



João Dallamuta
(Organizador)

**Estudos Transdisciplinares
nas Engenharias 2**

Atena
Editora
Ano 2019

João Dallamuta

(Organizador)

Estudos Transdisciplinares nas Engenharias 2

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora
Copyright © Atena Editora
Copyright do Texto © 2019 Os Autores
Copyright da Edição © 2019 Atena Editora
Editora Executiva: Profª Drª Antonella Carvalho de
Oliveira Diagramação: Karine de Lima
Edição de Arte: Lorena Prestes
Revisão: Os Autores

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Conselho Editorial

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Ciências Biológicas e da Saúde

Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás
Prof.^a Dr.^a Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof.^a Dr.^a Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Dr.^a Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof.^a Dr.^a Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

Ciências Exatas e da Terra e Engenharias

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará
Prof.^a Dr.^a Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

Conselho Técnico Científico

Prof. Msc. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo
Prof.^a Dr.^a Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico
Prof. Msc. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.^a Msc. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia
Prof. Msc. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista
Prof. Msc. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão
Prof.^a Msc. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal
Prof. Msc. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)	
E82	Estudos transdisciplinares nas engenharias 2 [recurso eletrônico] / Organizador João Dallamuta. – Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 2019. – (Estudos Transdisciplinares nas Engenharias; v. 2) Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-85-7247-356-9 DOI 10.22533/at.ed.569102905 1. Engenharia – Pesquisa – Brasil. 2. Transdisciplinaridade. I. Dallamuta, João. II. Série. CDD 620
Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422	

Atena Editora

Ponta Grossa – Paraná - Brasil

www.atenaeditora.com.br

contato@atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

Caro(a) leitor(a),

Nesta obra temos um compendio de pesquisas realizadas por alunos e professores atuantes em ciências exatas, engenharia e tecnologia. São apresentados trabalhos teóricos e vários resultados práticos de diferentes formas de aplicação e abordagens de simulação, projetos e caracterização no âmbito da engenharia e aplicação de tecnologia.

Tecnologia e pesquisa de base são os pilares do desenvolvimento tecnológico e da inovação. Uma visão ampla destes temas é portanda fundamental. É esta amplitude de áreas e temas que procuramos reunir neste livro.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Optamos pela divisão da obra em dois volumes, como forma de organização e praticidade a você leitor. Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura.

João Dallamuta

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ESTUDO SEMI PROBABILÍSTICO E SIMULAÇÕES NUMÉRICAS PARA O MÓDULO DE ELASTICIDADE DO CONCRETO APLICADO AO PROBLEMA DE FLEXÃO DE UMA VIGA	
Ana Carolina Carius Bruna Teixeira Silveira Ricardo Franciss Leonardo de Souza Corrêa João Vitor Curioni de Miranda Bruna Nogueira da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.5691029051	
CAPÍTULO 2	14
EVOLUÇÃO DIFERENCIAL APLICADA NA ESTIMAÇÃO DE PARÂMETROS DE UM SISTEMA OSCILATÓRIO	
Iolanda Ortiz Bernardes Marcelo Favoretto Castoldi Alessandro Goedel	
DOI 10.22533/at.ed.5691029052	
CAPÍTULO 3	20
GERAÇÃO DE UM ACELEROGRAMA SÍSMICO ARTIFICIAL A PARTIR DE UMA FUNÇÃO DENSIDADE ESPECTRAL DE POTÊNCIA COMPATÍVEL COM UM ESPECTRO DE RESPOSTA DE PROJETO	
Daniela Dalla Chiesa Letícia Fleck Fadel Miguel	
DOI 10.22533/at.ed.5691029053	
CAPÍTULO 4	25
GRUPO DE ESTUDOS E INTERVENÇÕES SOCIOAMBIENTAIS ENQUANTO PRÁTICA EDUCATIVA PARA A ENGENHARIA AMBIENTAL: CICLOS QUE SE RETROALIMENTAM	
Gabriela de Souza Carvalho Julia Dedini Felício Lara Ramos Monteiro Silva Rhennan Mecca Bontempi	
DOI 10.22533/at.ed.5691029054	
CAPÍTULO 5	43
MAPEAMENTO DE LINEAMENTOS ESTRUTURAIS E ESTUDO DA POTENCIALIDADE HÍDRICA DO SISTEMA AQUÍFERO SERRA GERAL NA BACIA DO RIBEIRÃO CAMBÉ EM LONDRINA, PR	
Giselly Peterlini Maurício Moreira dos Santos Thiago Henrique da Silva	
DOI 10.22533/at.ed.5691029055	
CAPÍTULO 6	49
MODELAGEM E IMPLEMENTAÇÃO DE UM INVERSOR FONTE DE TENSÃO PARA ACIONAMENTO DE MOTORES DE INDUÇÃO	
Lucas Niquele Endrice Jakson Paulo Bonaldo	
DOI 10.22533/at.ed.5691029056	

CAPÍTULO 7	67
MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO DE LEITE EM PÓ INTEGRAL: ÊNFASE NA ETAPA DE SECAGEM POR <i>SPRAY DRYING</i> Gustavo Storte Tonin Régis da Silva Pereira DOI 10.22533/at.ed.5691029057	
CAPÍTULO 8	83
NÍVEIS DE RUÍDO DE UM TRATOR AGRÍCOLA EM CONDIÇÃO ESTÁTICA Maria Rosa Alferes da Silva Letícia Rodrigues da Silva Rônega Boa Sorte Vargas Beethoven Gabriel Xavier Alves DOI 10.22533/at.ed.5691029058	
CAPÍTULO 9	88
O MÉTODO SORM DG E SUAS APLICAÇÕES NA ANÁLISE DE CONFIABILIDADE ESTRUTURAL DE PROBLEMAS DE ENGENHARIA Emmanoel Guasti Ferreira Marcílio Sousa da Rocha Freitas José Antônio da Rocha Pinto Geraldo Rossoni Sisquini DOI 10.22533/at.ed.5691029059	
CAPÍTULO 10	106
PROPOSTA DE INTERVENÇÃO PARA CRIAÇÃO DA ZONA DE SEGURANÇA HÍDRICA DO MUNICÍPIO DE CUIABÁ, MATO GROSSO Ibraim Fantin-Cruz Maria Ivoneide Vital Rodrigues Leandro Obadowiski Bruno Marcel Medinas de Campos DOI 10.22533/at.ed.56910290510	
CAPÍTULO 11	123
PROSPECÇÃO QUÍMICA DA CASCA DO FRUTO E DA SEMENTE DA <i>MAGONIA PUBENSCENS</i> A. ST.-HIL Amanda Silva Oliveira Arnaldo Ferreira Ribeiro Júnior Bruna Lane Malkut Fábio Gramani Saliba Júnior Maria Perpétua Oliveira Ramos DOI 10.22533/at.ed.56910290511	
CAPÍTULO 12	128
REÚSO DE EFLUENTE DE ESGOTO TRATADO NO CULTIVO DO PIMENTÃO AMARELO EM SOLO DO CERRADO Delvio Sandri Waltoíres Reis da Silva Júnior Cícero Célio de Figueiredo Rodrigo Moura Pereira DOI 10.22533/at.ed.56910290512	

CAPÍTULO 13	140
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICO	
Camila Dias de Jesus	
Márcio da Silva Vilela	
Leonardo Nazário Silva dos Santos	
Clarissa Vitória Borges dos Santos	
DOI 10.22533/at.ed.56910290513	
CAPÍTULO 14	144
SISTEMA RADICULAR DA CULTIVAR 'GOLD JEWEL' DE KALANCHOE BLOSSFELDIANA POELLN CULTIVADA EM SUBSTRATO COMERCIAL E EM DIFERENTES DOSAGENS DE IRRIGAÇÃO	
Fátima Cibele Soares	
Jumar Luís Russi	
Andressa Fernandes Leal	
Carine Brum Duran	
Francieli Ribeiro Corrêa	
Giordana Trindade de Abreu	
DOI 10.22533/at.ed.56910290514	
CAPÍTULO 15	151
UMA ABORDAGEM DE APRENDIZADO DE MÁQUINAS PARA AUXÍLIO NO PLANEJAMENTO E CONTROLE DE MANUTENÇÃO	
Jéfter Mateus de Oliveira Rezende	
Gustavo de Assis Costa	
Camila Dias de Jesus	
DOI 10.22533/at.ed.56910290515	
CAPÍTULO 16	164
UTILIZAÇÃO DA TÉCNICA DE VELOCIMETRIA POR IMAGENS DE PARTÍCULAS (PIV) PARA OBTENÇÃO DO MAPA DE DEFORMAÇÕES EM PAINÉIS DE MADEIRA DE <i>PINUS OOCARPA</i>	
Eduardo Hélio de Novais Miranda	
Rodrigo Allan Pereira	
DOI 10.22533/at.ed.56910290516	
CAPÍTULO 17	170
UTILIZAÇÃO DE AGENTE DE SECAGEM NA PRODUÇÃO DE PAPEL CARTÃO	
Crivian Pelisser	
Márcio Antônio Fiori	
Josiane Maria Muneron de Mello	
Jaqueline Scapinello	
DOI 10.22533/at.ed.56910290517	
SOBRE O ORGANIZADOR	184

UTILIZAÇÃO DE AGENTE DE SECAGEM NA PRODUÇÃO DE PAPEL CARTÃO

Crivian Pelisser

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó – SC, Brasil.

Márcio Antônio Fiori

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó – SC, Brasil.

Josiane Maria Muneron de Mello

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó – SC, Brasil.

Jaqueline Scapinello

Área das Ciências Exatas e Ambientais, Universidade Comunitária da Região de Chapecó, Chapecó – SC, Brasil.

RESUMO: O papel é um dos produtos mais utilizados no cotidiano. Além de possuir muitas aplicações, tem a capacidade de ser reciclado por inúmeras vezes. Para aumentar a eficiência do processo de reciclagem de papel, muitos insumos são utilizados. Neste trabalho, utilizou-se um agente de secagem durante a etapa de formação da folha de papel, com o objetivo de reduzir a quantidade de insumos utilizados na secagem do papel cartão, e conseqüentemente gerar economia de energia. Analisou-se os parâmetros de consistência de fibras na caixa de entrada, água branca e retenção, umidade,

gramatura, espessura, consumo de vapor e lenha, sem e com a aplicação do agente de secagem. Após a aplicação do agente de secagem a consistência de fibras da caixa de entrada reduziu 11,17%, a consistência da água branca reduziu em 38,77% e a retenção de fibras na mesa plana apresentou um aumento de 21,32%. A qualidade do papel foi mantida para os padrões 188 e 210 g m⁻². Houve uma redução de 12,55% no consumo de lenha para caldeira, logo a aplicação do agente de secagem trouxe melhorias para o processo de produção do papel cartão.

PALAVRAS-CHAVE: reciclagem de papel, redução de custos, papel cartão.

USE OF DRYING AGENT IN PAPER PRODUCTION CARD

ABSTRACT: Paper is one of the most used products in everyday life. In addition to possessing many applications, it has the property of being recycled numerous times. To increase the paper recycling efficiency, many inputs are used. In this paper, a drying agent was used during the step of forming the paper sheet, in order to reduce the amount of paperboard used to dry the paper, and consequently generate energy savings. The parameters of fiber consistency in the input box, white water and

retention, humidity, weight, thickness, steam consumption and firewood, without and with the application of the drying agent were analyzed. After application of the drying agent the inlet fiber consistency reduced 11.17%, the consistency of the white water reduced by 38.77% and the retention of fibers in the flat table showed an increase of 21.32%. Paper quality was maintained for standards 188 and 210 g m⁻². There was a 12.55% reduction in consumption of wood for boiler, so the application of the drying agent brought improvements to the paperboard production process.

KEYWORDS: paper recycling, cost reduction, paperboard.

1 | INTRODUÇÃO

A indústria de celulose e papel está entre as mais poluidoras, consumindo aproximadamente 5% de toda a energia consumida pelas indústrias produzindo cerca de 2% das emissões de CO₂ no mundo (KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016). No processo produtivo do papel virgem, a etapa de formação da polpa representa a maior fonte de poluição de todo o processo. Nesta etapa, os efluentes líquidos são característicos da decomposição da madeira e podem conter lignina, compostos como cloretos, sulfatos, sulfitos, ácido acético e resinas ácidas. Além disso, a indústria de papel e celulose exige que extensas áreas sejam destinadas aos reflorestamentos, que geram impactos negativos sobre a flora e a fauna nativas (POKHREL; VIRARAGHAVAN, 2004; BHATNAGAR et al., 2007; TOCZYLOWSKA-MAMIŃSKA, 2017).

Os benefícios econômicos da indústria de celulose e papel a levaram a ser um dos segmentos industriais mais importantes do mundo (FURLEY; AQUINOGA; SIQUEIRA, 2018). No entanto, nos últimos anos, as fábricas de celulose e papel estão enfrentando desafios com os mecanismos de eficiência energética e geração de poluentes (FURLEY; AQUINOGA; SIQUEIRA, 2018). Diante disso, a reciclagem de papel vem figurando como uma alternativa ao alto consumo energético e de recursos naturais, além de atuar como geradora de renda e na redução da quantidade de resíduos em lixões e aterros. A produção de uma tonelada de papel novo consome aproximadamente 100 mil litros de água, 50 a 60 eucaliptos e 5.000 kW de energia, enquanto que a produção de uma tonelada de papel reciclado consome, 1,2 tonelada de papel pós-consumo, 2 mil litros de água e 1.000 a 2.000 kW de energia (ZHANG, 2013; BRASIL, 2014; WU et al., 2014; PIVNENKO, 2015; CHEN et al., 2016).

Por definição, papel é uma folha de uma suspensão de fibras vegetais, as quais foram desintegradas, refinadas e depuradas e tiveram ou não a adição de insumos. Estes compostos adicionados são responsáveis pela aplicação futura (MARTINEZ et al. 2018). Dentre os vários tipos de papel, existe o papel cartão, que é caracterizado pela alta resistência sendo aplicado em sua maioria na produção de produtos de escritório. A demanda mundial de papel cartão vem aumentando significativamente, e a sua produção deverá crescer 146% até o ano de 2050, segundo estimativas da Agência Internacional de Energia (IEA), passando de 365 Mt (2006) para 900 Mt (2050)

KONG; HASANBEIGI; PRICE, 2016).

O papel cartão reciclado, em particular, é obtido através da desagregação de papéis. A Figura 1 apresenta o fluxograma tradicional para a produção do papel cartão de uma unidade que recicla o papel no estado de Santa Catarina.

As principais matérias-primas utilizadas no processo de produção de papel cartão são as aparas de jornal II (definida como aparas de jornais, geradas em redações, encalhe de redação e retorno de banca, desde que livre de revistas e papéis coloridos, sem cola) e também aparas mista I (definida como uma mistura de aparas de diversos tipos de papéis de fibra curta, é permitida a presença de papéis fabricados com pasta de alto rendimento)(NBR 15483, 2009).

A etapa de preparação da massa para obtenção do papel cartão, consiste na desagregação do material, adicionando-se as aparas, os insumos e a água branca, que é proveniente do reuso da água do processo, no *hidrapulper*, até a completa homogeneidade da suspensão. Nesta etapa são removidos os resíduos grosseiros como plásticos, madeira, metais e isopor que são encaminhados para o aterro industrial. Na etapa de filtragem a suspensão fibrosa passa por vários processos que tem a finalidade de retirar qualquer material que não seja fibras de papel, isso ocorre através do uso de peneiras, separador magnético e separador de areia. A suspensão segue para a máquina de papel e é admitida no processo através da caixa de entrada, passando pela tela formadora, prensas hidráulicas e secadores sendo então obtido o papel reciclado que segue para a etapa de conversão, a qual consiste em acoplar várias bobinas que se transformam em papel cartão (ROBERT, 2007; CHERUBIN et al., 2013; PELISSER, 2018).

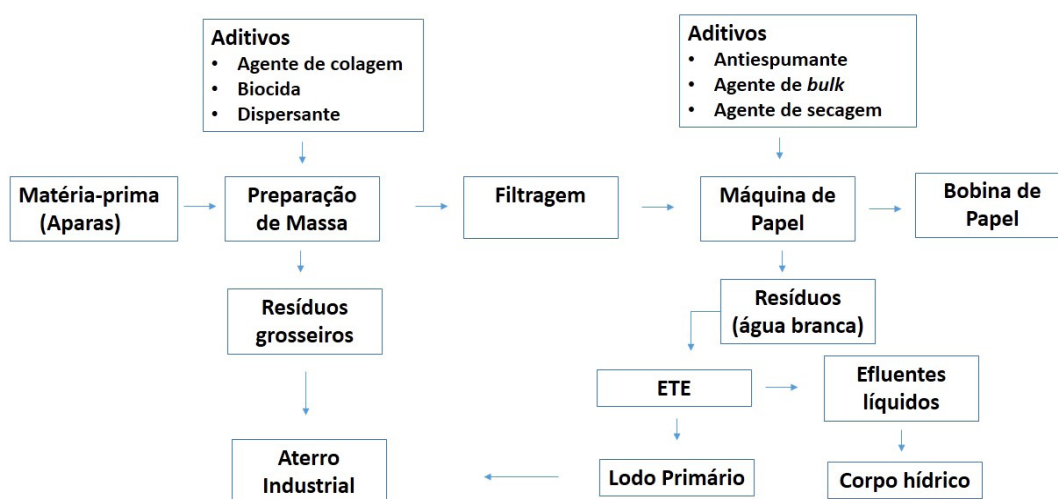


Figura 1. Fluxograma tradicional do processo de produção do papel cartão de uma unidade recicladora de papel do estado de Santa Catarina

Fonte: ROBERT, 2007; PELISSER, 2018.

Muitos insumos são aplicados no processo de reciclagem de papel, dentre eles está o amido que tem por finalidade melhorar o processo de colagem reduzindo a

quantidade de pó do papel cartão durante os processos de corte. O agente de *bulk* que tem por função aumentar o volume do papel, ou seja, aumentar a espessura e facilitar a secagem. O agente de colagem confere propriedades hidrofóbicas ao papel. A utilização do agente coagulante permite controlar a demanda iônica, reduzir a concentração de sólidos nas águas residuais, aumentar a drenagem na tela formadora. O dispersante, tem como ação evitar a formação de sujeira e entupimento dos feltros. Já o polímero catiônico, auxilia no controle de cargas na máquina de papel. A aplicação do antiespumante tem a finalidade de controlar a geração de espumas evitando o transbordamento de tanques além de evitar a má formação do papel devido a presença de bolhas. A aplicação do agente de secagem visa melhorar muitos aspectos da máquina de papel, tais como, redução na consistência, aumento da retenção das fibras na mesa plana (etapa de formação do papel) o que ocasionará uma redução no volume de lodo da estação de tratamento de efluentes (E.T.E.).

Um dos parâmetros a ser avaliado no processo produtivo de reciclagem de papel é a consistência de fibras de papel da caixa de entrada, pois ela influencia diretamente na formação do papel. As variações bruscas de consistência acabam por gerar quebra de papel na máquina durante a produção das bobinas, por isso é importante que a consistência tenha as menores variações possíveis. A água branca representa as perdas na mesa plana, na qual uma quantidade de fibras curtas não é aproveitada para a formação do papel, podendo assim calcular a retenção de fibras, que representa o grau de aproveitamento da matéria-prima (CHERUBIN, 2013; PELISSER; SCAPINELLO; PERRET, 2014).

A gramatura e a espessura também são parâmetros importantes na determinação da qualidade do papel produzido, nas quais alterações na espessura podem causar variações na tensão de bobinamento e conseqüente deformação da bobina, já a gramatura que relaciona massa por área e afeta outras propriedades como espessura, opacidade e desempenho em etapas posteriores (SUZANO, 2014).

A proposta deste trabalho é modificar a utilização de insumos com o objetivo de gerar melhorias no processo mantendo-se a qualidade do papel cartão. O principal insumo a ser adicionado no processo é o agente de secagem que irá substituir o polímero catiônico, o amido de mandioca, irá reduzir a dosagem do agente de *bulk* (2,2 kg t⁻¹ para 1,7 kg t⁻¹) e remoção completa do agente de colagem, agente dispersante e coagulante.

2 | MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 apresenta os insumos que foram retirados do processo de obtenção do papel cartão, a partir de papel reciclado, bem como os insumos que foram mantidos e os adicionados e suas respectivas concentrações em kg de insumo por tonelada de papel produzido. Além disso, a Tabela 1 apresenta também o local onde o insumo é aplicado no processo tradicional.

Insumo	Local de Aplicação	Dosagens (kg t ⁻¹)	
		Antes	Depois
Amido de Mandioca	Máquina de papel	4,0	0,0
Agente de <i>Bulk</i>	Máquina de papel	2,2	1,7
Agente de colagem	Tanque de preparação de massa	0,7	0,0
Agente coagulante	Tanque de preparação de massa	0,6	0,0
Dispersante	Tanque de água branca	0,5	0,0
Polímero	Máquina de papel	0,2	0,0
Antiespumante	Máquina de papel	0,4	0,4
Agente de secagem	Caixa de nível	0,0	8,0

Tabela 1. Relação de insumos aplicados e retirados durante o processo produtivo de reciclagem de papel para produção de papel cartão, com suas respectivas quantidades em kg por tonelada de papel.

Os insumos aplicados na produção de papel cartão foram dosados com o auxílio de bombas dosadoras na forma de soluções em pontos específicos do processo.

A aplicação do agente de cola, está ligada diretamente a absorção de água depende fundamentalmente da qualidade da celulose utilizada, do seu processo de obtenção e do tipo de revestimento aplicado (POÇAS, 2014). Para medir a capacidade de absorção de água no papel utiliza-se o Método Cobb_{120'}, descrito na NBR 535 de 2011. Os ensaios foram realizados com a adição de 0,7 kg t⁻¹ de agente de colagem e sem a adição do agente de colagem, para o papel com gramatura de 172 g m⁻² e espessura de 0,37 mm. Foram retiradas oito amostras de dois lotes distintos, o ensaio foi feito em duplicata, sendo que a média foi utilizada na análise estatística.

O agente de secagem possui características que lhe permitem substituir muitos dos insumos utilizados no processo de fabricação de papel, tornando o processo mais eficiente, mais fácil de ser controlado e ainda melhorar alguns aspectos do processo produtivo. Para verificar estas melhorias, faz-se necessário avaliar vários parâmetros do processo antes das modificações propostas e após as modificações propostas (Tabela 1). Avaliou-se a consistência de fibras na caixa de entrada, a consistência de fibras na mesa plana, a retenção, a umidade, a gramatura, espessura, consumo de vapor e lenha.

A consistência pode ser definida como a razão da massa de uma porção de pasta celulósica, depois de seca até massa constante, do material que pode ser separado por filtração e a massa da porção sem filtrar, os ensaios de consistência e retenção foram realizados conforme estabelece a NBR 14003 de 2003. Já a retenção influencia diretamente na drenagem de água na mesa plana. Uma maior drenagem da água da suspensão fibrosa, na mesa plana, tende a aumentar o teor seco do papel, conseqüentemente ocasionará uma redução no consumo de vapor, gerando uma economia de lenha. Para avaliar todos estes parâmetros, serão comparados dados do

processo obtidos antes da aplicação do agente de secagem e, valores obtidos durante a aplicação do agente de secagem.

Para analisar os efeitos da adição do agente de secagem, foram coletados dados da máquina de papel. O consumo de vapor é obtido através do controlador de processo, onde é possível visualizar a pressão da caldeira, a vazão de vapor requerida pelo sistema e a pressão de cada grupo de equipamentos que realizam a secagem do material (secador). A coleta de dados de vapor foi realizada antes e depois da aplicação do agente de secagem. A verificação do consumo de lenha foi realizada diariamente através do formulário de consumo de lenha, preenchido pelos colaboradores da empresa.

A gramatura é a massa do papel expressa em gramas por metro quadrado. É determinada através da metodologia descrita na NBR 536 de 05/2002. A espessura foi determinada com o auxílio do micrômetro (Digital Micrometer, Modelo 49-85), conforme a NBR 536:2006. A umidade da bobina foi realizada conforme preconiza a NBR 10664 de 1989.

Os dados foram obtidos por meio de réplicas e são apresentados como média \pm desvio padrão da média. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as diferenças entre as médias foram estabelecidas com um teste de *Tukey*. Os resultados são dados no texto como valores de probabilidade, com $p < 0,05$ adotadas como critério de significância.

3 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 AVALIAÇÃO DO AGENTE DE COLAGEM

Os resultados obtidos para o ensaio Cobb (absorção de água) com a aplicação do agente de cola e sem a aplicação do agente estão apresentados na Figura 2.

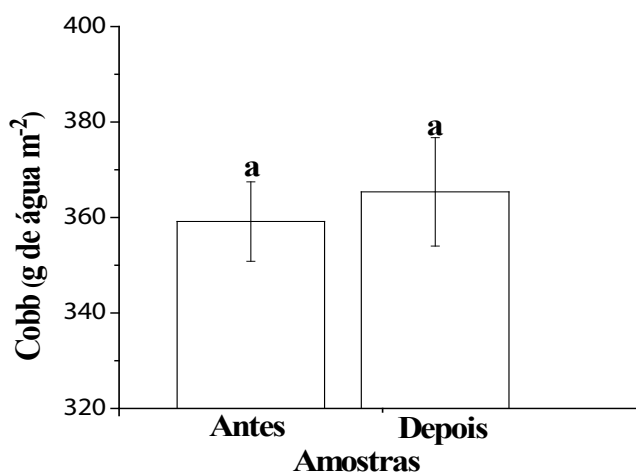


Figura 2. Ensaio Cobb com e sem a aplicação do agente de colagem. Média com a mesma letra nas barras não diferem pelo teste de *Tukey* ($P < 0,05$)

A Figura 2 demonstra que com a adição do agente de colagem a absorção de água (Cobb) foi de $359,15 \pm 8,31$ g de água m^{-2} e $365,38 \pm 11,34$ g de água m^{-2} para as amostras sem a aplicação de $0,7$ kg ton^{-1} do agente de colagem, ou seja, a adição do agente não promoveu mudanças significativas na absorção de água do papel, o que é evidenciado pelo valor de $P = 0,2338$. Desta forma, verifica-se que o agente de colagem pode ser retirado do processo sem prejuízos a qualidade do papel, reduzindo os custos de produção.

3.2 ADIÇÃO DO AGENTE DE SECAGEM

3.2.1 ANÁLISES DE CONSISTÊNCIA

A redução na consistência com a manutenção da gramatura e espessura gera uma economia de matéria-prima, deve-se a isso a importância de melhorar estes parâmetros. Valores ideais de consistência de fibras da caixa de entrada, segundo o projeto da máquina de papel, sugerem que a consistência seja no máximo de 1% (VIANA, 2015). A amostra sem adição do agente de secagem apresentou consistência média da caixa de entrada de $1,388\% \pm 0,075\%$. Após a aplicação do agente de secagem a consistência média da caixa de entrada foi de $1,233\% \pm 0,075\%$ (Figura 3).

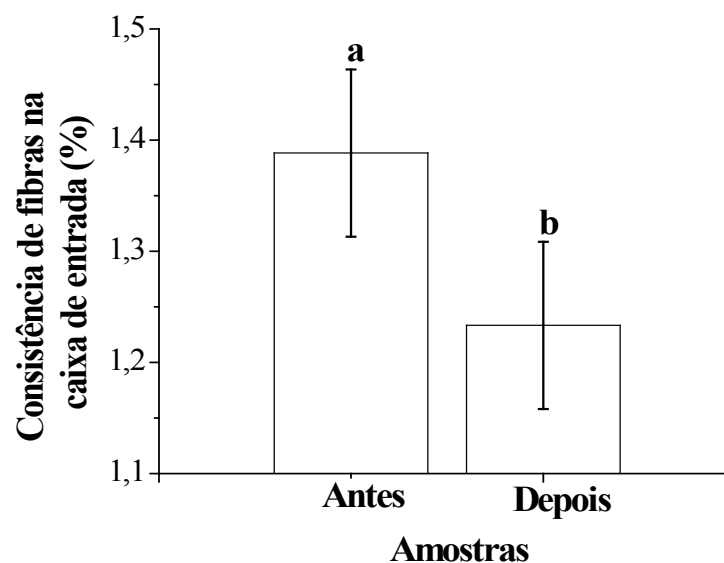


Figura 3. Análise de consistência da caixa de entrada de massa antes e depois da aplicação do agente de secagem. Média com letras diferentes nas barras diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Pode-se verificar que as amostras são diferentes estatisticamente ($p = 0,0051$). Isto significa que a adição do agente de secagem foi positiva, pois houve uma redução de 11,17% na consistência de fibras da caixa de entrada, se aproximando mais do valor de projeto do equipamento, gerando uma melhoria no processo produtivo do papel, pois ela influencia diretamente na formação do papel. Segundo Viana (2015) a consistência típica na máquina de papel é de 1,0% e deve ser controlada para que

a qualidade do papel seja alcançada e a produtividade garantida. Quanto menor a consistência, menor será a probabilidade de formação de flocos durante a construção ou estruturação da folha e conseqüentemente haverá menos quebras de papel na máquina durante a produção das bobinas, por isso é importante que a consistência tenha as menores variações possíveis (CHERUBIN, 2013; PELISSER; SCAPINELLO; PERRET, 2014).

A Figura 4 A e B representam os resultados obtidos para a consistência de fibras na água branca e retenção sem a adição do agente de secagem e com a adição do agente de secagem.

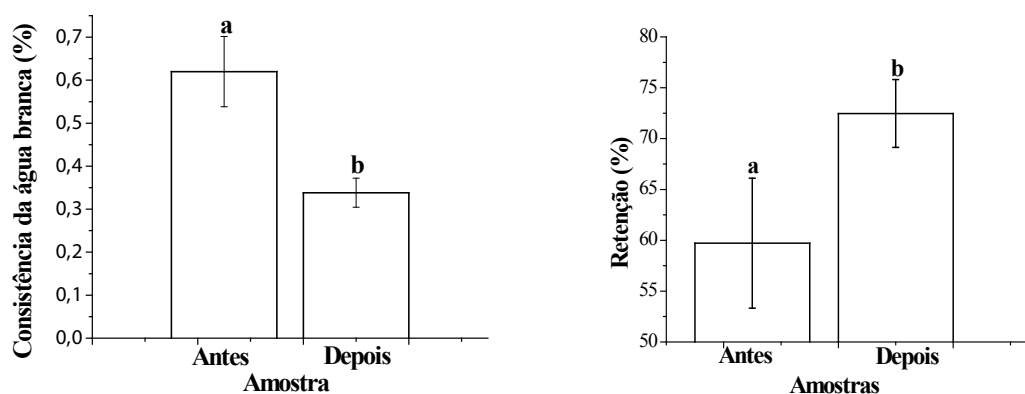


Figura 4. A - Consistência de fibras da água branca sem aplicação do agente de secagem e com aplicação do agente de secagem. B - Retenção de fibras na mesa plana sem e com aplicação do agente de secagem. Média com letras diferentes nas barras diferem pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

A consistência de água branca sem a aplicação do produto foi de $0,552\% \pm 0,034\%$ e para as amostras com a aplicação $0,338\% \pm 0,081\%$, (Figura 4 A). Através da análise estatística observa-se que os valores são diferentes ($p = 0,0002$) e apontam para uma redução de aproximadamente 38,77% de perdas de fibras no processo. Considerando que parte da água branca é reaproveitada no processo e parte é enviada para a estação de tratamento de efluentes, com esta redução haverá também uma redução na quantidade de lodo produzida na E.T.E.

A água branca representa as perdas na mesa plana, na qual uma quantidade de fibras curtas não é aproveitada para a formação do papel. Assim realizando-se as duas análises citadas anteriormente, é possível calcular a retenção de fibras, que representa o grau de aproveitamento da matéria-prima (CHERUBIN, 2013; PELISSER; SCAPINELLO; PERRET, 2014).

A retenção de cada um dos seus componentes será crítica para as propriedades e qualidade da folha de papel, assim como para o atendimento de requisitos ambientais e de custos, além de demonstrar a eficiência do processo de produção do papel, avaliado em relação ao total de fibras que entram no sistema e o percentual de fibras retidas na tela formadora (VIANA, 2015). As amostras coletadas antes da aplicação do agente de

secagem apresentaram como resultado de retenção de fibras na mesa plana $59,72\% \pm 6,39\%$, e após a aplicação do agente de secagem as amostras apresentaram a porcentagem de retenção de $72,45\% \pm 3,33\%$. Através da análise estatística, verificou-se que esses valores diferem significativamente ($p = 0,0015$) (Figura 4 B). Isto significa que o processo se tornou mais eficiente, com um aumento de aproveitamento das fibras de $21,32\%$. Segundo Viana (2015) trata-se de um dos mais importantes parâmetros de operação e controle da parte úmida do processo de fabricação de papel e está associada a mecanismos de natureza química, mecânica ou combinação dos dois mecanismos. Enquanto os materiais dissolvidos na suspensão são retidos por adsorção ou através da formação de ligações químicas aos sólidos suspensos, estes últimos são retidos mediante um processo de filtração durante o processo de formação da folha úmida de papel. Tal processo ocorrerá independentemente de forças de atração ou de repulsão entre as partículas, desta forma, pode-se inferir que possivelmente a aplicação do agente de secagem aumentou o número de interações química entre as moléculas.

3.2.2 CONSUMO DE VAPOR E LENHA

A adição do agente de secagem aumenta o desague na mesa plana e a retenção das fibras no processo e desta forma o papel entra no processo de secagem com uma umidade menor, quando comparada a umidade do papel sem o agente de secagem, o que irá gerar uma economia de vapor e conseqüentemente de lenha. A Figura 5 A e B representa os resultados obtidos sem a adição do agente de secagem e com a adição do agente de secagem para os padrões 172 g m^{-2} e 188 g m^{-2} .

O consumo de vapor (kg t^{-1}) é proporcional ao tipo de papel (gramatura) que está sendo produzido, para o papel de 172 g m^{-2} utilizou-se $2.036,31 \text{ kg t}^{-1} \pm 277 \text{ kg t}^{-1}$ e após a aplicação do agente de secagem foi utilizado $1.718,65 \text{ kg t}^{-1} \pm 165 \text{ kg t}^{-1}$. Pode-se afirmar que estes dados são estatisticamente diferentes ($p = 0,0018$) e é adequado para o processo, pois foi possível produzir papel da mesma gramatura com uma vazão de vapor menor, gerando uma economia de vapor de aproximadamente $15,60\%$.

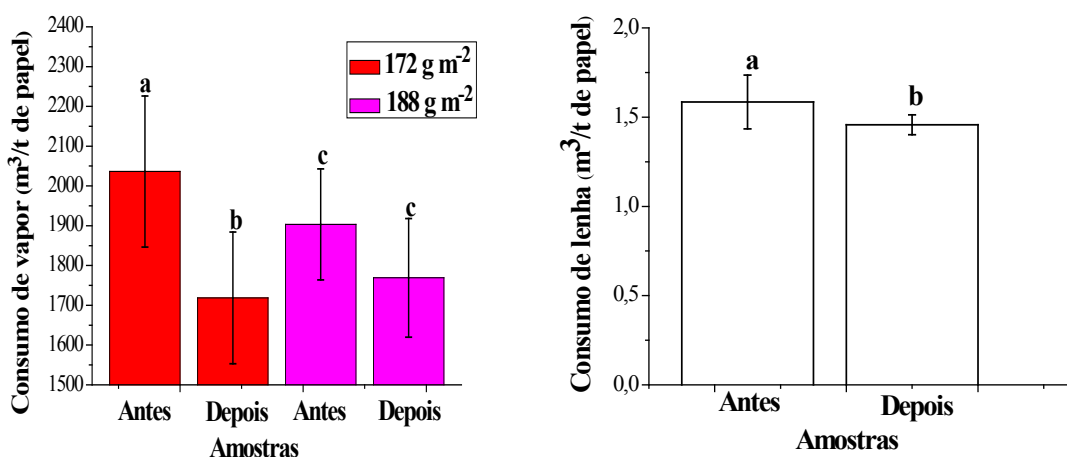


Figura 5. A Consumo de vapor para os papéis com gramatura de 172 g m^{-2} e

188 g m⁻² sem e com aplicação do agente de secagem. B: Consumo de lenha sem e com a aplicação do agente de secagem. Média com letras diferentes nas barras diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Já para o papel de 188 g m⁻², sem adição do agente de secagem, o consumo de vapor foi 1.903,36 kg t⁻¹ ± 139 kg t⁻¹ e após a aplicação do agente de secagem foi utilizado 1.768,98 kg t⁻¹ ± 149 kg t⁻¹. A análise estatística mostrou que não houve mudanças significativas no consumo de vapor com a sem a aplicação do agente de secagem para o padrão 188 g m⁻², no entanto, o consumo se mantém, ou seja, não causou variações no processo. O consumo de vapor é afetado por muitas variáveis, como as condições climáticas, a largura e espessura do papel, desta forma para se ter uma maior certeza sobre a economia de vapor, foi realizada a análise do consumo de lenha para produção de papel 172 g m⁻² e 188 g m⁻² sem a adição do agente de secagem e com a adição do agente de secagem (Figura 5 B).

Através da Figura 5 B é possível observar que houve uma redução no consumo de lenha utilizado para produção do papel 172 g m⁻² e 188 g m⁻² durante os ensaios, comprovando a economia de vapor. Antes da aplicação do agente de secagem o consumo médio de lenha (m³ t⁻¹ de papel) era de 1,666 ± 0,085 m³ t⁻¹ e após a aplicação do agente de secagem o consumo médio de lenha passou para 1,457 ± 0,150 m³ t⁻¹, estes resultados comprovam que realmente a economia de vapor e conseqüentemente de lenha de 12,54% aproximadamente, reduzindo os custos de produção.

Todos os benefícios observados nos ensaios anteriores só serão realmente válidos se a qualidade do papel produzido for mantida ou melhorada, desta forma analisou-se o teor de umidade do papel produzido, a gramatura e espessura dos padrões 172 g m⁻², 188 g m⁻² e 210 g m⁻², conforme as Figuras 6 A e B.

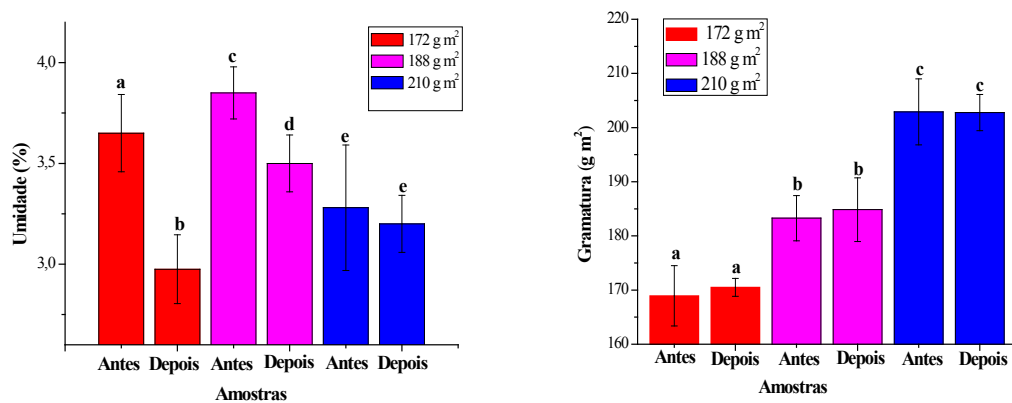


Figura 6. A- Umidade por tipo de papel antes e após a aplicação do agente de secagem. B - Espessura das amostras antes e depois da aplicação do agente de secagem. Média com letras diferentes nas barras diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

A umidade é um fator muito importante, cujos valores de umidade acima de 3,8% comprometem a etapa posterior de produção de papel cartão que consiste na acoplagem de várias bobinas para formação do papel cartão. Os valores da umidade

após a etapa de secagem para o papel de 172 g m⁻² antes da aplicação do agente de secagem foram de 3,65% ± 0,19% e após a aplicação do agente de secagem foi de 2,98% ± 0,17%. Para o papel de 188 g m⁻² os valores da umidade após a etapa de secagem foram de 3,85% ± 0,13% e 3,50% ± 0,14%, para o papel sem e com da aplicação do agente de secagem, respectivamente. Para o papel de padrão 210 g m⁻², as análises de umidade revelaram um teor de 3,15 ± 0,13% e 3,15 ± 0,10% para sem e com a aplicação do agente de secagem, respectivamente (Figura 6 A).

Para o parâmetro umidade, valores ótimos ficam entre 2,5% e 3,8%. Para valores abaixo de 2,5%, a qualidade do papel é comprometida, pois o mesmo fica excessivamente seco, prejudicando o processo de acoplagem das bobinas, o mesmo acontece para valores acima de 3,8% (CHERUBIN et al., 2013).

A gramatura deve manter-se igual, ou reduzir, pois como o produto final é vendido em unidades, quanto menor for a gramatura e maior for a espessura, menos matéria-prima será necessária para a fabricação. Conforme Figura 8 B, a amostra para o padrão 172 g m⁻², teve um valor médio de gramatura antes da aplicação do agente de secagem de 168,93 g m⁻² ± 5,57 g m⁻² e após a aplicação do agente de secagem a gramatura obtida foi de 170,50 g m⁻² ± 1,65 g m⁻², os resultados encontrados não diferem estatisticamente, logo a qualidade do papel foi mantida com a aplicação do agente de secagem.

Para o padrão 188 g m⁻², a gramatura sem a adição do agente de secagem era 183,27 ± 4,19 g m⁻² e com a aplicação do agente de secagem passou a ser 184,85 ± 5,88 g m⁻², os resultados não diferem estatisticamente, logo a qualidade do papel foi mantido. Para o padrão 210 g m⁻², o resultado para o parâmetro gramatura sem a aplicação do agente de secagem foram 202,91 ± 6,09 g m⁻² e 202,77 ± 3,33 g m⁻², os resultados são estatisticamente iguais, logo a qualidade também foi mantida para este padrão.

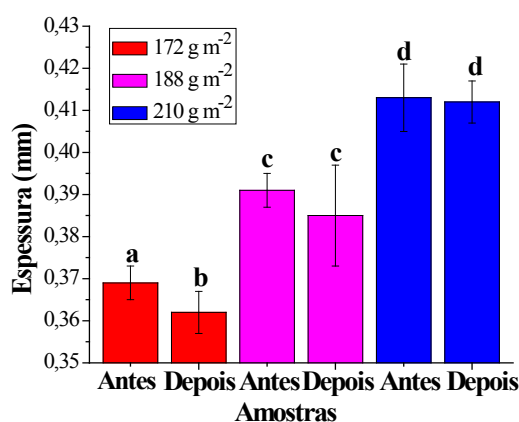


Figura 7. Espessura das amostras sem e com a aplicação do agente de secagem. Média com letras diferentes nas barras diferem pelo teste de Tukey (P<0,05).

Observando-se a Figura 7, para o padrão de 172 g m⁻² a espessura deve ser

de 0,37 mm, observa-se que a espessura sem a aplicação do agente de secagem era de 0,369 mm \pm 0,004 mm e após a aplicação do agente de secagem o resultado obtido foi de 0,362 mm \pm 0,005 mm, porém ambos os resultados estão próximos de 0,37 mm. Já para o padrão 188 g m⁻² a espessura deve ser de 0,39 mm, sem a adição do agente de secagem a espessura era de 0,391 \pm 0,004 mm e com a aplicação do agente de secagem foi de 0,385 \pm 0,012 mm. Estes valores são estatisticamente iguais (Figura 10), logo para o padrão 188 g m⁻², a qualidade foi mantida nos dois parâmetros (gramatura e espessura).

Para o padrão de 210 g m⁻², a espessura deve ser de 0,41 mm. Os ensaios realizados sem a adição do agente de secagem foram de 0,413 \pm 0,008 mm e após a aplicação do agente de secagem passou para 0,412 \pm 0,005 mm, sendo estatisticamente iguais, logo, a aplicação do agente de secagem manteve a qualidade do papel produzido.

4 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

Durante a aplicação do agente de secagem foi possível observar várias melhorias no processo e no desempenho da máquina de papel. Na consistência da caixa de entrada houve uma redução de 11,17% em relação aos ensaios sem a aplicação do agente de secagem, melhorando a formação da folha de papel. Na água branca, a perda de fibras para o processo foi reduzida em 38,77%, melhorando o aproveitamento das fibras e economia de matéria-prima no processo. A retenção foi aumentada em 21,32%, beneficiando a estação de tratamento de efluentes, pois uma quantidade menor de fibras passou a ser encaminhada para lá, gerando uma economia de produtos químicos necessários para o tratamento dos efluentes.

Em relação à quantidade de insumos químicos, foi possível reduzir de sete para três insumos aplicados na produção de papel cartão. Isto acaba por tornar o processo mais eficiente reduzindo os custos para controle, transporte, cotação e compra. Ainda, todos estes ganhos foram alcançados com a manutenção da qualidade do papel produzido. A gramatura foi mantida em todos os padrões analisados (172, 188 e 210 g m⁻²) e a espessura foi mantida para os padrões 188 e 210 g m⁻². A umidade foi reduzida em todos os padrões analisados, além de ter gerado uma economia de vapor e lenha. O teste Cobb comprovou que o agente de colagem não exercia influência sobre o papel produzido, desta forma foi eliminado do processo.

REFERÊNCIAS

BHATNAGAR, A.; MINOCHA, A. K.; JEON, B. H.; PARK, J. M.; LEE, G. Adsorption of orange G dye on paper mill sludge: equilibrium and kinetic modeling. **Fresenius Environmental Bulletin**, v. 16, p. 99-103, 2007.

BRASIL – Recursos Hídricos e a economia Verde – Setor Privado, Disponível em: < <http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-19.pdf> >. Acesso em: out. 2014 b.

BRASIL, Fundação Brasileira de Desenvolvimento Sustentável, Disponível em: <http://www.orcamentofederal.gov.br/eficiencia-do-gasto/PES_versao_FINAL_Agua_Pape_%20e_Copo.pdf>. Acesso em: out. 2012.

_____. **NBR 14003**: Pastas celulósicas - Determinação da consistência, 2003.

_____. **NBR 15483**: Aparas de papel e papelão ondulado – Classificação, 2009.

_____. **NBR 535**: Papel e cartão - Determinação da capacidade de absorção de água – Método Cobb, 2011.

_____. **NBR 536**: Papel e cartão - Determinação da gramatura, 2002.

_____. **NBR 10664**: Águas – Determinação de resíduos sólidos, Rio de Janeiro, 1989.

CHEN, P. C.; CHIU, M. C.; HWONG-WEN, M. Measuring the reduction limit of repeated recycling e a case study of the paper flow system. **Journal of Cleaner Production**, v. 132, p. 98-107, 2016.

CHERUBIN, M.J.; D'ALMEIDA, M. L. O.; KOGA, MARIZA, E. T.; FERREIRA, D. C.; PIGOZZO, R. J. B.; TOUCINI, R.; HAROLDO, M. R.; VIANA, E. F. Informações tecnológicas: celulose. São Paulo: SENAI, 2013.

FURLEY, T. H.; AQUINO, F. M.; SIQUEIRA, J. B. L. Principais questões ambientais causadas pelos efluentes de fábricas de celulose da América Latina. **O papel**, v. 79, n. 4, p. 70-77, 2018.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Resumo 2013**. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/pt/>>. Acesso em: ago. 2014.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Tipos de papéis**. Disponível em: <<http://iba.org/pt/produtos/papel>>. Acesso em: jan. 2018.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Energy Technology Transitions for Industry - Strategies for the Next Industrial Revolution**. Paris, France, 2009.

KONG L.; HASANBEIGI A.; PRICE L.; Assessment of emerging energy-efficiency technologies for the pulp and paper industry: A technical review, **Journal of Cleaner Production**, v. 122, p. 5-28, may. 2016.

MARTINEZ, M. E. M.; REIS, P. C. S.; ALVES, D.; WINTER, E. Mapeamento das tecnologias do setor de celulose e papel por meio de documentos patentários depositados no Brasil no período de 2009 a 2013. **O papel**, v. 79, n. 9, p. 73-79, 2018.

PELISSER, C. **Obtenção de alita e belita a partir do resíduo de uma indústria de reciclagem de papel**. Dissertação (Mestre em Ciências Ambientais) – Universidade Comunitária da Região de Chapecó, 2018.

PELISSER, C.; SCAPINELLO, J.; PERRET, E. **Redução do custo de produção de papel cartão através da aplicação de agente de secagem**. 2014. Monografia (conclusão do curso de engenharia química) - Universidade Comunitária da Região de Chapecó, 2014.

PIVNENKO, K.; ERIKSSON, E.; ASTRUP, T. F. Waste paper for recycling: Overview and identification of potentially critical substances. **Waste Management**, v. 45, p. 134-142, 2015.

POÇAS, M. F. A Embalagem e a Conservação de Produtos Alimentares, Disponível em: <<http://www2.esb.ucp.pt/twt/embalagem/MyFiles/biblioteca/publicacoes/sebenta/seb51.pdf>>, Acesso em: novembro

de 2014.

POKHREL, D.; VIRARAGHAVAN T. Treatment of pulp and paper mill wastewater - a review. *Science of the Total Environment*, v. 333, p. 37-58, 2004.

ROBERT, N. T. F. **Produção de Embalagem de Papel**. Rede de Tecnologia e Inovação do Rio de Janeiro, 2007.

SUZANO. **Papel e Celulose**. Disponível em: <<http://www.suzano.com.br/portal/suzano-papel-e-celulose/glossario.htm#a>>. Acesso em: set. 2014.

TOCZYLOWSKA-MAMIŃSKA, R. Limits and perspectives of pulp and paper industry wastewater treatment - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 78, p. 764-772, 2017.

WU, Q.; CUI, Y.; LI, Q.; SUN, J. Effective removal of heavy metals from industrial sludge with the aid of a biodegradable chelating ligand GLDA. *Journal of Hazardous Materials*, v. 283, p. 748-754, 2014.

ZHANG, X.; TANG, D.; JIANG G. Synthesis of zeolite NaA at room temperature: The effect of synthesis parameters on crystal size and its size distribution. *Advanced Powder Technology*, v. 24, p. 689-696, 2013.

SOBRE O ORGANIZADOR

João Dallamuta: Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Engenharia de Telecomunicações pela UFPR. MBA em Gestão pela FAE Business School, Mestre pela UEL. Trabalha com Gestão da Inovação, Empreendedorismo e Inteligência de Mercado.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-356-9

