a 90°C. Após esse efeito de cozimento são adicionados outros componentes que fazem parte do banho a ser aplicado pela *size press* ou *speed size*, que são agentes de colagem com a finalidade de diminuir o efeito de absorção de água pelo papel final, antiespumantes com a finalidade de prevenir a geração de espuma durante a aplicação, o que pode prejudicar a distribuição uniforme do amido e também os reticulantes (objeto do nosso estudo) que tem o objetivo fortalecer as ligações fibra-amido-fibra além de proteger o amido contido no papel produzido dos efeitos da umidade do ambiente ao qual estarão expostos, fator este que leva a perda significativa da resistência inicial obtida pelo papel (PEREIRA, 2013).

2.4.1 Sistema de cozimento de amido – EMPRESA X

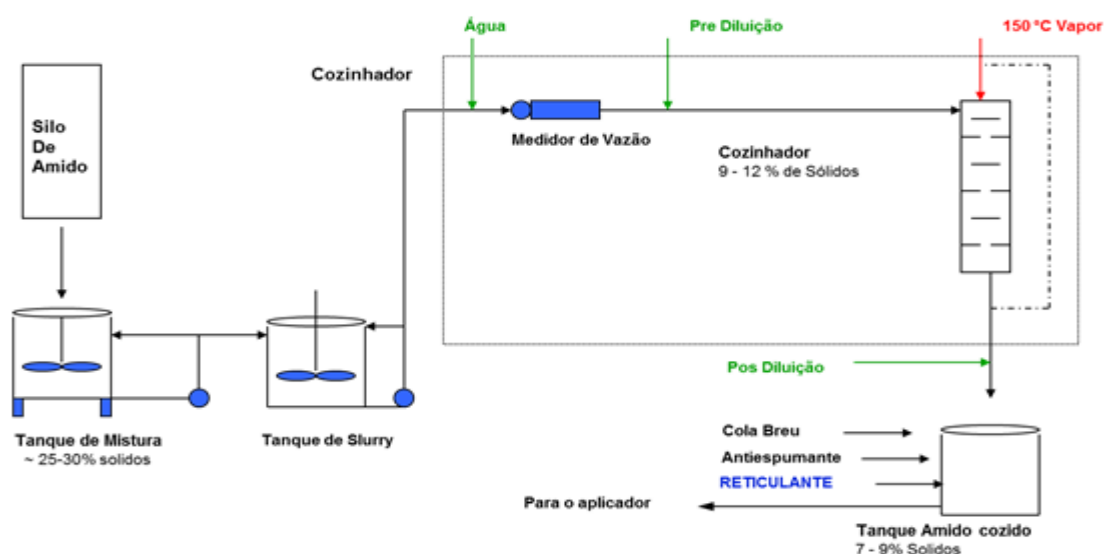


Figura 32 - Esquema do sistema de Cozimento de Amido Empresa X
Fonte: Autor (2017)

2.5 RETICULANTES

São aditivos que tem a função de fortalecer as ligações de polímeros naturais ou sintéticos, como amido ou látex, através do aumento e fortalecimento das ligações químicas. O efeito de reticulação é obtido quando as cadeias destes polímeros que podem ser lineares ou ramificadas são interligadas por ligações covalentes, processo esse também conhecido como *crosslinking* ou ligações cruzadas (IPT, 1988). Com o aumento da reticulação, a estrutura se torna mais rígida e conseqüentemente, mais resistente, que é o efeito desejado quando se aplica amido na composição do papel. Os principais compostos utilizados como reticulantes para o amido aplicado nas recitas de papel, são as resinas a base de melamina e uréia formaldeído e as resinas a base de epicloridrina. (NASCIMENTO, 2002).

2.5.1 Resinas base Formaldeído e Epicloridrina

As resinas melamina e uréia formaldeído e mais recentemente as resinas poliamida-amina-epicloridrina, são as comumente utilizadas como reticulantes para os amidos aplicados superficialmente. Entretanto, devido a fortes pressões ambientais contra as resinas melamina e ureia formaldeído e residuais de compostos halogenados, existe um hiato na busca do efeito de fortalecimento das propriedades conseguidas com a aplicação de amido superficial, no qual possa se eliminar a utilização de componentes proibitivos. Além disso, tem-se ainda o efeito de cura dessas resinas, que leva a demora da obtenção do resultado final tornando mais complexo o processo de aplicação.

2.5.2 Reticulante a base de epicloridrina

Os reticulantes baseados em resinas epicloridrina formam ligações covalentes com os grupos carboxila de polímeros naturais como o amido e sintéticos, como o látex.

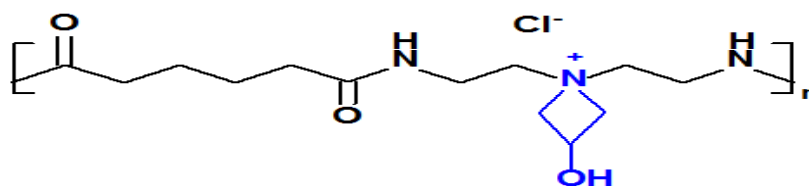


Figura 33 - Molécula Poliamida Epicloridrina
Fonte: Nascimento (2012)

Como a epicloridrina é uma resina termoplástica ela apresenta a necessidade de um tempo de cura para que a sua reação se complemente integralmente, esse tempo poderá chegar até 10 dias após o papel se produzido. Além disso, apresenta em sua composição os componentes halogenados que apresentam restrições nas quantidades permitidas adicionadas ao papel.

Desta forma, entra em cena as formulações a base de zircônio, especificamente o carbonato de zircônio, as quais foram utilizadas até o momento como reticulantes para latéx, e que são componentes utilizados em papeis cartão revestidos e papeis para imprimir e escrever. O carbonato de zircônio é produto livre de compostos proibitivos como o formol e halogenados (AOX), além de ter seu efeito de reticulação durante a secagem do papel durante ainda na fabricação, não exigindo tempo adicional pós produção, efeito esse denominado “cura” (NASCIMENTO, 2012).

2.5.3 Reticulante a base de carbonato de zircônio

O carbonato de zircônio forma ligações covalentes com os grupos carboxila e pontes de hidrogênio com os grupos hidroxila, fortalecendo as ligações de polímeros, como é o caso do amido.

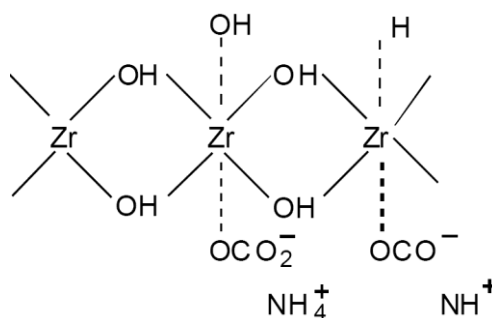


Figura 34 - Molécula Carbonato de Zircônio
Fonte: Nascimento (2012)

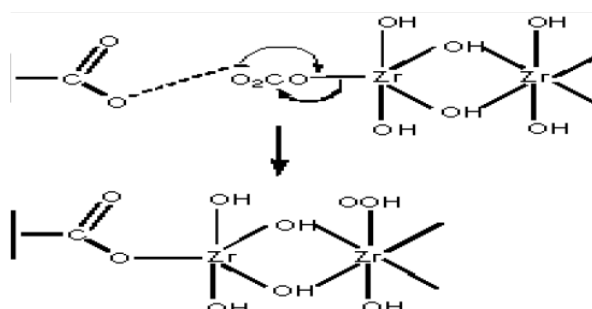


Figura 35 - Reação do Carbonato de Zircônio com Grupos Carboxila
Fonte: Nascimento (2012)

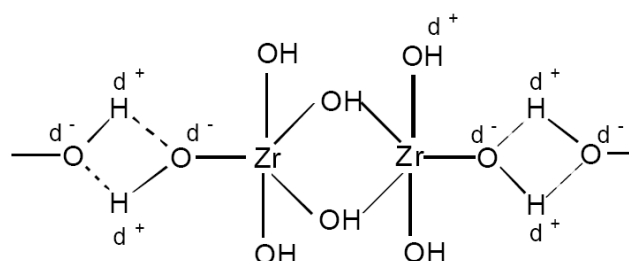


Figura 36 - Reação do Carbonato de Zircônio com Grupos Hidroxila
Fonte: Nascimento (2012)

O carbonato de zircônio reage com os grupos carboxila e hidroxila presentes no amido, reação esta que ocorre quando a água é removida durante a secagem. O Carbonato de Zircônio forma ligações covalentes ligações de ponte de hidrogênio com os grupos carboxila e hidroxila presentes no amido (figuras 35 e 36). O range de pH para uma reação eficiente pode se situar entre 5,5 e 10,5, tornando o produto bastante flexível nesse quesito (NASCIMENTO, 2012).

Com essas propriedades a utilização de carbonato de zircônio apresenta a fundamentação de que efeito de reticulação que ocorre durante a reação com o amido e entre o próprio carbonato de zircônio afetará positivamente a resistência do papel ao qual essa solução for aplicada (DELONG, 2011).

3 METODOLOGIA

Este trabalho contempla um estudo de caso em uma planta de fabricação de papel para embalagem, que tem como matéria-prima principal as fibras recicladas. Esta unidade produtora utiliza amido superficial em grande escala em seu processo

de produção, o qual tem um impacto significativo na qualidade final de seus produtos. Esta planta utiliza a resina à base de epícloridrina como agente de reticulação durante a produção de algumas categorias de papéis, principalmente aqueles que terão utilização final em câmaras frias, ambiente este bastante severo que exige muito do efeito conferido pelo reticulante no amido, que é a menor perda possível de suas propriedades de resistência física ocasionada pela absorção da umidade do meio ao qual o papel está exposto (PEREIRA, 2013).

O estudo foi realizado no processo de produção de papel de uma empresa localizada no Estado do Paraná, com capacidade produtiva de 15.000 t/mês de papel e caixas. Esta indústria é considerada *benchmarking* no segmento em que atua, que é a produção de embalagens e por ser completamente verticalizada controla todo o processo produtivo, desde a fabricação do papel até a caixa, que é o produto final destinado ao mercado nas mais variadas categorias de utilização. A empresa objeto do estudo será tratada como “Empresa X”.

Na Empresa X, o processo proposto foi analisado na produção de seu produto que sofre a exposição mais rígida possível quando da utilização, fato este que dá aval para a utilização do programa sugerido, além de credenciar para futuros estudos mais aprofundados e aplicações convergentes com as sugeridas, podendo ser a utilização em conjunto com amido aplicado internamente ao papel ou mesmo em papéis multicamadas que utiliza a aplicação de amidos como adesivo (*ply-bond*), entre camadas.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia escolhida para esse trabalho é um estudo de caso único. Yin (2001) afirma que um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidos. O estudo de caso como estratégia de pesquisa compreende um método que abrange tudo – com a lógica de planejamento incorporando abordagens específicas à coleta de dados e análise de dados.

Em relação à pesquisa de caso único, Yin (2001) considera que o estudo de caso único como sendo o caso decisivo, o que é um fundamento lógico para o teste de uma teoria significativa. Yin (2001) ainda complementa essa afirmação

fundamentando logicamente que um caso único representa um caso raro ou extremo e conclui que outro fundamento importante para o caso único é o caso revelador.

Seguindo o contexto de caso único, este trabalho tem por finalidade observar e analisar um fenômeno que previamente não foi testado empiricamente e embasado da coleta de dados obtidas a partir desta observação, comparar com as condições normais e buscar comprovar a viabilidade do projeto de inovação em uma aplicação de um processo de produção de papel para embalagens.

As provas resultantes do estudo de caso único são consideradas úteis na exploração de novos processos ou comportamentos, novas descobertas, porque têm a função de gerar hipóteses e construir teorias. Ou ainda, pelo fato de explorar casos atípicos ou extremos para compreender os processos típicos. A utilidade também é evidenciada em pesquisas comparativas, quando é essencial compreender os comportamentos, como é o caso do processo proposto, em diferentes condições ou composições.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Para que os objetivos desse trabalho sejam atingidos, é de suma relevância que o estudo fosse delineado de forma que permitisse avaliar quantitativamente seus resultados a fim de comprovar a sua viabilidade. Desta forma a elaboração do presente, distingue-se pela utilização de um experimento quantitativo (LAKATOS; MARCONI, 2003), que consiste em investigar empiricamente e testar as hipóteses que dizem respeito a relações de tipo causa e efeito.

Lakatos e Marconi (2003) compreendem que os estudos desse tipo utilizam projetos experimentais que incluem fatores como: grupos de controle, seleção da amostra e manipulação das variáveis com a finalidade de controlar ao máximo os fatores pertinentes.

3.3. COLETA DE DADOS

Gil (2002) explica que na coleta de dados de uma pesquisa experimental é feita mediante a manipulação de certas condições e a observação dos efeitos produzidos.

Nesse contexto, o estudo de caso proposto seguiu essa determinação que as condições conhecidas de um processo produtivo foram alteradas, no nosso caso a substituição de um dos aditivos componentes da receita por um outro existente, porém, nunca utilizado com essa finalidade. Com a alteração no processo em andamento foram coletados os dados pertinentes para efeito comparativo das duas situações, (i) a normal e (ii) a inovadora, para verificar a viabilidade destas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para o desenvolvimento do trabalho proposto foi acordado com a Empresa X que o comparativo seria realizado em uma produção de papel a ser utilizado na conversão de caixas para frigoríficos, sendo esta a condição mais severa para avaliação do processo proposto. Também seria efetuado o monitoramento do desempenho da caixa produzida com o papel utilizando o carbonato de zircônio. Para que a análise tivesse maior representatividade possível, a alteração do reticulante foi programada para o meio da produção e usados 6.000 kg de produto.

4.1 ESTUDO DE CASO NA EMPRESA X

A Empresa X iniciou a produção de Papel Especial 175 g/m² no dia 06 de dezembro de 2016 aplicando 40 kg/t de reticulante normal a partir do rolo com número sequencial 737, sendo que cada rolo leva um tempo de 30 minutos para ser produzido. Até o rolo nº 759 seguiu o processo sem alterações, conforme pode ser observado na tabela 1.

A partir do rolo nº 760 iniciou-se a dosagem do reticulante proposto à base de carbonato de zircônio e como pode ser verificado na tabela 1. No terceiro rolo subsequente ao início da aplicação pôde-se observar efeitos na resistência que permitiram otimizar a aplicação do reticulante reduzindo a sua dosagem para manter os valores de resistência na média que vinha sendo obtida com o reticulante normal a base de epicloridrina.

Também pôde-se otimizar a dosagem de um segundo produto usado na receita, que é o agente de colagem o qual controla os valores de *Cobb Test*, visto que se teve ganhos representativos nessa propriedade. Seguiu-se dosando o

reticulante a base zircônio até consumir o lote disponível que eram 6.000 kg de produto, que durou até o rolo de número sequencial 788. Após, retornou-se ao produto normal a base epícloridrina até o final da produção que se estendeu até o rolo 813, quando se retornou à dosagem do reticulante a base de epícloridrina para 40 kg/t.

O período de dosagem de carbonato de zircônio na receita foi de aproximadamente 14 horas de produção em um total de 38 horas de produção de Papel Especial 175 g/m². Em todo o período de produção utilizou-se 35 kg/ton de amido de mandioca oxidado.

Conforme pode-se visualizar na tabela 1 e nos gráficos 1 a 4, obteve-se uma otimização de consumo de 25% a menos de dosagem de carbonato de zircônio em relação à epícloridrina, pois obteve-se ganhos em todas as propriedades analisadas. Ainda se considerou um fator de segurança por se tratar de uma experiência inédita com esse ativo e não haviam resultados com as caixas prontas. O Papel Especial 175 g/m² é o componente que irá produzir as ondas (miolo) em caixas específicas que são utilizadas em câmaras frigorificadas e sua *performance* é crucial para a manutenção da resistência da caixa. (PEREIRA, 2013).

4.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.2.1 Caracterização do amido

Neste estudo, foi utilizado pela Empresa X a aplicação superficial de amido, que possui as seguintes características:

- a) tipo: amido de mandioca oxidado;
- b) forma: pó;
- c) cor: branca;
- d) odor: neutro
- e) pH: 9,0 em uma concentração de 250 g/l;
- f) densidade: 700 kg/m³;
- g) solubilidade: dispersão coloidal em água quente.

4.2.2 Caracterização do Reticulante a base de Epicloridrina

Neste estudo, foi utilizado pela Empresa X a aplicação superficial de reticulante a base de epicloridrina para efeito comparativo com o processo proposto, com as seguintes características:

- a) tipo: resina poliamida epicloridrina;
- b) cor: âmbar;
- c) odor: característico;
- d) pH: 2,5 – 3,0;
- e) densidade: 1.110 a 1.130 kg/m³;
- f) solubilidade: solúvel em água sob agitação;
- g) concentração: 37 a 39% de sólidos.

4.2.3 Caracterização do Reticulante a base de carbonato de zircônio

Para este estudo de caso, foi utilizado como objeto de pesquisa a utilização de reticulante a base de carbonato de zircônio para substituição da epicloridrina, com as seguintes características:

- a) tipo: solução aquosa de carbonato de zircônio;
- b) cor: incolor;
- c) odor: levemente amoniacal;
- d) pH: 8,5 – 10,0 a 25 ° C;
- e) densidade: 1.150 a 1.350 kg/m³;
- f) solubilidade: completamente miscível em água;
- g) concentração: 35 a 37 % de sólidos.

4.3 DISCUSSÃO

4.3.1 Dados do período de Produção Total do Papel Especial 175 g/m²

Tabela 1 - Dados Produção de Papel Especial 175 g/m²

ESPECIFICAÇÃO	Sequência Nº	RCT			CMT			COBB		
		Mínima	Kgf	Kgf	Kgf	Kgf	g/m ²	g/m ²	g/m ²	
			Máximo	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	80	80	80
					ADITIVOS					
					RCT	CMT	COBB	Amido	Cola	Reticulante
					Kgf	Kgf	g/m ²	Kg/ton	Kg/ton	Kg/ton
	737		367		574		64	35	2,8	40
	738		372		572		67	35	2,8	40
	739		375		577		71	35	2,8	40
	740		379		567		70	35	2,8	40
	741		381		569		75	35	2,8	40
	742		388		577		74	35	2,8	40
	743		390		580		73	35	2,8	40
	744		380		574		73	35	2,8	40
	745		378		575		72	35	2,8	40
	746		377		579		75	35	2,8	40
	747		379		581		74	35	2,8	40
	748		377		582		71	35	2,8	40
	749		362		579		75	35	2,8	40
	750		360		573		71	35	2,8	40
	751		369		571		72	35	2,8	40
	752		375		583		73	35	2,8	40
	753		390		569		74	35	2,8	40
	754		388		582		77	35	2,8	40
	755		386		577		75	35	2,8	40
	756		391		578		73	35	2,8	40
	757		390		578		73	35	2,8	40
	758		377		571		73	35	2,8	40
	759		386		572		72	35	2,8	40
	760		392		575		76	35	2,8	40
	761		399		581		74	35	2,8	40
	762		405		578		72	35	2,8	40
	763		411		595		70	35	2,8	40
	764		408		597		63	35	2,8	40
	765		413		601		62	35	2,8	40
	766		415		605		60	35	2,8	40
	767		419		605		58	35	2,8	40
	768		421		606		55	35	2,6	40
	769		415		603		54	35	2,6	38
	770		414		607		53	35	2,6	38
	771		413		599		53	35	2,6	38
	772		415		592		52	35	2,6	35
	773		411		595		57	35	2,6	35
	774		408		610		52	35	2,3	35

775	407	601	50	35	2,3	32
776	400	590	55	35	2,3	32
777	399	581	54	35	2,2	32
778	398	580	57	35	2,2	32
779	395	580	58	35	2,2	32
780	399	581	56	35	2,2	32
781	400	579	58	35	2,2	32
782	401	587	60	35	2,2	32
783	405	581	60	35	2,2	32
784	404	581	61	35	2,2	32
785	407	582	60	35	2,2	32
786	406	591	50	35	2,2	32
787	407	579	62	35	2,2	32
788	409	583	62	35	2,2	32
789	403	579	61	35	2,2	38
790	396	565	65	35	2,2	38
791	398	571	67	35	2,2	40
792	391	572	66	35	2,2	40
793	388	581	68	35	2,2	40
794	387	584	69	35	2,4	40
795	381	577	70	35	2,6	40
796	380	578	71	35	2,6	40
797	375	577	65	35	2,6	40
798	376	571	62	35	2,6	40
799	388	581	60	35	2,6	40
800	382	573	66	35	2,6	40
801	388	575	67	35	2,6	40
802	384	571	65	35	2,6	40
803	387	576	64	35	2,6	40
804	388	576	69	35	2,6	40
805	381	572	70	35	2,6	40
806	376	571	71	35	2,8	40
807	367	574	77	35	2,8	40
808	365	577	71	35	2,8	40
809	368	588	66	35	2,8	40
810	376	571	67	35	2,8	40
811	375	562	68	35	2,8	40
812	377	577	65	35	2,8	40
813	372	579	64	35	2,8	40

A tabela 01 nos apresenta a evolução dos testes analisados na sequência de produção, onde iniciou-se a aplicação em condições normais a partir do rolo 737 até o rolo 760 utilizando-se o reticulante a base de epiclóridrina que é o produto

normalmente utilizado pela empresa X. A partir do rolo 760 até o rolo número 788 da sequência, a epícloridrina foi substituída pelo reticulante a base de carbonato de zircônio, quando foi operacionalmente possível realizar a otimização da aplicação, reduzindo a dosagem de reticulante em função dos ganhos obtidos nos testes de RCT e CMT. Também observou-se uma redução na absorção de água pelo papel, tornando possível otimizar a dosagem do agente responsável pelo controle do Cobb test em aproximadamente 0,600 kg/ton o que representa nessa situação 27%. A partir do rolo número 789 da sequência, retornou-se a dosagem de reticulante a base de epícloridrina e pode-se observar que os resultados dos testes físicos analisados RCT e CMT também gradativamente retornou a condição anterior a aplicação do reticulante a base de carbonato de zircônio.

Na sequência, pode-se visualizar em gráficos a tendência dos testes analisados, antes durante e depois da aplicação do reticulante a base de carbonato de zircônio, dando uma visão global do comportamento do processo para as variáveis analisadas.

4.3.2 Análise da Tendência de RCT

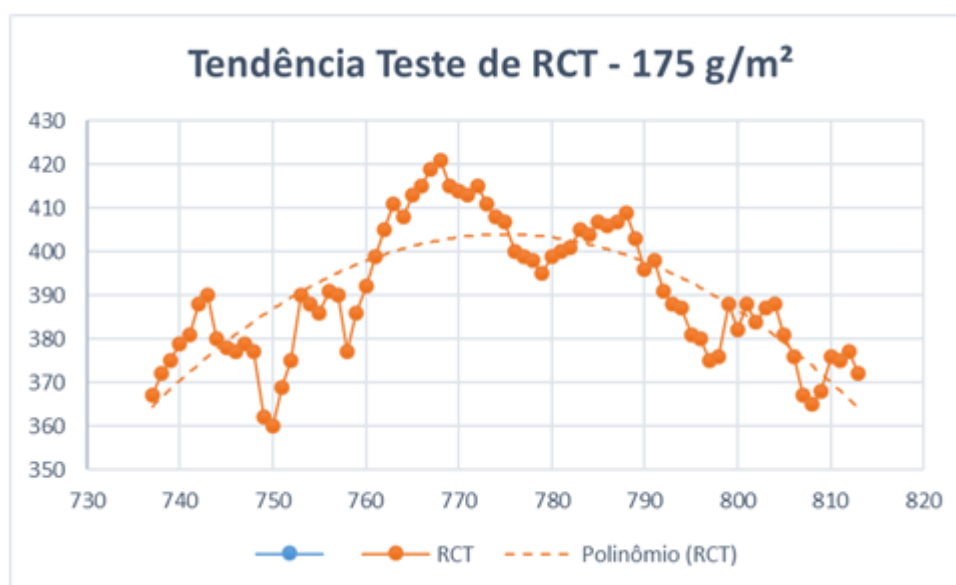


Gráfico 1 - Tendência Teste de RCT – produção de Papel Especial 175 g/m²
Fonte: Autor (2017)

É fácil perceber o incremento no teste de RCT a partir do início da dosagem do reticulante a base de carbonato de zircônio. Com esse incremento no teste foi possível reduzir em 25% a dosagem quando comparado com o reticulante normal,

impactando em uma redução direta de custo de 25%, pois os preços dos produtos são iguais. Na sequência, o Gráfico 2 mostra a tendência do teste de CMT.

4.3.3 Análise da Tendência de CMT

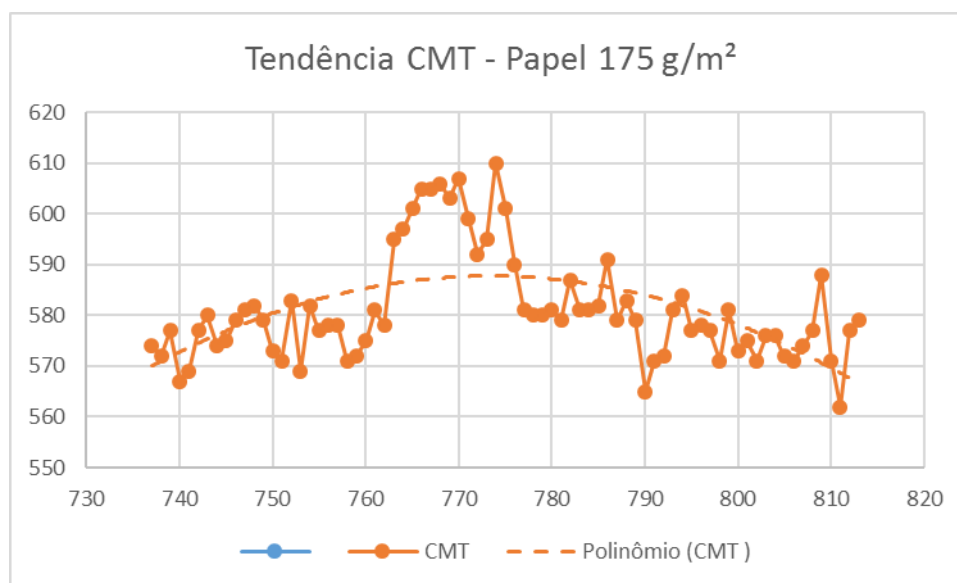


Gráfico 2 - Tendência Teste de CMT – Produção de Papel Especial 175 g/m²
Fonte: Autor (2017)

Assim como observado no ensaio de RCT, também obteve-se o incremento evidente no ensaio de CMT. Ambos os testes são promovidos pela adição de amido na superfície do papel, então pode-se concluir que o efeito de reticulação proposto pelo Carbonato de Zircônio mostrando a viabilidade da utilização do mesmo.

O incremento tanto do RCT quanto do CMT viabilizou a otimização na dosagem de reticulante, que reduziu 25% da dosagem do mesmo.

4.3.4 Análise da Tendência de COBB TEST

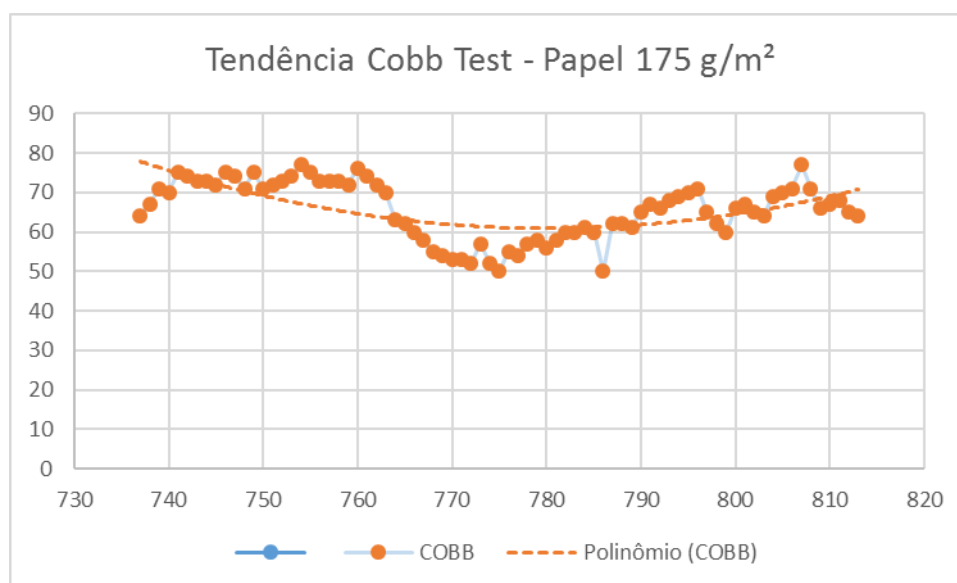


Gráfico 3 - Tendência de *COBB TEST* – Produção de Papel Especial 175 g/m²
Fonte: Autor (2017)

A redução do *COBB TEST* mostra que o efeito de reticulação do carbonato de zircônio possui características que merecem um estudo específico para essa propriedade. A redução do valor de absorção de água pelo papel também mostra um aumento na eficiência do agente de colagem utilizado em conjunto na receita do papel. Essa redução é essencial, visto que a umidade é o grande causador da perda de resistência do produto final, a caixa.

4.3.5 Análise da tendência do consumo dos aditivos

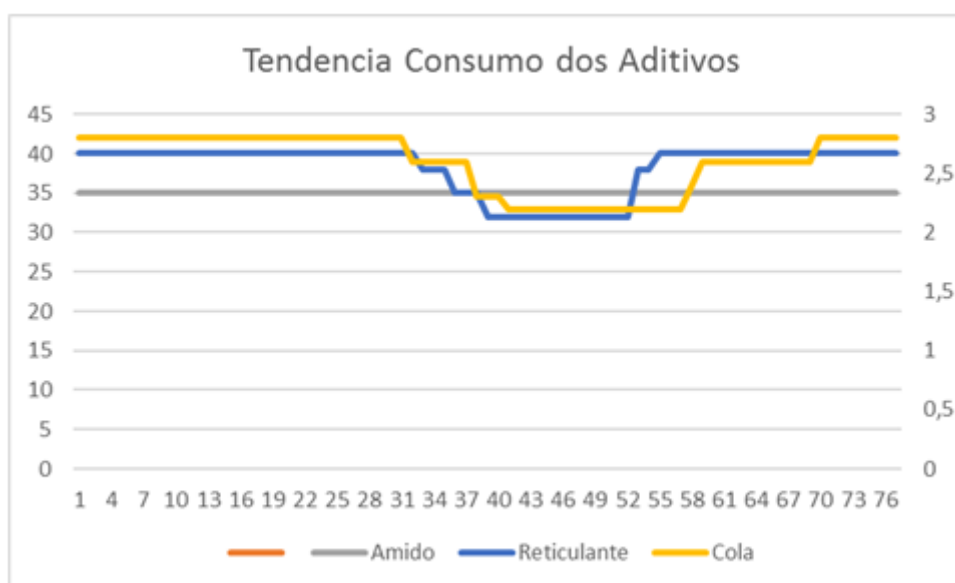


Gráfico 4 - Consumos de amido – reticulante e agente de colagem
Fonte: Autor (2017)

Como pode-se verificar anteriormente com o incremento dos testes de RCT e CMT e ainda no *Cobb Test*, foi viabilizado a redução da quantidade de reticulante, buscando manter esses testes na média em que estavam com o reticulante tradicional. Os resultados dos testes no papel apontam que seria possível uma redução ainda maior, porém, como ainda faltava analisar a caixa pronta, optou-se por manter um coeficiente de segurança. Na sequência, observou-se o comportamento da caixa produzida com o papel fabricado nesse lote, tanto com o reticulante normal quanto com o reticulante proposto a base de carbonato de zircônio.

4.3.6 Avaliação das embalagens produzidas

Na sequência, é apresentado o relatório da Empresa X na íntegra, no qual foi analisados o comportamento de embalagens produzidas, com papel utilizando o reticulante a base de epícloridrina (RU Normal) em comparação com embalagens produzidas com papel utilizando o reticulante proposto a base de carbonato de zircônio (RU Teste).

Vale ressaltar que a dosagem de carbonato de zircônio foi 25% menor que a de epícloridrina, visto que os resultados obtidos no papel base permitiram essa redução.

4.3.7 Relatório Interno do Setor de Produção de Caixas - Empresa X

“Rodamos o PO866 com a seguinte composição: KL200 RE175 KL200 onde trocamos o RE da bobina 01040124769 (Reticulante ZC) para a bobina de RE n° 01040124759 (Reticulante normal) mantendo as mesmas bobinas da capa e forro, assim conseguimos uma melhor representabilidade nos resultados. Com as chapas produzidas, produzimos as caixas do Cliente BRF com ambos os miolos e foram encaminhadas ao laboratório para fazer os testes de câmara fria (até 96 horas).” (Relatório Interno laboratório Empresa X, 2016).

Resultados Laboratório de Caixas

24 horas	Caixa Climatizada a 23°C +- 1 e UR 60% +-2	
	Reticulante ZC (RU Teste)	Reticulante Normal (2) (RU Normal)
	Climatizado 24 h	Climatizado 24 h
Gramatura	701	699
Espessura	4,3	4,2
Coluna	9,6	9,3
Mullem	1846	1630
Esmagamento	359	292
Umidade	9,4	9,2
Cobb	10	8
Compressão	399	367

24 Horas	Caixa Climatizada Camara Fria 4°C+-1 UR 96%+-2	
	Reticulante ZC	Reticulante Normal (2)
	Câmara fria 24 h	Câmara fria 24 h
Gramatura	719	715
Espessura	4,3	4,3
Coluna	7,2	7
Mullem	1595	1696
Esmagamento	231	178
PIN (capa)	45	48,4
PIN (forro)	48,5	44,5
Umidade	12,6	12,3
Cobb	6	6
Compressão	312	308

Caixa Climatizada Camara Fria 4°C+-1 UR 96%+-2		
48 Horas	Reticulante ZC (RU Teste)	Reticulante Normal (2) (RU Normal)
	Câmara fria 48 h	Câmara fria 48 h
Gramatura	721	707
Espessura	4,3	4,3
Coluna	7,2	6,8
Mullem	1492	1620
Esmagamento	264	216
PIN (capa)	44,7	40,1
PIN (forro)	47	46,1
Umidade	11,8	11,6
Cobb	6	7
Compressão	313	326

Caixa Climatizada Camara Fria 4°C+-1 UR 96%+-2		
72 Horas	Reticulante ZC (RU Teste)	Reticulante Normal (2) (RU Normal)
	Câmara fria 72 h	Câmara fria 72 h
Gramatura	723	718
Espessura	4,3	4,3
Coluna	7,1	7
Mullem	1559	1691
Esmagamento	268	261
PIN (capa)	43,8	42,3
PIN (forro)	44,5	45,9
Umidade	12,5	13,8
Cobb	6	6
Compressão	310	303

Caixa Climatizada Camara Fria 4°C+-1 UR 96%+-2		
96 Horas	Reticulante ZC (RU Teste)	Reticulante Normal (2) (RU Normal)
	Câmara fria 96 h	Câmara fria 96 h
Gramatura	716	721
Espessura	4,3	4,3
Coluna	6,4	6,3
Mullem	1537	1506
Esmagamento	214	202

PIN (capa)	43,5	41,8
PIN (forro)	43,2	44,2
Umidade	13,2	13
Cobb	7	8
Compressão	304	304

Quadro 1 - Resultados Laboratório de Caixas
Fonte: Relatório Interno Laboratório Empresa X

GRAFICOS LABORATÓRIO CAIXAS – CÂMARA FRIA

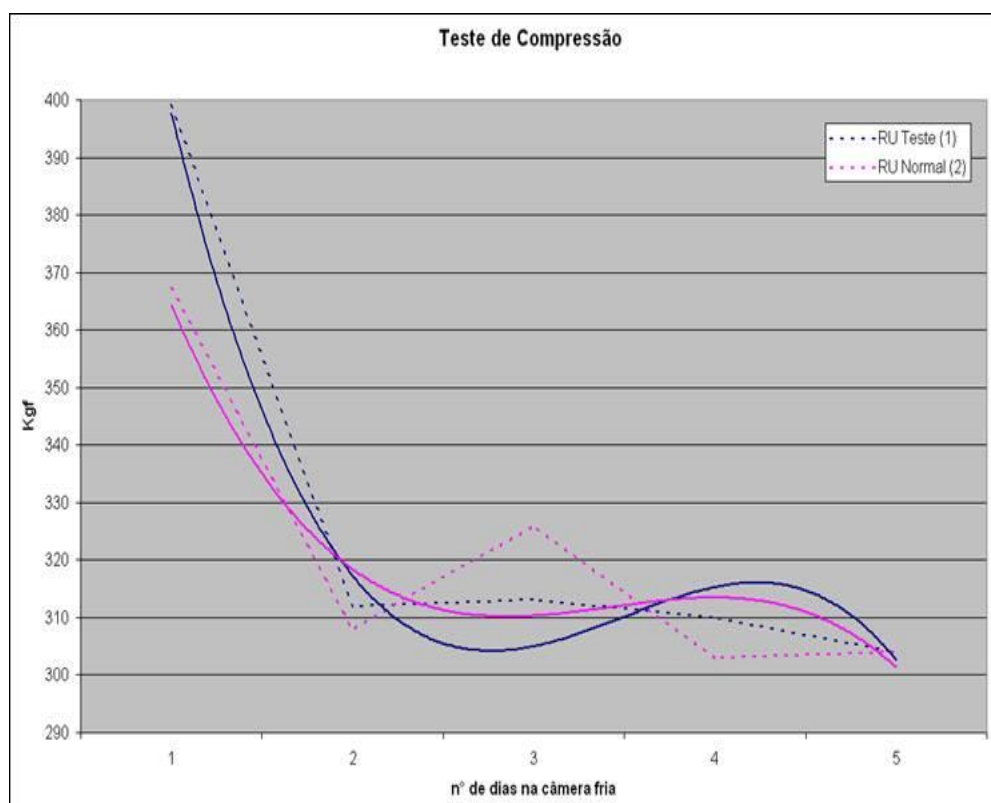


Gráfico 5 - Comparativo teste compressão caixa carbonato de zircônio x epiclorigrina
Fonte: Relatório Interno Laboratório Empresa X

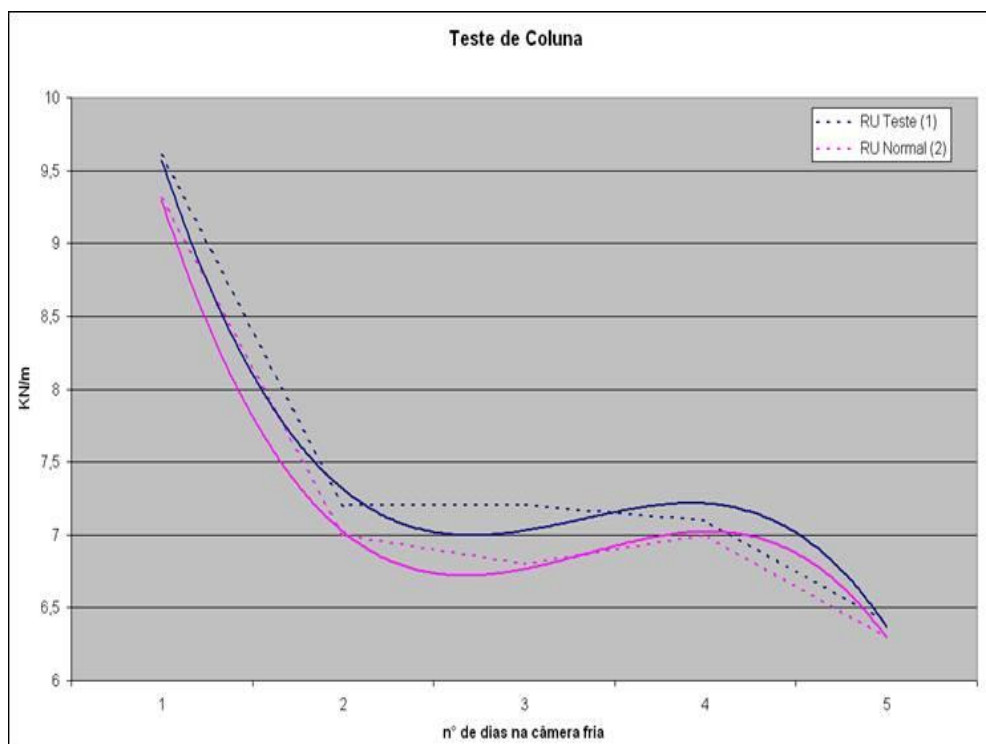


Gráfico 6 - Comparativo teste coluna caixa carbonato de zircônio x epiclóridrina
Fonte: Relatório Interno Laboratório Empresa X

4.3.8 Avaliação final do lote produzido com carbonato de zircônio pelo setor de fabricação de caixas

Em anexo os comentários efetuados pela “Empresa X”, em relação à utilização do lote de caixas produzidas com o papel instrumento do nosso estudo de caso:

“Não observamos nenhuma tendência de nenhum parâmetro para reprovar o produto, já que o comportamento ao longo do tempo foi similar sem significativa diferença. Também foi percebido pelos operadores que o papel RE com o Reticulante para teste parecia um pouco mais maleável (o que melhora para a operação) comparando com o Reticulante normal a qual o aspecto é um pouco mais encartado. Com relação a colagem ambos tiveram desempenhos similares quanto ao sentimento dos operadores e também quando analisamos o teste de adesividade (PIN).

Qualquer dúvida favor entrar em contato. Esperamos ter contribuído para o desenvolvimento deste novo Reticulante. Se necessário podemos refazer os testes em outra oportunidade para comparar os desempenhos.” (Relatório Interno Laboratório Empresa X, 2016).

Como pode-se visualizar nos resultados da caixa pronta, o papel produzido com o Carbonato de Zircônio como reticulante apresentou estabilidade e resistência física até superior quando comparado ao reticulante normal a base de epiclóridrina. O produto mostrou ganhos qualitativos e otimização na taxa de dosagem, o que resulta em redução de custo para o fabricante.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Este trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da utilização de um agente a base de carbonato de zircônio como reticulante para amido aplicado superficialmente na fabricação de papéis para embalagem. Baseado nos resultados obtidos neste estudo de caso, a primeira conclusão é que há possibilidade da utilização do ativo proposto, o carbonato de zircônio, como agente reticulante para amidos superficiais é viável. O processo proposto com carbonato de zircônio substituiu com sucesso um reticulante à base de epicloridrina (usado tradicionalmente) em um processo de produção de papel para embalagens que são submetidas às condições adversas desse segmento de mercado.

Além da substituição, a segunda conclusão é que o reticulante a base de carbonato de zircônio propiciou uma redução de custo significativa ao fabricante de papel, sendo de aproximadamente 25%. Por ser uma linha vertical resultou em menor custo no produto final, a caixa. Operacionalmente, facilitou o controle de processo por não apresentar o fenômeno de “cura” o que facilita o ajuste durante a produção. Fato que não acontece com o produto utilizado comumente na indústria.

A terceira conclusão a ser salientada, é em relação à legislação, pois o produto atende as mais rígidas normas internacionais, sendo alinhado com a tendência vigente de sustentabilidade, preservação da saúde e meio ambiente. No Brasil as normas que regulamentam as embalagens celulósicas para contato com alimentos é emitida pela ANVISA através de sua portaria 177/99.

Para futuros trabalhos, além de continuar a pesquisa das interações que o carbonato de zircônio confere quando aplicado superficialmente, recomenda-se a utilização com amidos de diferentes origens, como o milho, que tem diferentes cadeias quando comparado com o amido utilizado em nosso estudo de caso (de mandioca). Além disso, os resultados encontrados nos habilitam a aprofundar o estudo para que o carbonato de zircônio atue como coadjuvante em diferentes aplicações do amidos no processo produtivo de papel que não o superficial, como por exemplo, nos processos em que o amido é aplicado junto com a receita para a formação do papel para a obtenção de propriedades semelhantes, comumente conhecido como amido aplicado internamente e também para aplicações em papéis multicamadas nas quais o amido tem função de resistência “entre camadas” nessa forma de aplicação.

REFERÊNCIAS

- ANVISA – **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**, Portaria 177/99 – Diário Oficial da União, D.O.U. 1999
- CAMPOS, Edilson. S. **Curso de Fabricação de Papel, ABTC** – São Paulo SP, 2009. 347 p.
- CELULOSE E PAPEL. **Tecnologia de fabricação do papel**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo S. A. 2. Ed. São Paulo (SP): IPT 1988
- GIL, Antonio C., **Como Elaborar Projetos de Pesquisas**, 4. Ed. São Paulo SP, ed. Atlas 2002
- LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos da Metodologia Científica**, 5. Ed. São Paulo SP, ed. Atlas 2003
- NASCIMENTO, Rui C. F., **Especialização em Fabricação de Papel e Celulose**. Revestimento 2 – A Tinta Couché, Faculdade de Telêmaco Borba, Telêmaco Borba 2012
- PAPERMAKING SCIENCE AND TECHNOLOGY, **Technical Association of the Pulp and Paper**, Finland FI, 2000.
- PEREIRA, Juarez. Gramatura do Papelão ondulado. **Revista O Papel**, São Paulo (SP), n. 02, p. 18, Fevereiro 2013.
- PEREIRA, Juarez. Umidade do Papelão ondulado. **Revista O Papel**, São Paulo (SP), n. 06, p. 46, Junho 2013.
- PEREIRA, Juarez. CMT e CCT. **Revista O Papel**, São Paulo (SP), n. 09, p. 20, Setembro 2012.
- PEREIRA, Juarez. Relacionamento RCT e Resistência de Coluna. **Revista O Papel**, São Paulo (SP), n. 06, p. 34, Junho 2012.
- RAZZOLINI, Francisco Cesar. **ABCTP** – Curso de Fabricação de Papéis e Cartões para Embalagem. São Paulo, 1994
- SENAI, Curso Técnico de Celulose e Papel, **Tecnologia de Fabricação de Papelão Ondulado**, São Paulo (SP), 2013.
- SONG, Delong. **Starch Crosslinking for Cellulose fiber modification and starch nanoparticle formation** School of Chemical and Biomolecular engineering. Georgia Institute, 2011. Atlanta USA.
- YIN, Robert K. **Estudo de Caso Planejamento e Métodos**, 2. Ed. Porto Alegre RS, ed. Bookman, 2001.