

PHA 3001 – Engenharia e Meio Ambiente – Relatório 1 – 25/04/2017

Nome: Carlos Eduardo Guedes do Nascimento	NºUSP: 10342950
Gabriel Barbosa Coutinho Freire de Souza	10342817
Guilherme de Agrela Lopes	9833513
Julio Cesar de Souza Filho	9348769
Lucas Blunck Salazar Santos	9373740
Rafael Gribel de Paula Neves	10342932

RELATÓRIO 1 – ÁGUA NA INDÚSTRIA

1. Indústria de Papel e Celulose no Brasil e no Mundo

A invenção da escrita é um marco significativo na história da Humanidade. Inicialmente, escrevia-se em pedras ou argila. Aos poucos a espécie humana foi aperfeiçoando seus métodos. Às margens do Rio Nilo, no Egito, uma planta chamada papiro (em latim, *papyrus*) era extraída da região e transformada em folhas para a escrita.

Há um certo consenso entre os Historiadores em atribuir a um chinês a criação do papel. A partir daí, então, surgiu um novo mercado que não é possível, ainda, visualizar sua queda. Dessa forma, o que para alguns pode ser algo bastante simples, é, na verdade, um dos ramos industriais mais antigos do mundo.

A partir de certas pesquisas, descobriu-se que a melhor matéria-prima para a fabricação de papel seria a polpa de madeira de árvores que contém celulose (polímero característico das plantas, presente nas paredes celulares). Um gênero de plantas denominado eucalipto, originado na Oceania foi inserido ao processo produtivo, uma vez que possui rápido período de crescimento (cerca de 7 anos).

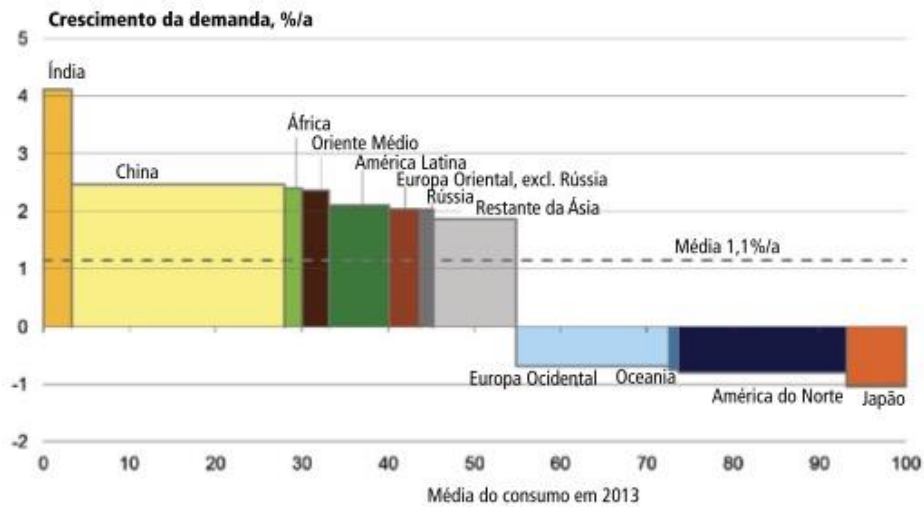
No final da década de 50, o então Presidente Juscelino Kubitschek concebeu seu Programa de Metas, cujo objetivo era estabelecer “um conjunto dinâmico e progressivo de obras e empreendimentos realizáveis”. (KUBITSCHKEK, 1958, p.9)

A meta 24 desse documento versa sobre a Indústria de Papel e Celulose, criando uma expectativa de produção anual de 261 mil toneladas de celulose.

Durante os governos militares, em 1966, foi sancionada a Lei 5.106, que dispunha sobre os incentivos fiscais concedidos a empreendimentos florestais. Tal medida gerou um aumento vertiginoso nas áreas de plantios florestais. Neste contexto surgiu a silvicultura no Brasil.

De acordo com o Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, as exportações de celulose de Janeiro a Março de 2017 respondem por 2,79% da pauta total de exportações do Brasil. O maior parceiro comercial do Ramo é a China, correspondendo por 43,97% das exportações neste mesmo período.

Figura 1 – Crescimento do consumo de papel e cartão no longo prazo por região



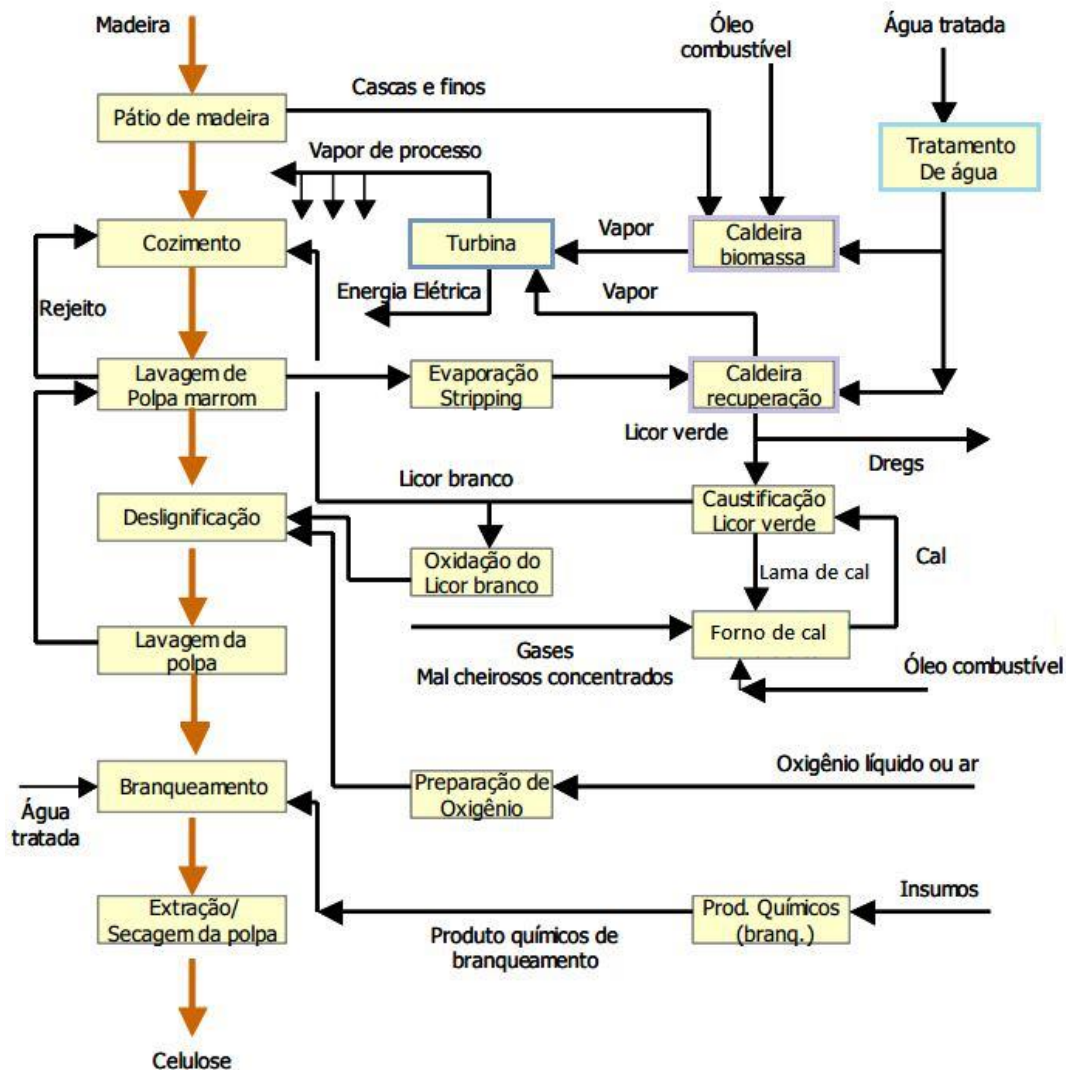
Fonte: Artigo científico: A indústria de papel e celulose no Brasil (2015)¹.

2. Processo de Produção de Papel e Celulose

O processo de produção de celulose é separado em várias etapas, variáveis de acordo com o processo utilizado e o produto final a ser obtido. A matéria-prima principal são as fibras de celulose, que, após ser mesclada com diferentes constituintes e após o processamento, se transformam no produto final desejado. A seguir segue um fluxograma que descreve o processo Kraft, o mais utilizado no Brasil.

¹ Disponível em: <http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_ABTCP_Panorama_Setorial.pdf>. Acesso em abr. 2017.

Figura 2 – Fluxograma do Processo Kraft



Fonte: PIOTTO (2003).

Descrição das etapas envolvidas no processo Kraft:

De acordo com CASTRO (2009), o processo de produção da celulose é baseado na transformação da madeira em material fibroso (pasta, polpa ou celulose industrial), incluindo as seguintes etapas:

- **Descascamento:** Tem por finalidade reduzir a quantidade de reagentes no processamento de madeira e facilitar a etapa de lavagem e peneiração;
- **Picagem:** Nesta etapa as toras são reduzidas à fragmentos, de modo a facilitar a exposição da madeira ao licor de cozimento, utilizado nos processos químicos. Os inúmeros fragmentos de madeira recebem o nome de cavacos.

Figura 3 - Cavacos



Fonte: Site Madegal².

- **Classificação:** Após a etapa da picagem, os cavacos são classificados quanto a suas em:
 - Cavacos com dimensões padrões: direcionados para o processamento;
 - Cavacos superdimensionados: retornam ao picador; e
 - Cavacos finos: são processados separadamente, ou então queimados na caldeira.
- **Cozimento:** Nesta etapa a madeira é cozida ou digerida em vasos de pressão denominados cozedores ou digestores. Neles são inseridos de forma contínua os cavacos e o licor, os quais atravessam zonas de temperaturas crescentes, até atingir a zona de cozimento, onde a temperatura é mantida constante. A duração desta etapa é determinada pelo tempo que os cavacos levam para atravessar a zona de cozimento, até serem descarregados continuamente do digestor.

² Disponível em: <<http://www.madegal.com.br/pg.php?id=5>>. Acesso em abr. 2017.

Figura 4 - Digestor utilizado no processo de produção da celulose



Fonte: CASTRO, 2009.

- **Controle do cozimento:** A finalidade desta etapa é controlar o grau de cozimento através de amostras do material e análise das mesmas em laboratório, de forma a estimar a quantidade de lignina presente na polpa de celulose;
- **Depuração:** No sistema de depuração as fibras (nós de madeira e pequenos palitos) são separadas do materiais estranhos. Essas fibras são transferidas para filtros que lavam as mesmas (filtros lavadores), de forma a separar todo as substâncias solúveis das fibras de celulose. Em seguida a celulose é direcionada para a etapa de branqueamento. O efluente proveniente da filtragem dessa etapa recebe o nome de licor negro, o qual é direcionado para o sistema de recuperação.
- **Recuperação do Licor:** Este processo consiste na queima do Licor Preto previamente concentrado, de modo que os reagentes químicos fundem-se, o que possibilita a sua recuperação. Esta etapa é muito importante pois está relacionada com a viabilidade econômica de todo o processo.

Figura 5 – Licor negro



Fonte: ERENO, 2012.

- **Branqueamento:** O objetivo desta etapa é obter uma celulose mais resistente, com propriedades que facilitem o controle de tingimento e impressão.

Fabricação do Papel:

Após o processo de Branqueamento, a pasta de celulose é misturada com matérias primas não fibrosas, de acordo com a finalidade a que o papel se destina. De acordo com HAMMAN (2003) apud AMARAL (2008), os principais componentes dos papéis são:

- Fibras;
- Materiais de enchimento ou cargas;
- Pigmentos; e
- Aditivos químicos.

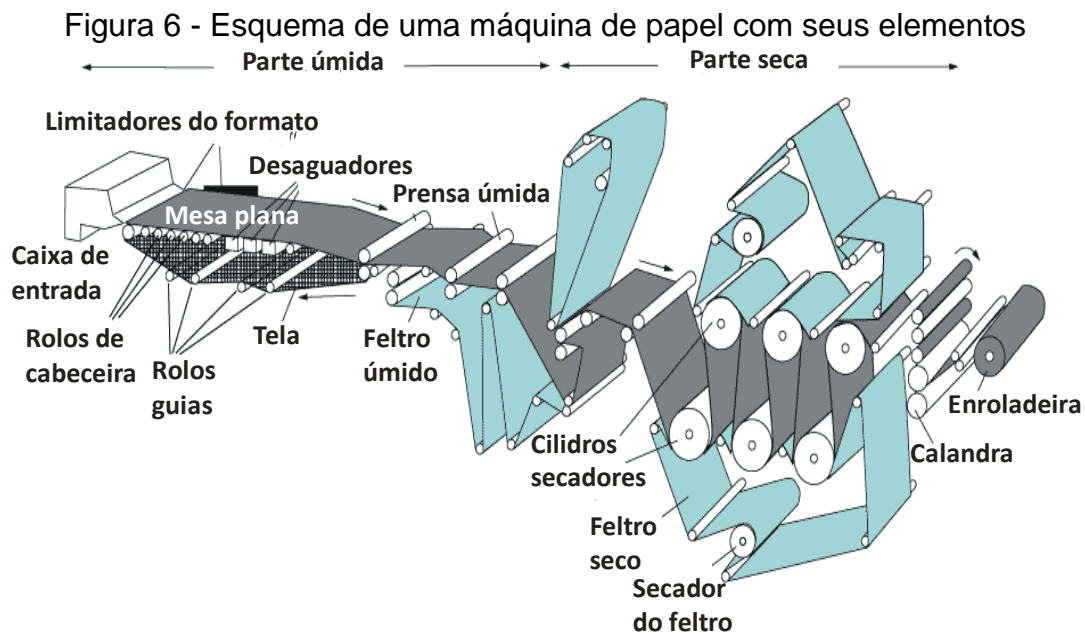
Quando a planta de produção de celulose é integrada com a máquina de papel, a pasta de celulose é armazenada em tanques, na forma de suspensão, que alimentam diretamente a etapa seguinte. Quando as plantas não são integradas, a celulose é fornecida na forma de fardos, exigindo um

tratamento prévio antes de prosseguir no processo. Este tratamento é dividido em quatro etapas:

- **Desagregação:** Nesta etapa as folhas (tabletes) são desmanchadas;
- **Refinação:** Tem por finalidade aumentar a capacidade de ligação e a flexibilidade das fibras;
- **Dosagem** dos aditivos para enchimento e produtos químicos; e
- **Depuração:** Nesta etapa são retiradas as substâncias não desejáveis.

Após o tratamento a celulose está pronta para ser enviada à máquina de papel, que, de acordo com (SENAI, 1988, v.2) apud AMARAL (2008), é constituída pelos seguintes elementos:

- **Caixa de entrada:** Responsável pela distribuição da suspensão de fibras sobre a tela formadora, de modo a uniformizar a suspensão, evitando a desorganização das fibras (formação de flocos);
- **Mesa plana:** Neste elemento ocorre a formação da folha. Vale ressaltar que nesse processo é utilizada água, a qual passa através da superfície onde estão depositadas as fibras. Esta água, rica em partículas de fibras e cargas recebe o nome de água branca.
- **Prensagem:** Este elemento é responsável pela retirada de água da folha de papel formada a etapa anterior. Ao sair da mesa plana, a folha de papel possui aproximadamente 80 a 85% de sua composição na forma de água, a qual é reduzida para 50 a 60% ao final deste processo.
- **Secagem:** Nesta etapa ocorre o final da secagem do papel e a cura das resinas adicionais.
- **Calandra:** Este elemento é responsável por acertar a espessura e aspereza do papel.
- **Enrolamento ou corte:** Nesta etapa o papel é enrolado (bobinas) ou cortado.



Fonte: Adaptado e traduzido de Wikipédia³.

3. Utilização da água no processo de produção

De acordo com EUROPEAN UNION(2001) apud AMARAL(2008), o consumo de água nas indústrias de papel na Europa varia de 15000 e 100000 m³/t.

No Brasil, em pesquisa feita pelo IPEA verificou-se o consumo de 20000 a 40000m³ de água por tonelada de celulose produzida, sendo os menores consumos na faixa de 22000m³ por tonelada. Além disso, em média 85% da água usada é descartada como efluente. Faz-se necessário dizer que a produção de celulose e papel nem sempre são realizadas pela mesma empresa.

Como exemplo, podemos ver na tabela abaixo os mais diversos usos da água durante a produção. É importante dizer que em alguns momentos a água é usada diretamente na produção e em outros casos, de maneira indireta, como no campo LA (lavagem de equipamentos e linhas).

³ Disponível em: <http://de.wikipedia.org/wiki/Bild:Langsieb_masch1_sw.gif>. Acesso em abr. 2017.

Tabela 1: Usos de água no decorrer da produção de celulose e papel

SETOR	USOS													
	CH	RE	AR	SE	REF	VA	PQ	LA	CT	DI	BV	CC	AQ	AM
Pátio de Madeira	x	x		x				x						
Cozimento, Lavagem, Depuração e Designificação		x	x	x	x	x		x/o	x	o/oo			x	x
Branqueamento				x	x	x	x	x/#		oo/x/#			x	x
Evaporação				x	x	x		x						x
Caldeira de Recuperação		x		x		x		x						
Caustificação e Forno de Cal		x		x		x		x						x
Caldeiras de Força e Compressores			x	x				x						
Tratamento interno de água								x						
Planta de Químicos				x		x	x						x	
Máquinas de Papel				x		x	x	x/oo		oo	x		x	x
Central de Rejeitos										x				
ETA e ETE								x						

LEGENDA:

Usos:

x Água fresca
o Condensados
oo Água branca
Filtrado

CH – chuveiros; AR – água de reação; SE – selagem; REF – refrigeração de equipamentos; VA – produção de vapor; PQ – preparo de químicos; LA – lavagem de equipamentos e linhas; CT – controle de temperatura; DI – diluição; BV – bombas de vácuo; CC – controle de consistência; AQ – produção de água quente; AM – produção de água morna; RE – resfriamento de unidades hidráulicas e outros

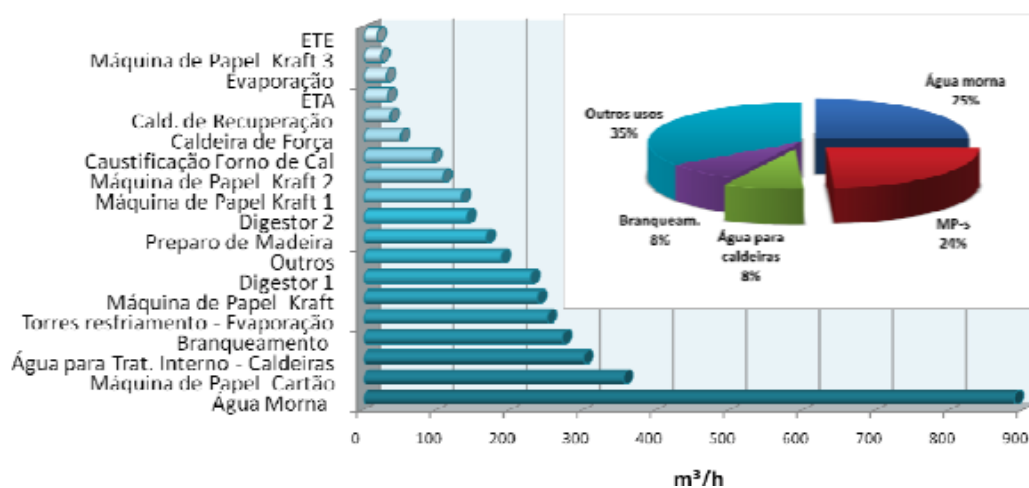
Fonte: AMARAL (2006) apud AMARAL(2008).

A primeira etapa da atividade de produção de celulose após o eucalipto ser considerado pronto para extração é o preparo da madeira. No próprio local de plantio, separa-se o tronco da casca e das folhas que ficam no próprio solo para o próximo plantio. Os tronco são, então, enviados para o pátio de madeira. Neste instante a água passa a participar diretamente da produção da celulose.

Na tabela vemos 4 diferentes classificações para a água, são elas:

- **Água fresca:** é a água coletada pela empresa, através da captação de rios;
- **Condensados:** vapor condensado retirado dos cilindros secadores das máquinas, bombeado para as caldeiras;
- **Água branca:** é um circuito de água já utilizado no sistema e recolhido no poço da tela e no rolo de sucção da mesa plana da máquina, que contém fibras e materiais sólidos;
- **Filtrado:** parcela do fluido que é filtrado durante o processo.

Figura 7 - Gráficos mostrando onde e quanto de água é usado em cada setor



Fonte: AMARAL(2008).

4. Métodos e práticas de aumento de eficiência no uso de água

No Brasil já existem empresas que, diante da nova realidade acerca da consciência ambiental, reduziram drasticamente o consumo de água. Isso pode ser comprovado com números: nos anos 1960, por exemplo, o consumo específico dos processos de celulose e papel apresentava valores em torno 200m³/tsa, ao passo que, atualmente, existem novos empreendimentos que apresentam consumo específico em torno de 20m³/tsa.

Como possíveis sugestões para uma maior eficiência no uso da água podemos citar as medidas tomadas por empresas que conseguiram essa redução.

O ponto principal a ser considerado (que proporciona as maiores economias) é evitar perdas desnecessárias ao longo do processo e corrigi-

las – como vazamentos, vazão maior do que a necessária, tanques que transbordam, etc.

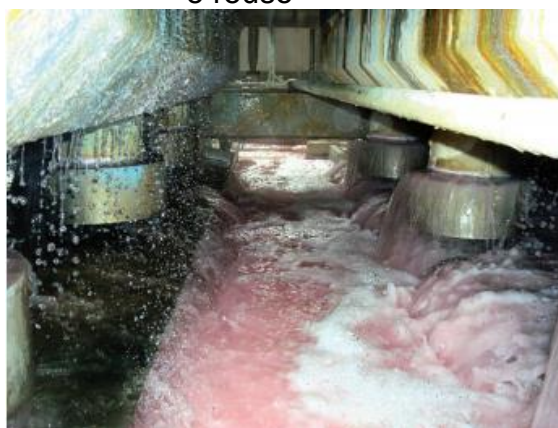
As empresas de celulose têm outorga para captar 4,5 m³/s dos quais uma considerável parcela (próxima de 2 m³/s) é de água de refrigeração em circuito aberto. Logo, uma atitude muito eficiente é a adoção de um circuito fechado de água de resfriamento, ou seja, a água que entrará na fábrica para processo de resfriamento, e o efluente gerado, vão para tratamento e serão reutilizados para novos resfriamentos, não havendo mais circuito aberto de resfriamento.

Outra medida que gera economia considerável é a modernização dos equipamentos utilizados. Equipamentos mais modernos conseguem com uma menor quantidade de água realizar o mesmo serviço que outros mais antigos – tal feito é atingido por aumento da pressão, maior precisão na utilização da água e etc.

Uma outra atitude citada por empresas com alta eficiência hídrica foi a instalação de prensas nos estágios de lavagem, permitindo redução no consumo de água em comparação aos filtros e difusores normalmente utilizados.

Olhando o problema de uma forma mais geral, pode-se propor uma maior intervenção do governo como uma solução possível, uma vez que atualmente não há um limite de captação de água total por empresas de celulose. Uma vez estabelecido, tal limite deverá provocar uma busca maior por eficiência no consumo de água por parte de empresas para se adequar à nova realidade.

Figura 8 - Água drenada de papel sendo encaminhada para tratamento e reuso



Fonte: Revista *O Papel*⁴.

5. Conclusão

A indústria de celulose e papel é uma das mais antigas do mundo, visto a importância do papel no cotidiano do ser humano. No Brasil, este

⁴ Disponível em: <http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1431694055_a5bf8c6f7cb9289b18a5e323b7d253d7_80025078.pdf>. Acesso em abr. 2017.

setor industrial começou a ter relevância a partir da década de 1950, quando o governo JK estabeleceu metas para a produção de papel e celulose e, durante o regime militar, foram concedidos incentivos fiscais a empreendimentos florestais.

No processo de produção de celulose são realizadas diversas etapas que têm como objetivo final a transformação da madeira em um material fibroso, principalmente pasta, polpa ou celulose industrial. Após o branqueamento, última etapa no processamento da celulose, são adicionadas diferentes matérias primas não fibrosas, que variam de acordo com a finalidade do papel que está se produzindo.

A água tem papel fundamental na produção de celulose e papel, sendo que dados recentes apontam gastos médios de 20000m³ a 40000m³ de água por tonelada de celulose produzida no Brasil. Ela é utilizada em diversas etapas da produção, direta ou indiretamente, como no cozimento, lavagem, depuração, deslignificação e branqueamento, em que a água é usada diretamente na produção, ao mesmo tempo que também há uso indireto da água devido a necessidade de se realizar lavagem de equipamentos e linhas.

Uma maior consciência ambiental trouxe a necessidade em se reduzir o consumo de água nesse setor industrial. Uma das medidas mais eficazes para diminuir a quantidade de água gasta é evitar perdas desnecessárias ao longo do processo, causadas, por exemplo, por vazamentos. Outra ação que reduz o desperdício é, feito o devido tratamento, o reuso da água utilizada no processo de resfriamento. Além disso, o uso de equipamentos mais modernos também contribui para o menor consumo de água, uma vez que eles operam sem a necessidade de grandes volumes de água. Também é possível haver intervenção governamental na indústria de celulose e papel, impondo limites de captação de água para as empresas e forçando-as a tomar atitudes que visem a redução do consumo.

Por fim, pode-se concluir que recursos hídricos têm importância fundamental em diversas etapas da fabricação de celulose e papel, e que a quantidade de água gasta proporcional ao total de celulose produzida é elevada. Este setor industrial tem grande peso no cenário internacional, o que torna necessário tomar medidas que visem a redução do uso hídrico nas etapas produtivas.

6. Referências Bibliográficas

AMARAL, K.J. **Uso da água em indústria de papel e celulose sob a ótica da gestão de recursos hídricos**. Tese de doutorado. Programa de pós-graduação em Engenharia Civil. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <http://wwwp.coc.ufrj.br/teses/doutorado/rh/2008/Teses/AMARAL_KH_08_t_D_int.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2017.

CASTRO, Heizir F. de. **Processos Químicos Industriais II**. Apostila 4. INDÚSTRIA ALCOOLEIRA. EEL, USP. 2009. Disponível em: <http://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/5840855/LOQ4023/Apostila4Pap_elecelulose2009.pdf>. Acesso em 23 abr. 2017.

DEL GRANDE, Maria Helena. **Racionalização do uso de água na indústria de celulose: o caso Bahia pulp**. 156 f.. Tese (Doutorado). Bahia: Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2004. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/dissertacoes/dis_maria_h_del_grande.pdf>. Acesso em 24 abr. 2017.

FORTUNATTO, Ana Carla. **Alternativas para o aproveitamento do licor negro da indústria de papel e celulose**. São Paulo: IEE-USP, 2014. 81f. . Monografia (Curso de Especialização em Gestão Ambiental e Negócios no Setor Energético) - Instituto de Energia e Ambiente da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014. Disponível em: <<http://200.144.182.130/iee/sites/default/files/Ana%20Carla%20Fortunatto.pdf>> . Acesso em 23 abr. 2017.

Revista *O Papel*. In: MARTIN, Caroline. **Indústria de celulose e papel registra contínuas reduções de consumo de água**. São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www.revistaopapel.org.br/noticia-anexos/1431694055_a5bf8c6f7cb9289b18a5e323b7d253d7_80025078.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2017.

PIOTTO, Zeila Chittolina. **Eco-eficiência na indústria de celulose e papel**. 357 f.. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2003. Disponível em: <http://www.restaurabr.org/siterestaurabr/CICRAD2011/M3%20Aulas/tese_zeila_c_piotto.pdf>. Acesso em 23 abr. 2017.