

# Processos **Produtivos**

---



*Aprendiz*  
**FORMARE**

Coordenação do Programa Formare	<b>Beth Callia</b>
Coordenação Pedagógica	<b>Zita Porto Pimentel</b>
Coordenação da Área Técnica – UTFPR	<b>Alfredo Vrubel</b>
Elaboração e edição	<b>VERIS</b> Educacional S.A. Rua Vergueiro, 1759 2º andar 04101 000 São Paulo SP www.veris.com.br
Coordenação Geral	<b>Marcia Aparecida Juremeira Conrado</b> <b>Rosiane Aparecida Marinho Botelho</b>
Coordenação Técnica deste caderno	<b>Francisco Carlos D’Emilio Borges</b>
Revisão Pedagógica	<b>Maria Rosa Ana Silva</b>
Autoria deste caderno	<b>Guaraci Lima de Moraes</b> <b>Robson da Silva Lopes</b>
Produção Gráfica	<b>Amadeu dos Santos</b> <b>Eliza Okubo</b> <b>Aldine Fernandes Rosa</b>
Apoio	<b>MEC</b> – Ministério da Educação <b>FNDE</b> – Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação <b>PROEP</b> – Programa de Expansão da Educação Profissional

---

M827t    Moraes, Guaraci Lima de

Tecnologia de Produção em Processos Contínuos II: Projeto Formare / Guaraci Lima de Moraes; Robson da Silva Lopes – São Paulo: Veris Educacional, 2007. 160p. :il. Color.:30cm. (Fundação IOCHPE / Cadernos Formare)

Inclui exercícios e glossário  
Bibliografia

ISBN 978-85-60890-75-0

1. Ensino Profissional 2. Central de Utilidades 3. Tecnologia do papel 4. Equipamentos utilizados em processo de produção contínua 5. O papel do vapor de água I. Lopes, Robson da Silva II. Projeto Formare III. Título IV. Série

CDD-371.426

---

Iniciativa

F U N D A Ç Ã O  
  
**IOCHPE**

Realização

  
**FORMARE**

**Fundação IOCHPE**

Al. Tietê, 618 casa 3, Cep 01417-020, São Paulo, SP  
www.formare.org.br

## Sobre o caderno

Você, educador voluntário, sabe que boa parte da *performance* dos jovens no mundo do trabalho dependerá das aprendizagens adquiridas no espaço de formação do Curso em desenvolvimento em sua empresa no âmbito do Projeto Formare.

Por isso, os conhecimentos a serem construídos foram organizados em etapas, investindo na transformação dos jovens estudantes em futuros trabalhadores qualificados para o desempenho profissional.

Antes de esse material estar em suas mãos, houve a definição de uma proposta pedagógica, que traçou um perfil de trabalhador a formar, depois o delineamento de um plano de curso, que construiu uma grade curricular, destacou conteúdos e competências que precisam ser desenvolvidos para viabilizar o alcance dos objetivos estabelecidos e então foram desenhados planos de ensino, com vistas a assegurar a eficácia da formação desejada.

À medida que começar a trabalhar com o Caderno, perceberá que todos os encontros contêm a pressuposição de que você domina o conteúdo e que está recebendo sugestões quanto ao modo de fazer para tornar suas aulas atraentes e produtoras de aprendizagens significativas. O Caderno pretende valorizar seu trabalho voluntário, mas não ignora que o conhecimento será construído a partir das condições do grupo de jovens e de sua disposição para ensinar. Embora cada aula apresente um roteiro e simplifique a sua tarefa, é impossível prescindir de algum planejamento prévio. É importante que as sugestões não sejam vistas como uma camisa de força, mas como possibilidade, entre inúmeras outras que você e os jovens do curso poderão descobrir, de favorecer a prática pedagógica.

O Caderno tem a finalidade de oferecer uma direção em sua caminhada de orientador da construção dos conhecimentos dos jovens, prevendo objetivos, conteúdos e procedimentos das aulas que compõem cada capítulo de estudo. Ele trata também de assuntos aparentemente miúdos, como a apresentação das tarefas, a duração de cada atividade, os materiais que você deverá ter à mão ao adotar a atividade sugerida, as imagens e os textos de apoio que poderá utilizar.

No seu conjunto, propõe um jeito de fazer, mas também poderá apresentar outras possibilidades e caminhos para dar conta das mesmas questões, com vistas a encorajá-lo a buscar alternativas melhor adequadas à natureza da turma.

Como foi pensado a partir do planejamento dos cursos (os objetivos gerais de formação profissional, as competências a serem desenvolvidas) e dos planos de ensino disciplinares (a definição do que vai ser ensinado, em que seqüência e intensidade e os modos de avaliação), o Caderno pretende auxiliá-lo a realizar um plano de aula coerente com a concepção do Curso, preocupado em investir na formação de futuros trabalhadores habilitados ao exercício profissional.

O Caderno considera a divisão em capítulo apresentada no Plano de Ensino e o tempo de duração da disciplina, bem como a etapa do Curso em que ela está inserida. Com esta idéia do todo, sugere uma possibilidade de divisão do tempo, considerando uma aula de 50 minutos.

Também, há avaliações previstas, reunindo capítulos em blocos de conhecimentos e oferecendo oportunidade de síntese do aprendido. É preciso não esquecer, no entanto, que a aprendizagem é avaliada durante o processo, através da observação e do diálogo em sala de aula. A avaliação formal, prevista nos cadernos, permite a descrição quantitativa do desempenho dos jovens e também do educador na medida em que o “erro”, muitas vezes, é indício de falhas anteriores que não podem ser ignoradas no processo de ensinar e aprender.

Recomendamos que, ao final de cada aula ministrada, você faça um breve registro reflexivo, anotando o que funcionou e o que precisou ser reformulado, se todos os conteúdos foram desenvolvidos satisfatoriamente ou se foi necessário retomar algum, bem como outras sugestões que possam levar à melhoria da prática de formação profissional e assegurar o desenvolvimento do trabalho com aprendizagens significativas para os jovens. Esta também poderá ser uma oportunidade de você rever sua prática como educador voluntário e, simultaneamente, colaborar para a permanente qualificação dos Cadernos. É um desafio-convite que lhe dirigimos, ao mesmo tempo em que o convidamos a ser co-autor da prática que aí vai sugerida.

## Características do Caderno

Cada capítulo ou unidade possui algumas partes fundamentais, assim distribuídas:

**Página de apresentação do capítulo:** Apresenta uma síntese do assunto e os objetivos a atingir, destacando o que os jovens devem saber e o que se espera que saibam fazer depois das aulas. Em síntese, focaliza a relevância do assunto dentro da área de conhecimento tratada e apresenta a relação dos saberes, das competências e habilidades que os jovens desenvolverão com o estudo da unidade.

A seguir, as aulas são apresentadas através de um breve resumo dos conhecimentos a serem desenvolvidos em cada aula. Sua intenção é indicar aos educadores o âmbito de aprofundamento da questão, sinalizando conhecimentos prévios e a contextualização necessária para o tratamento das questões da aula. No interior de cada aula aparece a seqüência de atividades, marcadas pela utilização dos ícones que seguem:



Indica quais serão os **objetivos** do tópico a ser abordado, bem como o objetivo de cada aula.



Exploração de **links na internet** – Remete a pesquisas em *sites* onde educador e aluno poderão buscar textos e/ou atividades como reforço extraclasse ou não.



Apresenta **artigos relacionados** à temática do curso, podendo-se incluir sugestões de livros, revistas ou jornais, subsidiando, dessa maneira o desenvolvimento das atividades propostas. Permite ao educador explorar novas possibilidades de conteúdo. Se achar necessário, o educador poderá fornecer esse texto para o aluno reforçando, assim, o seu aprendizado.



Traz **sugestão de exercício ou atividade** para fechar uma aula para que o aluno possa exercitar a aplicação do conteúdo.



Traz **sugestão de avaliação extraclasse** podendo ser utilizada para fixação e integração de todos os conteúdos desenvolvidos.



Traz **sugestão de avaliação**, podendo ser apresentada ao final de um conjunto de aulas ou tópicos; valerão nota e terão prazo para serem entregues.



Indica, **passo a passo**, as atividades propostas para o educador. Apresenta as informações básicas, sugerindo uma forma de desenvolvê-las. Esta seção apresenta conceitos relativos ao tema tratado, imagens que têm a finalidade de se constituir em suporte para as explicações do educador (por esse motivo todas elas aparecem anexas num CD, para facilitar a impressão em lâmina ou a sua reprodução por recurso multimídia), exemplos das aplicações dos conteúdos, textos de apoio que podem ser multiplicados e entregues aos jovens, sugestões de desenvolvimento do conteúdo e atividades práticas, criadas para o estabelecimento de relações entre os saberes. No passo a passo, aparecem oportunidades de análise de dados, observação e descrição de objetos, classificação, formulação de hipóteses, registro de experiências, produção de relatórios e outras práticas que compõem a atitude científica perante o conhecimento.

---



Indica a **duração** prevista para a realização do estudo e das tarefas de cada passo. É importante que fique claro que esta é uma sugestão ideal, que abstrai quem é o sujeito ministrante da aula e quem são os sujeitos que aprendem, a rigor os que mais interessam nesse processo.

Quando foi definida, só levou em consideração o que era possível no momento: o conteúdo a ser desenvolvido, tendo em vista o número de aulas e o plano de ensino da disciplina. No entanto você juntamente com os jovens que compõem a sua turma têm liberdade para alterar o que foi sugerido, adaptar as sugestões para o seu contexto, com as necessidades, interesses, conhecimentos prévios e talentos especiais do seu grupo.



O **glossário** contém informações e esclarecimentos de conceitos e termos técnicos. Tem a finalidade de simplificar o trabalho de busca do educador e, ao mesmo tempo, incentivá-lo a orientar os jovens para a utilização de vocabulário apropriado referente aos diferentes aspectos da matéria estudada. Aparece ao lado na página em que é utilizado e é retomado ao final do Caderno, em ordem alfabética.



Remete para **exercícios** que objetivam a fixação dos conteúdos desenvolvidos. Não estão computados no tempo das aulas, e poderão servir como atividade de reforço extraclasse, como revisão de conteúdos ou mesmo como objeto de avaliação de conhecimentos.



**Notas** que apresentam informações suplementares relativas ao assunto que está sendo apresentado.



**Idéias** que objetivam motivar e sensibilizar o educador para outras possibilidades de explorar os conteúdos da unidade. Têm a preocupação de sinalizar que, de acordo com o grupo de jovens, outros modos de fazer podem ser alternativas consideradas para o desenvolvimento de um conteúdo.



Traz as **idéias-síntese** da unidade, que auxiliam na compreensão dos conceitos tratados, bem como informações novas relacionadas ao que se está estudando



Apresenta materiais em condições de serem produzidos e entregues aos jovens, tratados, no interior do caderno, como texto de apoio.

---

Em síntese, você educador voluntário precisa considerar que há algumas competências que precisam ser construídas durante o processo de ensino aprendizagem, tais como:

- conhecimento de conceitos e sua utilização;
- análise e interpretação de textos, gráficos, figuras e diagramas;
- transferência e aplicação de conhecimentos;
- articulação estrutura-função;
- interpretação de uma atividade experimental.

Em vista disso, o conteúdo dos Cadernos pretende favorecer:

- conhecimento de propriedade e de relações entre conceitos;
- aplicação do conhecimento dos conceitos e das relações entre eles;
- produção e demonstração de raciocínios demonstrativos;
- análise de gráficos;
- resolução de gráficos;
- identificação de dados e de evidências relativas a uma atividade experimental;
- conhecimento de propriedades e relações entre conceitos em uma situação nova.

Como você deve ter concluído, o Caderno é uma espécie de obra aberta, pois está sempre em condições de absorver sugestões, outros modos de fazer, articulando os educadores voluntários do Projeto Formare em uma rede que consolida a tecnologia educativa que o Projeto constitui.

Desejamos que você possa utilizá-lo da melhor forma possível e que tenha a oportunidade de refletir criticamente sobre ele, registrando sua colaboração e interagindo com os jovens de seu grupo a fim de investirmos todos em uma educação mais efetiva e na formação de profissionais mais competentes e atualizados para os desafios do mundo contemporâneo.



## Introdução

Referindo-se à Antiguidade, sabe-se que o material mais utilizado para escrita, desde tempos remotos, foi o pergaminho, feito com peles de animais. Após esse período de utilização do pergaminho, os antigos egípcios se utilizavam, antes da era cristã, do talo do papiro, planta nativa das margens do Nilo e pântanos da África, material leve e bastante apropriado à escrita. Sua fabricação era penosa e rudimentar. Tiras dessa planta eram colocadas umas sobre as outras, em sentido transversal, formando camadas que eram batidas com pesadas marretas de madeira, obtendo-se, assim, uma espessura tão uniforme quanto possível e a liberação de um suco que impregnava as tiras, procedendo desse modo a colagem entre si.

Oficialmente, têm-se notícias de que o papel foi fabricado pela primeira vez na China, no ano 105 da nossa era. O inventor, segundo a tradição chinesa, foi Ts' Ai Lun, oficial do império e posteriormente ministro, a quem devemos não a invenção, mas a criação da arte de fabricação de papel. Fragmentou-se em uma tina cheia de água cascas de amoreira, pedaços de bambu, rami, redes de pescar e roupas usadas, cal para ajudar no desfibramento e na pasta assim formada, submergiu-se um quadrado de madeira revestido de um fino tecido de seda; a forma manual, como seria conhecida então. Retirada da tina à forma, cheia de pasta, a água escorrida, deixando sobre a tela uma fina folha que era removida e estendida sobre uma mesa. Repetia-se a operação e uma nova folha era colocada sobre a anterior; as folhas eram prensadas para perder mais água e posteriormente colocadas uma a uma em muros aquecidos para a secagem. A idéia de Ts' Ai Lun, ou seja, a desintegração de fibras vegetais por fracionamento, a formação da folha retirando a pasta da tina por meio de forma manual, procedendo-se ao deságüe e posteriormente o aquecimento para secagem, continua válido até hoje. No entanto, ao longo dos anos, esse processo de fabricação do papel que apresentava uma série de dificuldades e complicações foi se aperfeiçoando até alcançar a alta tecnologia que temos hoje, onde esses processos são amplamente automatizados e contam com setores de utilidades para fornecimento de insumos, como energia elétrica, vapor, óleo combustível, ar comprimido com e sem tratamento, água tratada para caldeiras e água tratada para uso geral, os quais abrangem todos os setores da indústria.

Assim, da mesma forma como ocorre na indústria de papel e celulose, deve-se entender a importância de se aproveitar ao máximo os recursos produtivos, bem como os subprodutos que fazem parte de um sistema de produção. Neste aspecto a central de utilidades cumpre papel primordial no processo produtivo, uma vez que é responsável pela alimentação de equipamentos, fornecendo os insumos do qual depende toda produção, segurança e qualidade dos processos.

Uma vez que a automação é uma constante na indústria moderna, diversas fases não necessitam da interferência humana, mas devem contar, sempre, com um corpo técnico treinado para agir em casos de emergência, urgências, ou mesmo em situações de rotina, como na operação das máquinas e equipamentos.



# Sumário

## 1 Produção em Processo Contínuo (Batelada)

Primeira Aula	
Administração da produção – Processo .....	<b>19</b>
Segunda Aula	
Manufatura por processo.....	<b>21</b>
Terceira Aula	
Levantamento de questões orientadoras da observação dos jovens.....	<b>24</b>
Quarta Aula	
Tipos de instalações e ambientes de trabalho.....	<b>24</b>
Quinta Aula	
Tipos de equipamentos e nível de automação .....	<b>27</b>
Sexta Aula	
Aspectos organizacionais e produtivos Método de trabalho – Organização ..	<b>31</b>
Sétima Aula	
Aspectos organizacionais e produtivos .....	<b>33</b>
Método de trabalho.....	<b>33</b>
Oitava Aula	
Os acidentes e suas condições .....	<b>38</b>
Nona Aula	
Atividades preventivistas na empresa .....	<b>51</b>
Décima Aula	
Planejamento da produção e venda .....	<b>55</b>
Décima Primeira Aula	
Mercado interno e mercado externo.....	<b>57</b>
Décima Segunda Aula	
Custos de produção.....	<b>60</b>
Décima Terceira Aula	
Custos de distribuição .....	<b>65</b>
Décima Quarta Aula	
Preço de venda.....	<b>69</b>
Décima Quinta Aula	
Conceito de cadeia produtiva .....	<b>72</b>

## 2 Central de Utilidades

Primeira Aula	
Aspectos gerais/Processamento .....	<b>79</b>
Segunda Aula	
Silvicultura .....	<b>83</b>
Terceira Aula	
O pátio de madeira .....	<b>88</b>
Recurso Natural.....	<b>88</b>
Quarta Aula	
Polpação.....	<b>93</b>
Quinta Aula	
Tipos de digestores .....	<b>95</b>
Sexta Aula	
Central de lavagem.....	<b>99</b>
Sétima Aula	
Fundamentos do processo de lavagem.....	<b>101</b>
Oitava Aula	
Ciclo de recuperação e utilidades.....	<b>103</b>
Nona Aula	
Caustificação .....	<b>109</b>
Décima Aula	
Branqueamento .....	<b>110</b>
Décima <b>Primeira</b> Aula	
Reversão de alvura.....	<b>113</b>

## 3. Produção de Matéria Prima

Primeira Aula	
Fibras de madeira.....	<b>119</b>
Fibras de vegetais não madeira .....	<b>121</b>
<b>Segunda</b> Aula	
Uso e processamento de fibras recicladas.....	<b>124</b>
<b>Terceira</b> Aula	
Classificação de cavacos .....	<b>131</b>
<b>Quarta</b> Aula	
Fluxograma de produção de cavacos .....	<b>134</b>
<b>Quinta</b> Aula	
Controles na produção de cavaco.....	<b>140</b>
<b>Sexta</b> Aula	
Determinação de umidade .....	<b>147</b>
<b>Sétima</b> Aula	
Determinação de densidade a granel.....	<b>148</b>

<b>Oitava</b> Aula	
Tipos de pasta celulósica .....	<b>149</b>
<b>Nona</b> Aula	
Variáveis associadas com a madeira .....	<b>158</b>
<b>Décima</b> Aula	
Variáveis associadas com as condições de cozimento.....	<b>161</b>
Décima <b>Primeira</b> Aula	
Fator H.....	<b>165</b>
<b>Décima Segunda</b> Aula	
Tipos de pasta celulósica .....	<b>170</b>
<b>Décima Terceira</b> Aula	
Tipos de pasta celulósica .....	<b>174</b>
Décima <b>Quarta</b> Aula	
Fluxo do processo de produção de polpa .....	<b>177</b>
Décima <b>Quinta</b> Aula	
Funcionamento do digestor Kraft .....	<b>179</b>
Décima <b>Sexta</b> Aula	
Recuperação de insumos químicos .....	<b>184</b>
Décima <b>Sétima</b> Aula	
Caldeira de recuperação .....	<b>187</b>
<b>Décima Oitava</b> Aula	
Lavagem da polpa .....	<b>192</b>
<b>Décima Nona</b> Aula	
Processos químicos usados no branqueamento.....	<b>199</b>
<b>Vigésima</b> Aula	
Ecologia e meio ambiente .....	<b>203</b>
<b>Vigésima Primeira</b> Aula	
Poluição.....	<b>208</b>
<b>Vigésima Segunda</b> Aula	
Lagoas de estabilização .....	<b>215</b>
<b>Vigésima Terceira</b> Aula	
Lançamento de efluentes em corpos receptores .....	<b>221</b>
<b>Vigésima Quarta</b> Aula	
Fontes poluidoras em fábricas de celulose .....	<b>229</b>
<b>Vigésima Quinta</b> Aula	
Áreas florestais.....	<b>233</b>

## 4 Produção de Produto Final

Primeira Aula	
Equipamentos utilizados em processos de produção contínua.....	<b>243</b>
Segunda Aula	
Reações químicas .....	<b>247</b>
Terceira Aula	
Velocidade das reações químicas .....	<b>250</b>
Quarta Aula	
Planejamento de linha e balanço de massas .....	<b>254</b>
Quinta Aula	
Características dos fluidos.....	<b>256</b>
Sexta Aula	
Descrição dos equipamentos .....	<b>259</b>
Sétima Aula	
Principais cuidados na operação das bombas .....	<b>261</b>
Oitava Aula	
Válvulas industriais .....	<b>264</b>
Nona Aula	
Principais cuidados na operação dos equipamentos.....	<b>267</b>
Décima Aula	
Tubulações .....	<b>269</b>
Décima Primeira Aula	
Principais cuidados na operação dos equipamentos.....	<b>272</b>
Décima Segunda Aula	
O papel do vapor de água .....	<b>274</b>
Décima Terceira Aula	
O controle das reações químicas .....	<b>277</b>
Décima Quarta Aula	
Principais cuidados na operação dos equipamentos.....	<b>279</b>
Décima Quinta Aula	
Descrição dos equipamentos .....	<b>281</b>
Décima Sexta Aula	
Principais cuidados na operação dos equipamentos.....	<b>283</b>
Décima Sétima Aula	
Princípios básicos da decantação, sedimentação e filtração .....	<b>285</b>
Décima Oitava Aula	
Descrição dos equipamentos .....	<b>287</b>
Décima Nona Aula	
Descrição dos equipamentos .....	<b>289</b>
Vigésima Aula	
Descrição dos equipamentos .....	<b>292</b>
Vigésima Primeira Aula	
Principais cuidados no desenvolvimento dos processos .....	<b>296</b>
Vigésima Segunda Aula	
Rotinas de Operação e Verificação de Equipamentos .....	<b>299</b>
Vigésima Terceira Aula	
Principais componentes do planejamento de produção .....	<b>300</b>

Glossário .....	<b>302</b>
Referências .....	<b>308</b>



# 1 Produção em Processo Contínuo (Batelada)

Serão apresentados os conceitos e exemplos de indústria de processo contínuo e discreto, relacionado com atividade prática, de modo que o jovem venha a vivenciar essas atividades no ambiente industrial, assim como os aspectos organizacionais, produtivos e logísticos, culminando com uma apresentação prática de uma indústria.

## Objetivos

- Conceituar e exemplificar a indústria de processo contínuo e discreto.
- Verificar as implicações organizacionais e produtivas referentes aos tipos de instalações e ambientes de trabalho; tipos de equipamentos e automação do processo; planejamento da produção e venda; mercado interno e mercado externo.
- Conceituar os aspectos logísticos da cadeia produtiva em questão, conhecendo os tipos de matérias-primas e fornecedores, a logística de suprimento, produção e a logística de distribuição.
- Efetivar os conceitos acima por meio de uma aplicação prática com a realização de um painel abrangendo a indústria de processo contínuo e de processo discreto.



# Primeira Aula



Nessa aula os jovens conhecerão os conceitos e exemplos de indústria de processos contínuo e discreto.



## Passo 1 / Aula teórica



50 min

### Administração da produção – Processo

#### Processo contínuo – Processo discreto

#### Conceito

O que é administração da produção?

É a atividade responsável pelo fluxo de materiais e de programação da operação.

Segundo Slack (1996, p. 34), a produção é a função central das organizações já que é aquela que vai se incumbir de alcançar o objetivo principal da empresa, ou seja, sua razão de existir.

A função produção se preocupa principalmente com os seguintes assuntos:

- **Estratégia de produção** – As diversas formas de organizar a produção para atender à demanda e ser competitivo.
- **Projeto de produtos e serviços** – Criação e melhora de produtos e serviços.
- **Sistemas de produção** – Arranjo físico e fluxos produtivos.
- **Arranjos produtivos** – Produção artesanal, produção em massa e produção enxuta.
- **Ergonomia.**
- **Estudo de tempos e movimentos.**
- **Planejamento da produção** – Planejamento de capacidade, agregado, plano mestre de produção e seqüenciamento.
- **Planejamento e controle de projetos.**
- **Processo** - é a seqüência de passos, tarefas e atividades que convertem entradas de fornecedores

em uma saída. Exemplos de processos incluem a formação, preparação, tratamento ou melhora de materiais em suas características físicas ou químicas, resultando na sua **transformação**.

O processo produtivo consiste na transformação de entradas (de materiais e serviços) em saídas (de outros materiais e serviços).

**Transformação** - é o uso de recursos para mudar o estado ou condição de algo para produzir saídas. A maioria das operações produz tanto produtos como serviços. Os processos de transformação podem ser de vários tipos:

- **De materiais** – Processam suas propriedades físicas (forma, composição, características), localização (empresas distribuidoras ou de frete) ou posse (empresas de varejo).
- **De informações** – Processam a forma da informação (exemplo: contadores), localização (exemplo: empresa de telecomunicações) ou posse (exemplo: consultoria, serviços de notícias, etc.).
- **De consumidores** – Processam condições físicas (exemplo: médicos), de localização (acomodação, exemplo: hotéis), de estado psicológico (indústria do entretenimento), etc.

Para fazer o planejamento do processo deve-se decidir sobre o tipo básico de organização do processamento da produção a ser usado para produzir cada produto. Os tipos comuns de organização de processamento da produção são os focalizados no produto, no processo e a tecnologia de grupo/manufatura celular.

A expressão “focalizado no produto” é usada para descrever um tipo de organização de processamento da produção em que os departamentos de produção são organizados de acordo com produto/serviço produzido, portanto, todas as etapas para produzir produto/serviço são organizadas num departamento de produção.

A produção focalizada no produto é às vezes chamada de linha de montagem ou produção contínua.

A organização focalizada no produto é aplicada a duas formas gerais de produção: manufatura discreta e manufatura por processo.

- **Manufatura discreta** – Significa a manufatura de produtos distintos ou separados, por exemplo, de automóveis e lavadoras de louças. Tem como característica a produção em lotes, o que exige que o sistema seja modificado para outros produtos entre lotes. Ou o sistema também é dedicado somente a

um produto e tem como expressão linha de produção ou linha de montagem.



Fonte: www.google.com.br/images

Figs. 1 e 2 - Exemplos de linhas de montagem

## Segunda Aula



Os conceitos de indústria de processo contínuo, por meio de exemplos e de visitação ao processo fabril, serão os objetivos dessa aula.



Passo 1 / Aula teórica



50 min

### Manufatura por processo

Os fluxos de materiais se movem entre opera es de produ o, como, por exemplo, peneiramento, moagem, cozimento, mistura, fermenta o, etc. Geralmente ocorrem nas indústrias de alimentos, produtos químicos, refino de petróleo, produtos petroquímicos, plásticos, papel e cimento bem como nas cervejarias.

Na figura a seguir está demonstrado esse exemplo:

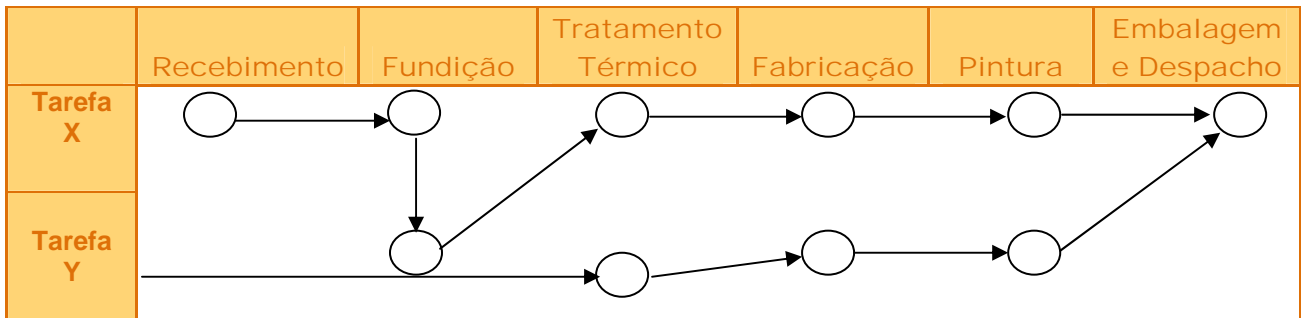


Tabela 1 - Exemplo de manufatura de processo

Os sistemas focalizados no processo são chamados de sistemas de produção intermitentes ou *job-shop*, isto é, começa e pára.



Fig. 3 - Sistema de produção intermitente.

Conforme gráfico a seguir, pode-se ver a relação do tipo de projeto de processo e a diversidade de produto e do tamanho de lote.

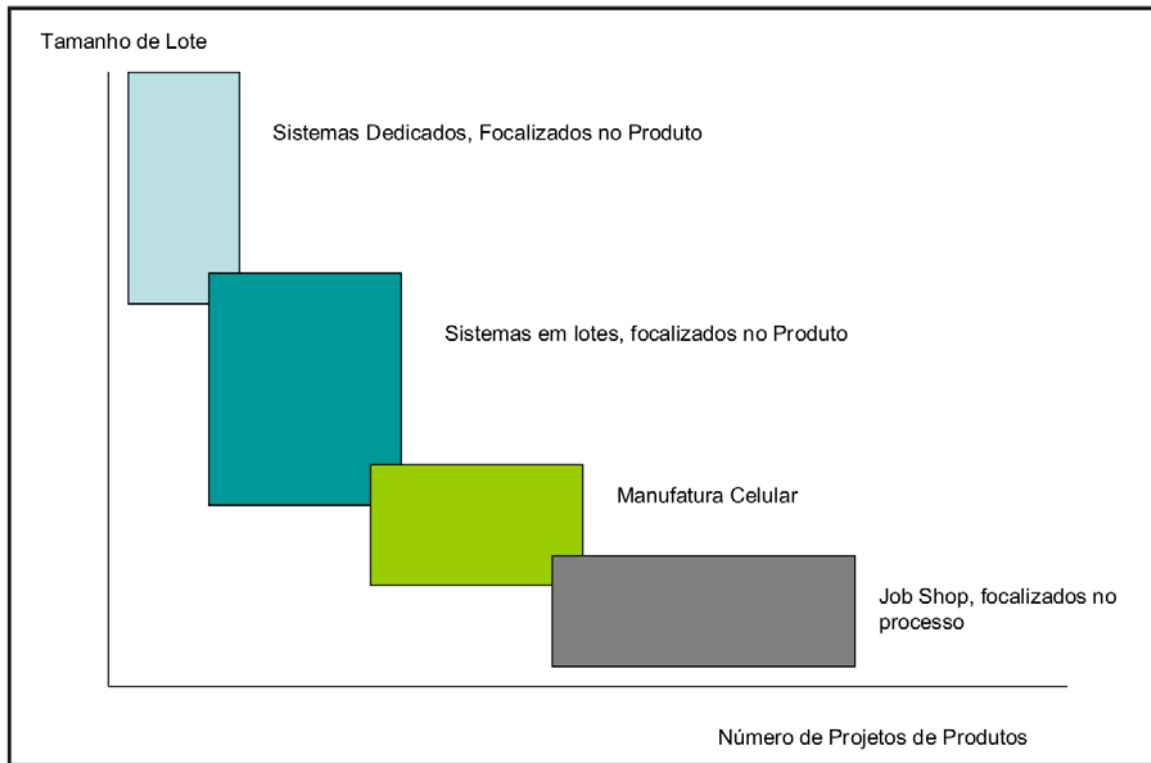


Fig. 4 - Relação do tipo de projeto de processo e tamanho de lote.

Tipos de produção		Exemplo	Característica do processo	Mão-de-obra	Equipamento	Automação	
Produção Discreta	Em massa	Pura	Primeira fábrica da Ford. Modelo T Preto	Grande volume de produção de um só modelo. <i>Layout</i> linear. Em geral, atividades repetitivas e rotineiras	Baixa qualificação	Dedicado	Dedicada (não necessariamente eletrônica)
		Com diferenciação	Eletrodomésticos Fábrica de motores com vários modelos	Grande volume de produção de poucos produtos	Média qualificação	Dedicado com possibilidade e pequena variação	Dedicada em sua maior parte e flexível nos produtos com variação
	Intermitente	Repetitiva (sempre os mesmos produtos)	Autopeças, móveis	Menor volume de produção por tipo de produto. Fabricação em lotes com diferenciação na forma, dimensões, acabamento, etc. <i>Layout</i> funcional ( <i>jobshop</i> ) ou tecnologia de grupos (células de manufatura)	Média qualificação	Divisão entre equipamentos dedicados e flexíveis	CNC, Sistemas Flexíveis de Manufatura
		Por encomenda (pedidos diferenciados pelo cliente)	Bens de capital		Alta ou média qualificação dependendo da variação do produto	Flexível: uso de máquinas universais	CNC
	Grandes projetos		Construção civil Construção naval Montagens Industriais	Serviços ou tarefas diferenciados no tempo. Longa duração e compostos de muitas atividades (WBS)	Alta qualificação	Flexível: os recursos vão ao produto	CNC, CAD/CAE/CAM
	Fluxo contínuo		Petroquímica Siderurgia	Operações de ciclo longo efetuadas continuamente, com baixa ou nenhuma interferência humana direta	Alta qualificação	Dedicado. Maior flexibilidade com automação	Instrumentação digital

Tabela 2

O quadro acima apresenta os tipos de produção, características de processo, nível de mão-de-obra, equipamento e nível de automação.



## Terceira Aula

Nessa aula os jovens farão visita técnica e entrevistas com os técnicos da indústria com o objetivo de verificar os conceitos aprendidos.



### Passo 1 / Organização da turma



10 min

#### Levantamento de questões orientadoras da observação dos jovens

Preparar os jovens para observarem os processos produtivos a partir dos conceitos aprendidos anteriormente, verificando as diferenças entre processos discreto e contínuo para depois propor uma discussão entre eles.



### Passo 2 / Visita técnica



40 min

**Educador**, caminhe com os jovens pelos dois processos explorados e apresente as características principais, assim como os objetivos de cada um deles.



## Quarta Aula

Nessa aula serão discutidos os aspectos organizacionais e produtivos, fazendo uma relação entre tipos de instalações e ambiente de trabalho.



### Passo 1 / Aula teórica



50 min

#### Tipos de instalações e ambientes de trabalho

##### Conceito

Atualmente, os leiautes das instalações têm como principal objetivo produzir produtos/serviços que atendam

às necessidades dos clientes, ou seja, produzi-los rapidamente e entregá-los no tempo certo.

Planejar o leiaute das instalações significa posicionar todos os equipamentos, utilidades, estações de trabalho, áreas de estocagem, escritórios e ainda o fluxo de matérias e de pessoas dentro da indústria.

Alguns objetivos dos leiautes das instalações serão apresentados a seguir:

- Fornecer suficiente capacidade de produção.
- Reduzir o custo de manuseio de materiais.
- Garantir espaço para as máquinas de produção.
- Garantir saúde e segurança aos empregados.
- Permitir facilidade de manutenção, supervisão e elevada utilização e produtividade da mão-de-obra, das máquinas e do escopo.
- Flexibilidade de produto e volume.

O leiaute das instalações é afetado diretamente pelo manuseio de materiais que devem seguir algumas regras, como as abaixo mencionadas:

- Se possível, seguir movimentos lineares, minimizando ziguezagues ou retornos.
- Processos de produção devem ser organizados de forma linear.
- Facilitar o manuseio dos materiais com pouco esforço humano.
- Minimizar o número de vezes que o material caminha dentro da organização.
- Não transportar cargas vazias.

Existem quatro tipos básicos de leiautes para as instalações: processo, produto, manufatura celular e posição fixa.

O leiaute de processo e produto está vinculado ao que foi visto anteriormente nas aulas 1 e 2.

Pode-se acrescentar que no leiaute de processo os funcionários devem ser altamente qualificados e ter uma supervisão constante. Outra característica diz respeito ao longo período do processo produtivo com grandes estoques intermediários.

Quanto ao leiaute por produtos, as máquinas estão dispostas para produzir uma operação e não requerem uma supervisão pequena. As atividades não são contínuas e só necessitam de planejamento depois de cumpridas as atividades.

O leiaute celular dar-se-á pelo agrupamento de máquinas numa mesma célula onde produzem uma família de peças, geralmente os trabalhadores são treinados para ficarem nessa mesma célula e durante um determinado período eles fazem as manutenções das máquinas e a quantidade de material em processo é mínima.

O leiaute por posição fixa tem como característica a peça/máquina a ser construída numa posição fixa, o deslocamento ocorre para os funcionários e os materiais que serão agregados. Podem ser citados como exemplos aeronaves, navios, pontes. Geralmente o sistema de produção é por projeto.

As condições do ambiente estão relacionadas como o nível de ruído, música, iluminação, temperatura e cheiro, que podem afetar o desempenho e o moral dos funcionários, assim como as percepções do cliente quanto ao serviço, quanto tempo ficam e quanto tempo gastam. Atualmente, as fábricas estão sendo construídas de modo que os funcionários possam ter a sensação da luz solar. Por isso, algumas delas são totalmente envidraçadas. As máquinas, por sua vez, são cada vez menos barulhentas ou apresentam um nível de ruído baixo. Muito tem sido pensado sobre ergonomia para não provocar doenças relacionadas ao trabalho.



Fig. 5 - Esta fábrica, além de envidraçada, possui placas de captação de energia solar para os prédios administrativos. Uma energia limpa e renovável.

Fonte: [http://medien.service.lan.dde.rodeon.de/MEDIA/thumbs/7657/0\\_X\\_100\\_100.jpg](http://medien.service.lan.dde.rodeon.de/MEDIA/thumbs/7657/0_X_100_100.jpg)



Fig. 6 - Outro exemplo de fábrica envidraçada.

Fonte: <http://www.lapreferida.cl/img/gst1.jpg>

Fonte: (http://www.siemens.com.br/medias/images/2887.gif)



Fig. 7 - Algumas técnicas são empregadas para reavaliação do processo e leiaute empregado.

## Quinta Aula



Nessa aula os jovens começarão a discutir os aspectos organizacionais e produtivos, fazendo uma relação entre tipos de equipamentos e nível de automação.



### Passo 1 / Aula teórica



50 min

## Tipos de equipamentos e nível de automação

### Conceito

Automação é um sistema de equipamentos eletrônicos e/ou mecânicos que controlam seu próprio funcionamento, quase sem a intervenção humana.

A automação é diferente da mecanização. A mecanização consiste no uso de máquinas para realizar um trabalho, substituindo o esforço físico. Já a automação possibilita fazer um trabalho por meio de máquinas

controladas automaticamente, capazes de se regular sozinhas.



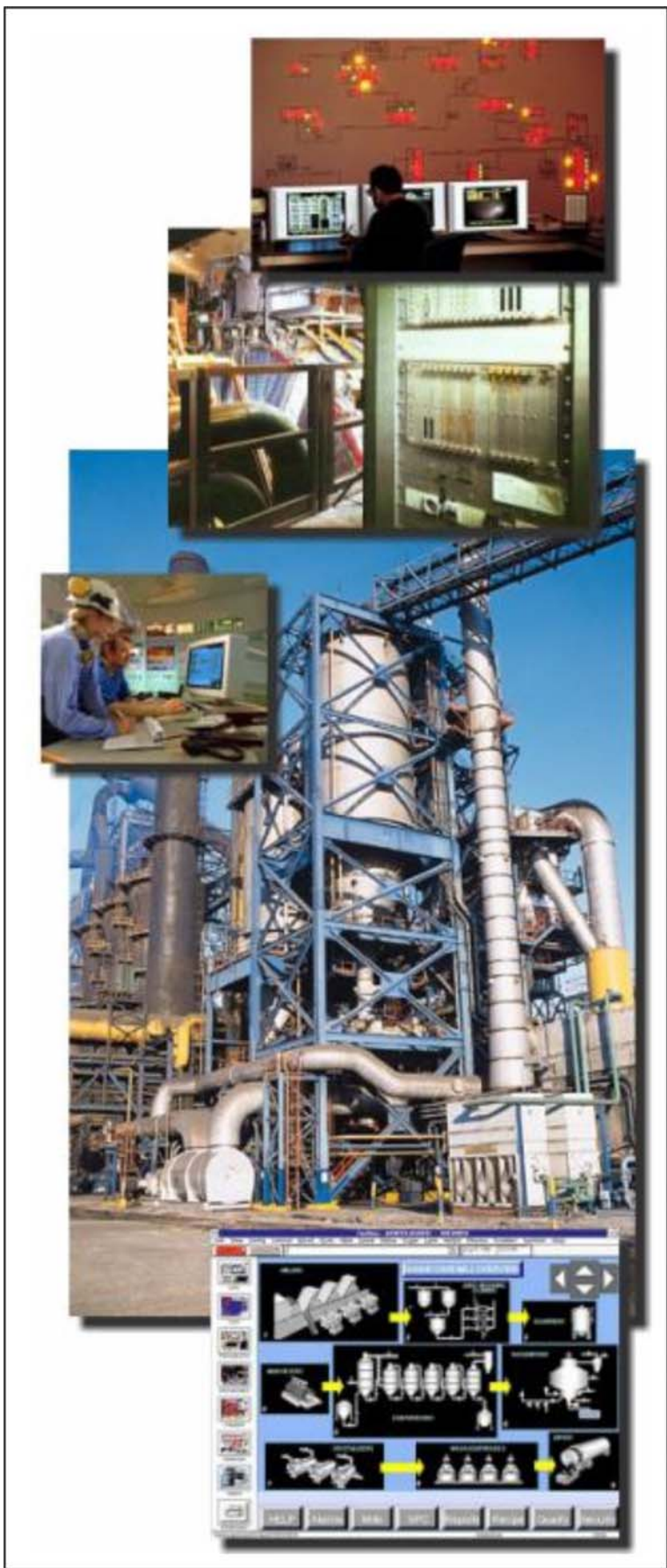
Comente que, atualmente, as portas dos ônibus são acionadas por meio de botões que movimentam pistões para abri-las. Antigamente esse processo ocorria por meio de alavancas. Hoje, as portas dos elevadores percebem a presença do ser humano e não fecham se não estiverem todos dentro ou fora do elevador.

Serão apresentados na próxima página alguns exemplos de sistemas e elementos que podem ser automatizados.

Existem diversas aplicações nos ramos industriais como máquinas CNC, robôs, CLP, equipamentos pneumáticos, elétricos, acionadores, fotocélulas e tantos outros.

Toda automatização tem uma finalidade específica para atender a uma regra ou a uma tarefa repetitiva que não pode ter um desvio da operação.

Na figura a seguir serão apresentados sistemas automatizados de uma usina de álcool, controlada automaticamente.



Fonte: <http://www.poleia.com/images/commun/DCS.jpg>

Fig. 8 - Exemplo de processo contínuo.

## Operação

### Sistemas de automação

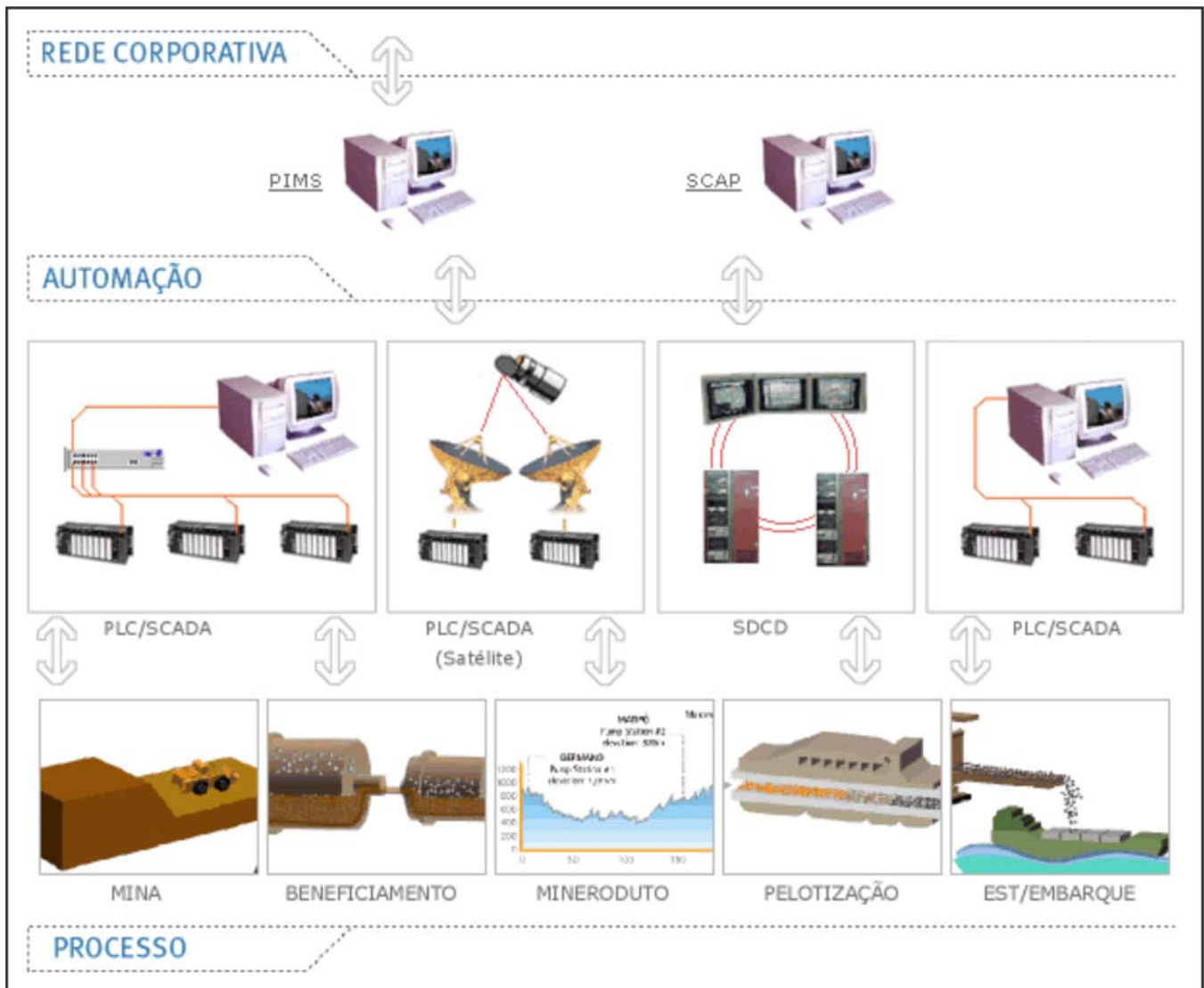


Fig. 9 - Exemplos de automação industrial.



## Sexta Aula

Nessa aula será apresentado o dia-a-dia da empresa, tendo como ponto de vista as características de segurança, organização e ambiente do trabalho, sabendo que essas normas e organizações são tarefas que devem ser utilizadas e aplicadas não apenas à empresa, mas também para toda a vida dos jovens.



## Aspectos organizacionais e produtivos Método de trabalho – Organização

Para executar qualquer tarefa com sucesso é preciso que antes haja uma organização. Organizar significa pensar antes de se iniciar a tarefa. Mas pensar em quê?

Na maneira mais simples de fazer a tarefa, evitando complicações ou controles exagerados.

- No modo mais barato de fazer a tarefa.
- No meio menos cansativo para quem vai realizar o trabalho.
- Num procedimento que seja mais rápido.
- Em obter a melhor qualidade e o resultado mais confiável.
- Na maneira menos perigosa de fazer a tarefa.
- Numa forma de trabalho que não prejudique o meio ambiente, ou seja, que não cause poluição.

Pode-se, por exemplo, escolher uma forma mais rápida de realizar uma tarefa. Entretanto, essa forma possibilita afetar a qualidade e a segurança, tornando o trabalho perigoso.

Se, por exemplo, há necessidade de trocar rapidamente uma lâmpada queimada sobre a máquina de trabalho, pode-se fazer a troca subindo na máquina. Mas esse procedimento não é bom, porque pode causar um acidente. O correto seria usar uma escada. A tarefa seria mais demorada, mas a segurança e a qualidade estariam asseguradas.

Portanto, todos os itens devem ser pensados juntos, para que no fim haja equilíbrio entre eles, de modo que um não prejudique o outro.

Além disso, é necessário pensar também na quantidade e na qualidade das pessoas e dos materiais necessários, na hora e no local em que eles devem estar.

Antes de iniciar o trabalho, é preciso providenciar:

- máquinas;
- ferramentas adequadas e em bom estado;
- matéria-prima para a execução do trabalho;
- equipamentos diversos, inclusive os de segurança;

- tempo necessário e seguro para executar o trabalho.

Fazendo com antecedência um estudo de todos os fatores que vão interferir no trabalho e reunindo o que é necessário para a sua execução, estar-se-á organizando o trabalho para alcançar bons resultados.

Por isso, sempre deve-se trabalhar em função de um objetivo, que pode ser a fabricação de um produto ou a realização de um serviço, que é o trabalho feito por uma pessoa para satisfazer a uma necessidade, sem ser modificada. Produto é o resultado de um trabalho de fabricação.

Quando se faz algum produto, ocorrem modificações nas suas características físicas ou químicas, ou quando se executa um serviço, realiza-se um trabalho com uma finalidade.

Se, por exemplo, forem misturadas várias matérias-primas e for levada a mistura ao forno, as matérias se fundem num só produto. Ocorre uma transformação química, uma vez que mudam as características das matérias-primas.

Por outro lado, quando se pega um pedaço de aço e é usinado num torno, transformando-o numa peça, ocorrerá uma transformação física sem que se transformem as características químicas do aço.

Todas essas transformações são feitas graças à participação física ou intelectual do homem.



## Passo 2 / Aula prática



35 min

No ambiente de fábrica mostre aos jovens a planta da empresa, solicite que se dividam em grupos e identifiquem as seções que fazem “serviços”, as seções que executam “trabalhos com finalidades”; exemplifique se esses trabalhos sofreram transformações (químicas, físicas, etc.), e quais são elas. Em seguida, que observem os trabalhadores, verifiquem o sistema de trabalhar e façam uma análise simples se consideram o trabalho deles correto. Depois, leve-os para a sala de aula e estimule-os a um debate para criar o início de uma análise crítica do trabalho, mostrando que muitos dos questionamentos indicados serão respondidos ou analisados ao longo das próximas aulas. Isso fará com que eles criem uma boa expectativa para um aprofundamento dos temas das aulas que ainda virão. Após o debate, o grupo irá à frente da turma para expor e

apresentar de maneira rápida o que encontrou e suas conclusões

## Sétima Aula



Nessa aula será apresentada a organização do espaço do posto de trabalho, ou seja, para se produzir mais, com menos esforço, tempo e custo, sem perda da qualidade. Para essa organização, é valiosa a técnica baseada nos princípios de economia de movimentos.



### Passo 1 / Aula teórica



50 min

## Aspectos organizacionais e produtivos

### Método de trabalho

Posto de trabalho é o local definido e delimitado para a realização de uma atividade qualquer.

Esse local deve contemplar tudo o que é necessário para o trabalho: máquinas, bancadas, material, ferramental, instalações, etc. Num posto de trabalho é possível que uma ou mais pessoas possam exercer funções.

A organização do espaço do posto de trabalho é de grande importância para se obter produtividade, ou seja, para se produzir mais, com menos esforço, tempo e custo, sem perda da qualidade. Para essa organização é valiosa a técnica baseada nos princípios de economia de movimentos.

### Princípios de economia de movimentos

São princípios que orientam procedimentos para reduzir movimentos do profissional e aumentar a produtividade. A ideia básica desses princípios é a de que não se deve fazer nada que seja desnecessário. Normalmente, esses princípios são empregados em trabalhos contínuos, manuais e em pequenas montagens.

De acordo com tais princípios, o trabalho deve ser organizado com base nas seguintes ideias:

- **Uso de músculos adequados** – Deve haver concordância entre o esforço a ser feito e os músculos a serem utilizados num trabalho físico. Pela ordem, devem ser utilizados os músculos dos dedos.

Se esses não forem suficientes para o esforço despendido, acrescenta-se a força de outros músculos: do punho, do antebraço, do braço e dos ombros. Essa quantidade de músculos deve ser usada de acordo com a necessidade: nem mais, o que seria desperdício de energia; nem menos, porque a sobrecarga de um só músculo pode causar problemas sérios ao trabalhador. Quando um pintor usa um pincel médio para pintar uma porta numa determinada altura, ele deve usar os músculos dos dedos mais os músculos dos punhos. Se utilizasse também o antebraço, estaria fazendo esforço desnecessário.

- **Mãos e braços** – As mãos e os braços devem trabalhar juntos. Sempre que possível, deve-se organizar o trabalho de modo que ele possa ser realizado com as duas mãos ou com os dois braços num mesmo momento e em atividades iguais. Se, por exemplo, é necessário colocar uma porca num parafuso, dar meia-volta na porca e colocar a peça numa caixa de embalagem, deve-se fazer esse trabalho com as duas mãos e os dois braços. Numa empresa, esse tipo de trabalho pode ser executado de modo rápido e eficiente pelo trabalhador, desde que se façam as adaptações necessárias no posto de trabalho e que o trabalhador passe por um treinamento.

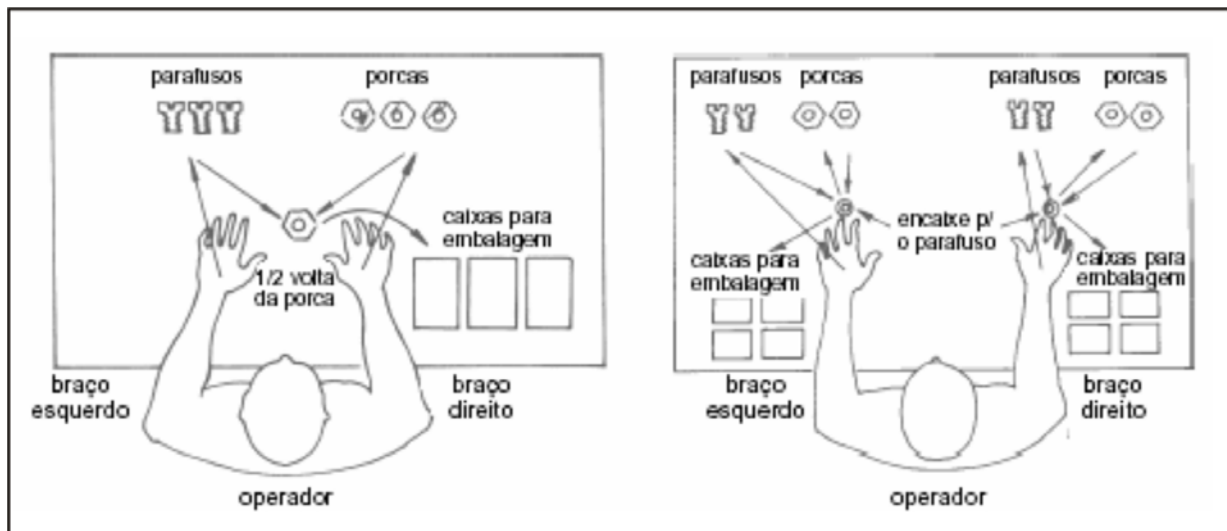


Fig. 10 - Organização do trabalho – mãos e braços

- **Movimentos curvos** – Os movimentos dos braços e das mãos devem ser feitos em curvas contínuas, isto é, sem paradas e, se possível, de forma combinada. Um exemplo de movimento em curvas é o de encerar, que, em vez de vaivém, deve ser feito em círculos

contínuos. Um exemplo de movimento combinado é o que é feito quando se pega um parafuso com as mãos e ele é segurado de modo que sua posição fique adequada para encaixá-lo num furo.

- **Lançamentos** – Quando é necessário transportar coisas, elas podem ser lançadas em vez de carregadas, se a distância assim o permitir. Esse lançamento deve seguir uma trajetória chamada balística, porque descreve uma curva igual ao caminho que faz uma bala disparada de uma arma de fogo. É o que fazem os pedreiros ao usarem pás para lançar areia de um local para outro.



Fig. 11 - Organização do trabalho das mãos e braços – Lançamento.

- **Ritmo** – O trabalho deve ser feito com ritmo, ou seja, cadência. Quando é percorrida uma longa distância, deve-se manter um ritmo constante, de modo que não provoque cansaço andando muito rápido, nem se demore andando muito devagar. Mas é preciso lembrar que cada pessoa tem um ritmo próprio. Assim, o trabalhador deve seguir o seu próprio ritmo e mantê-lo constante. Um exemplo: ao serrar uma barra de aço de bitola fina, com uma serra manual, o movimento de vaivém deve ter um ritmo normal. Um movimento excessivamente rápido, além de cansar quem está serrando, pode resultar num corte malfeito, e de má qualidade. Também pode causar redução da produção, pois o trabalhador, após esforço excessivo, se vê obrigado a parar por muito cansaço.
- **Zonas de trabalho** – É preciso demarcar bem a zona de trabalho, que é a área da extensão das mãos do trabalhador quando ele movimentar os braços, sem precisar movimentar o corpo. No plano horizontal, tem-se a chamada **zona ótima**, adequada para a realização de tarefas mais precisas em que são movimentados os dedos e os punhos. Quando são utilizados os dedos, punho e antebraço na execução de um trabalho, está sendo usada a zona normal. A

zona de alcance máximo dos braços corresponde à área denominada **zona máxima**. Além desse limite, não é recomendável a realização de nenhuma tarefa. Todas as ferramentas, materiais, botões de comando e pontos de operação devem estar sempre colocados nessas áreas, seguindo, se possível, a seqüência: zona ótima, zona normal, zona máxima.

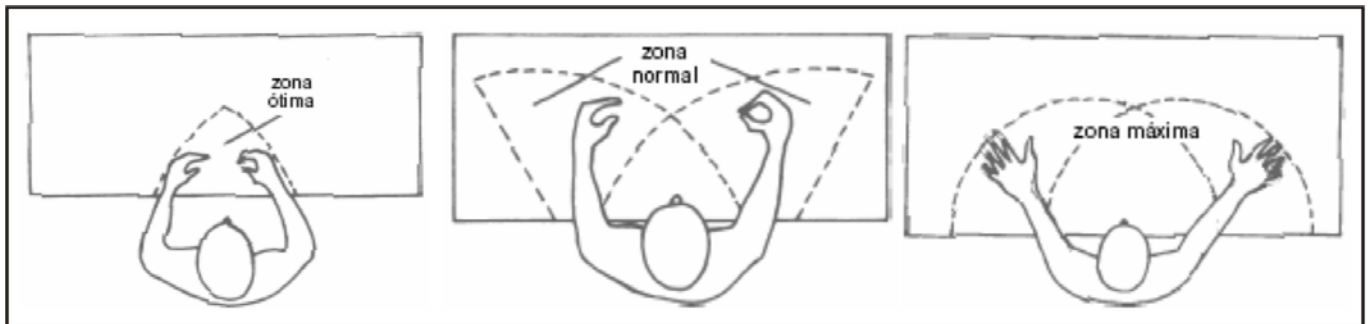


Fig. 12 - Organização do trabalho das mãos e braços – Zonas de trabalho.

- **Altura do posto de trabalho** – É um dos aspectos importantes para manter o conforto do trabalhador e evitar o cansaço. Sempre que possível, a pessoa deve ter liberdade para trabalhar em pé ou sentada, mudando essas duas posições de acordo com sua disposição física. Portanto, as máquinas e bancadas devem ter alturas adequadas à altura do operador para ele trabalhar em pé. Para seu conforto, deve haver um assento alto, regulável, que lhe possibilite trabalhar sentado. No entanto, existem trabalhos que só podem ser feitos com o trabalhador sentado, como é o caso dos motoristas, e trabalhos que só podem ser feitos em pé, como é o caso dos cozinheiros à frente do fogão. Em cadeira alta, o trabalhador precisa ter um apoio para os pés, de modo que haja facilidade de circulação do sangue pelas coxas, pelas pernas e pelos pés.



Fig. 13 - Organização do trabalho – Altura do posto de trabalho.

- **Um lugar para cada coisa** – Deve haver sempre um lugar para cada coisa e cada coisa deve estar sempre em seu lugar. Pondo isso em prática, evitam-se fadiga, perda de tempo e irritação por não se encontrar o que se necessita. Um exemplo desse princípio de ordem e de organização é o dos quadros de oficinas mecânicas, que apresentam contornos das ferramentas a fim de que cada uma volte sempre ao seu local.
- **Objetos em ordem** – Objetos em ordem facilitam o trabalho. Se, numa seqüência de operações, são utilizadas ferramentas ou outros objetos, deve-se procurar colocá-los na mesma ordem da seqüência de uso e na zona em que se vai trabalhar. Os objetos de uso mais freqüente devem ficar mais próximos.
- **Uso da força da gravidade** – A força da gravidade faz com que os corpos sejam atraídos para o centro da Terra. Deve ser aproveitada para pequenos deslocamentos, como é caso de abastecimento e retirada de materiais. Uma bancada, por exemplo, pode ter uma calha para que se possa receber peças ou transportá-las para outro posto.
- **Fatores ambientais** – Outros fatores, como iluminação, barulho, temperatura, etc., devem ser considerados para aumentar a produtividade e assegurar a qualidade do produto ou serviço que está

sendo feito. Esse assunto será estudado com mais detalhes no item Segurança no Trabalho.

- **Ferramentas** – As ferramentas devem ser adequadas ao trabalho, tanto no tipo quanto no tamanho. Por exemplo, para pregar pregos pequenos, devem ser usados martelos pequenos e para pregos grandes, martelos grandes. Deve-se apertar uma porca com chave de boca com tamanho e tipo apropriados. Seria incorreto usar um alicate.
- **Ferramentas combinadas** – Podem ser utilizadas combinações de ferramentas, desde que não criem risco de acidentes. É o caso do canivete de pescador, que tem lâmina de corte, abridor de latas, de garrafas, etc. Como o caso, também, da chave de bicicleta, que retira diferentes tipos de porcas e serve como chave de fenda.
- **Acessórios astuciosos** – Alguns acessórios úteis são inventados para aumentar o rendimento das máquinas e para proporcionar maior segurança para quem trabalha. Exemplos disso são os encostos, gabaritos, suportes, guias. São acessórios conhecidos como astuciosos porque são feitos por quem tem astúcia, ou seja, esperteza.

Conclui-se que ao se aplicar muitos desses princípios de economia de movimentos, consegue-se facilmente, apenas com pequenas modificações, grande aumento de produtividade no trabalho manual. São coisas que podem ser feitas e que, na maioria das vezes, só dependem de nós.



## Oitava Aula

Nessa aula será feito um resumo de algumas condições e atos inseguros de trabalho para que o jovem, ao iniciar a sua atividade profissional, procure evitá-los, fazendo assim com que os índices de acidentes de trabalho sejam pelo menos amenizados.



Passo 1 / Aula teórica



50 min

### Os acidentes e suas condições

Muitas vezes os acidentes de trabalho são causados por negligência do profissional em obedecer às normas de

segurança, principalmente porque ele tem por hábito trabalhar em condições inseguras e provoca atos inseguros em relação ao seu trabalho.

Condições inseguras de trabalho

- 1 Falta de proteção em máquinas e equipamentos.

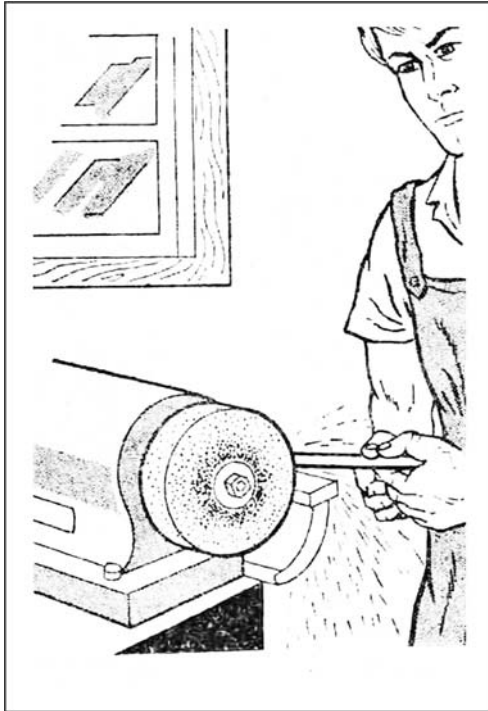


Fig. 14 - Exemplo de condição insegura de trabalho – Falta de proteção.

- 2 Proteções inadequadas ou defeituosas.

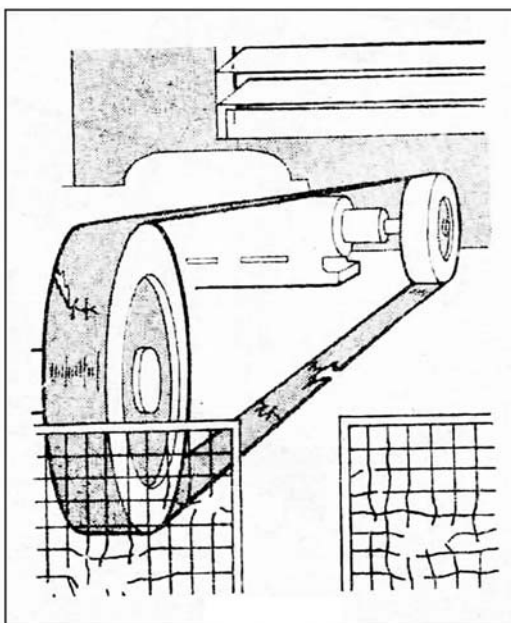


Fig. 15 - Proteções inadequadas ou defeituosas.

3 Deficiência em maquinaria ou ferramentas.

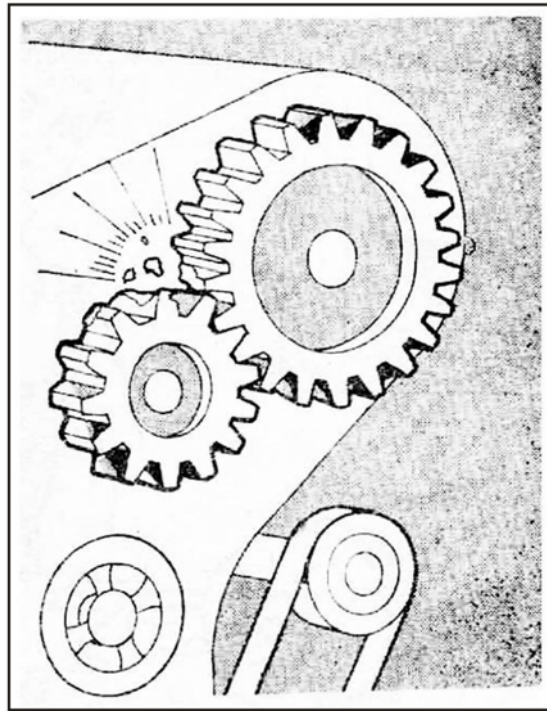


Fig. 16 - Problemas em máquinas ou Ferramentas.

4 Má arrumação.

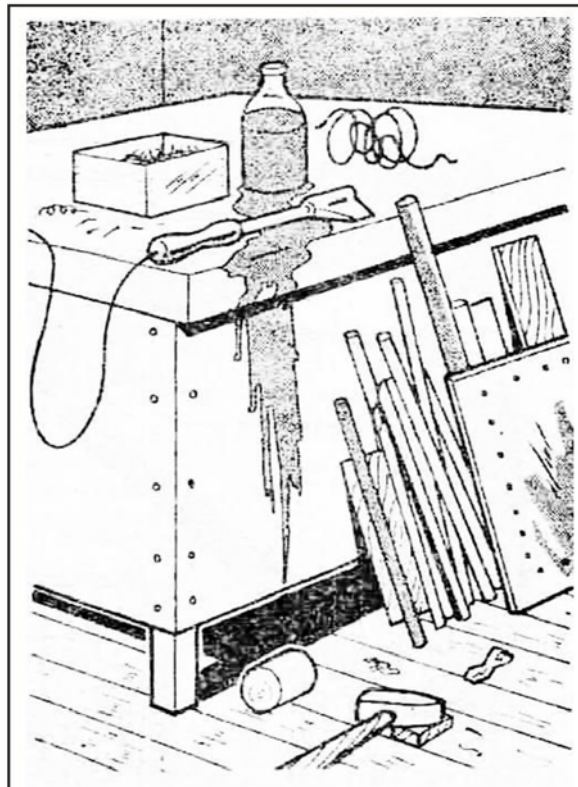


Fig. 17 - Problemas com a arrumação do ambiente de trabalho.

5 Escassez de espaço.



Fig. 18 - Falta de espaço no ambiente de trabalho

6 Passagens perigosas.

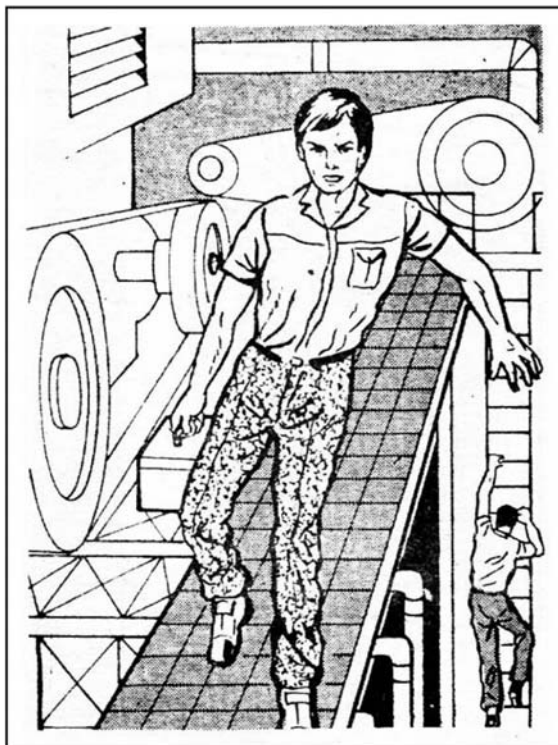


Fig. 19 - Passagens perigosas.

7 Defeitos nas edificações.

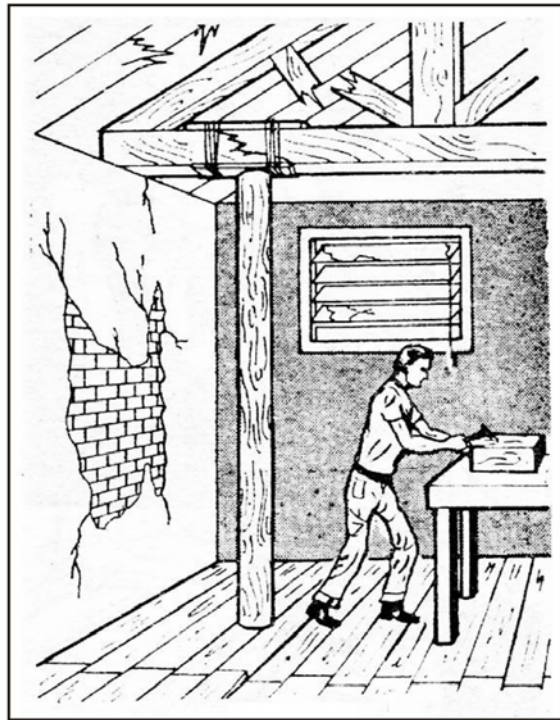


Fig. 20- Problemas com a estrutura de edificação do ambiente de trabalho.

8 Instalações elétricas inadequadas ou defeituosas.

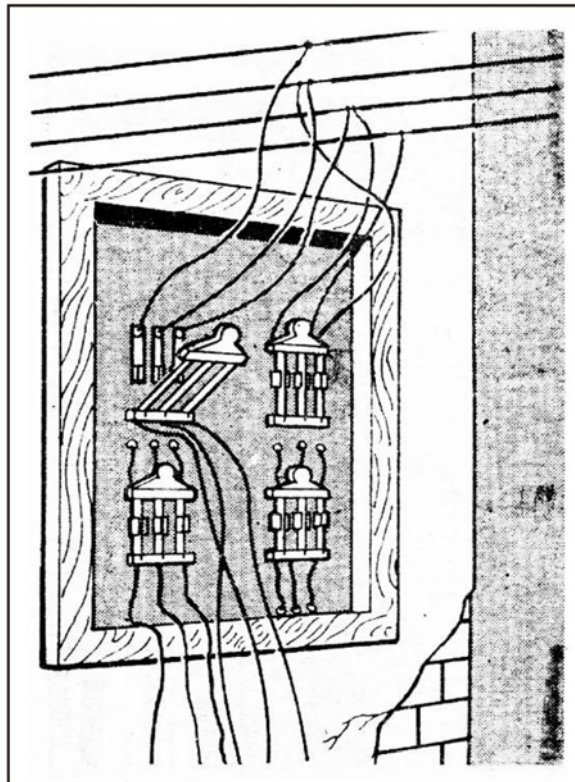


Fig. 21- Problemas com a arrumação elétrica do ambiente de trabalho.

9 Iluminação inadequada .

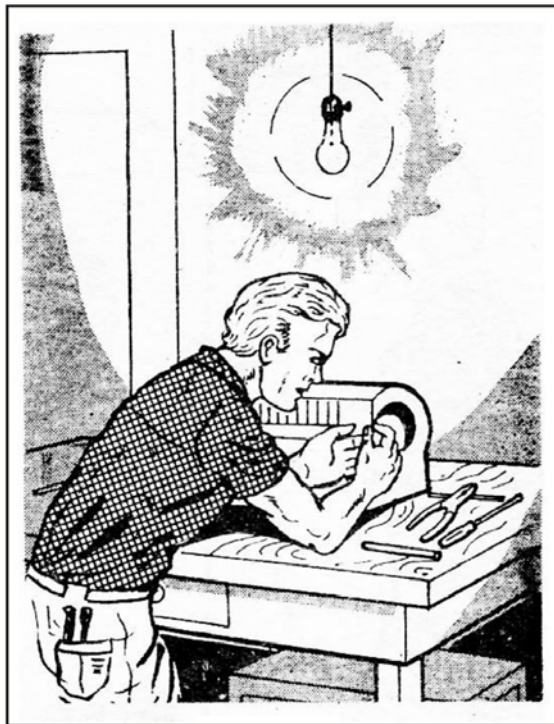


Fig. 22- Problemas com a iluminação inadequada no ambiente de trabalho

10 Ventilação inadequada.

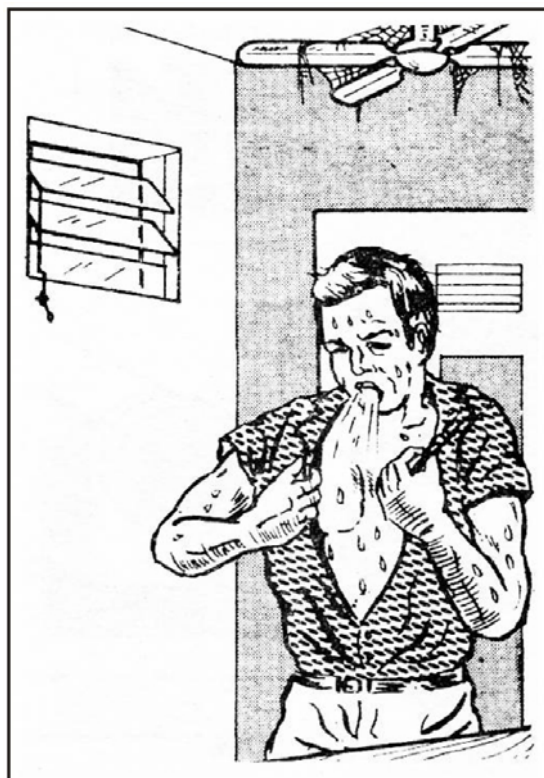


Fig. 23 - Problemas com a ventilação do ambiente de trabalho

- 11 Condições insalubres (que não se relacionam com ventilação ou iluminação).

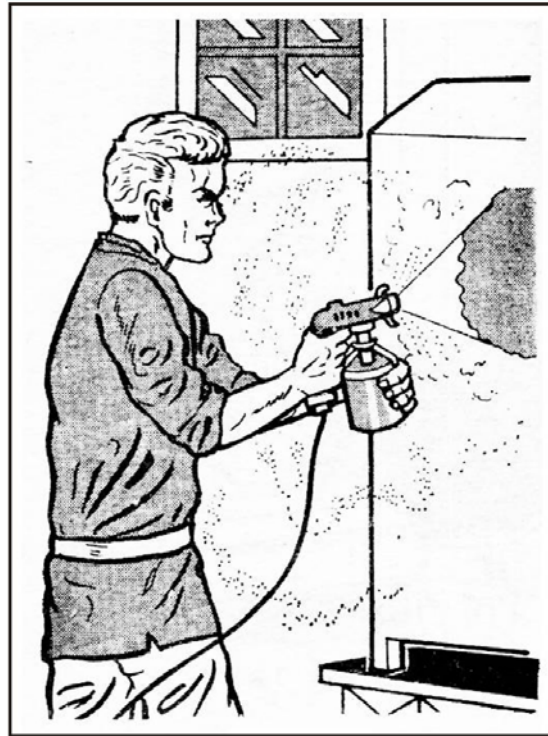


Fig. 24 - Condições insalubres.

- 12 Falta de protetores individuais (EPI).



Fig. 25 - Falta de EPIs.

13 Outras.

**Atos inseguros do profissional**

1 Ficar junto ou sob cargas suspensas.

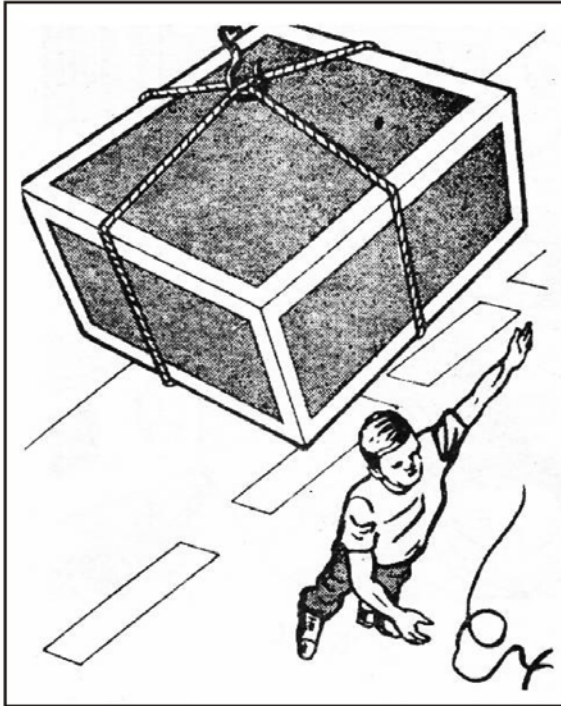


Fig. 26 - Atos inseguros – Fficar junto ou sob cargas suspensas.

2 Colocar parte do corpo em lugar perigoso.



Fig. 27 - Atos inseguros – Fficar em lugares perigosos.

3 Usar máquinas sem habilitação ou permissão.

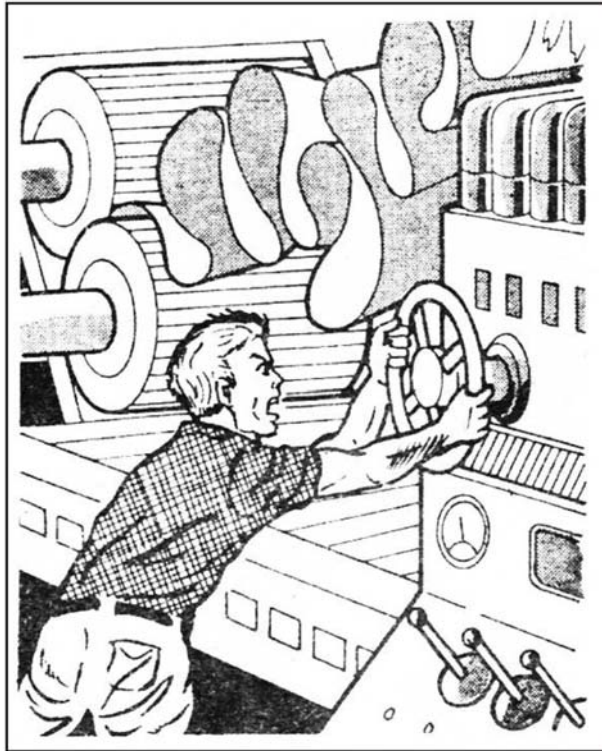


Fig. 28 - Atos inseguros – Utilizar os equipamentos sem habilitação e/ou sem permissão.

4 Imprimir excesso de velocidade ou sobrecarga.

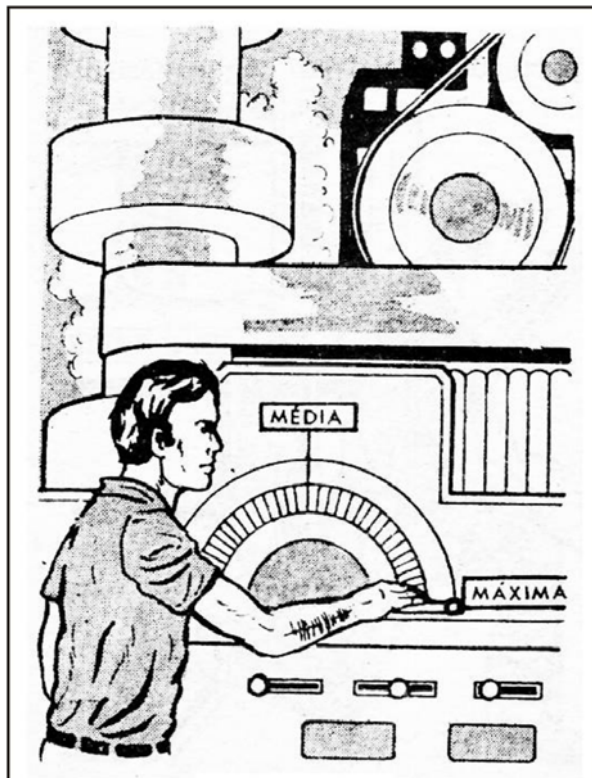


Fig. 29 - Atos inseguros – Sobrecarga.

5 Lubrificar, ajustar e limpar máquinas em movimento.

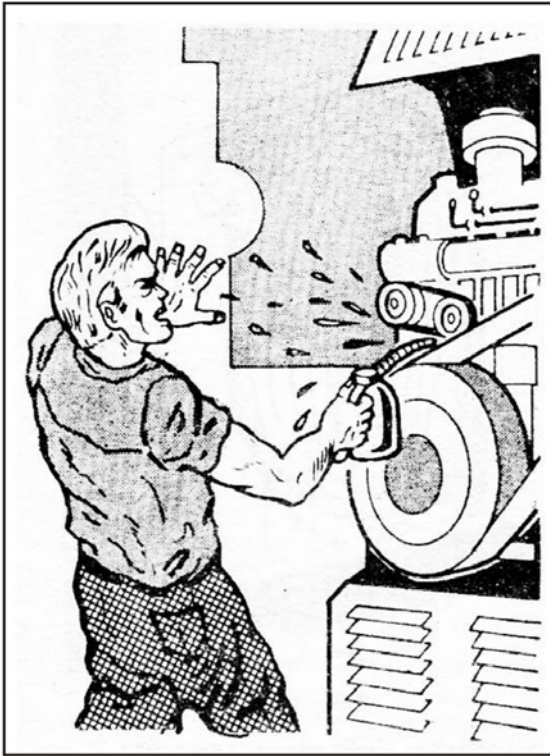


Fig. 30 - Atos inseguros – Ajuste, limpeza e manutenção com o equipamento trabalhando.

6 Improvisar ou empregar inadequadamente ferramentas manuais.



Fig. 31 - Atos inseguros – Ferramental inadequado ao trabalho.

7 Inutilizar dispositivos de segurança.

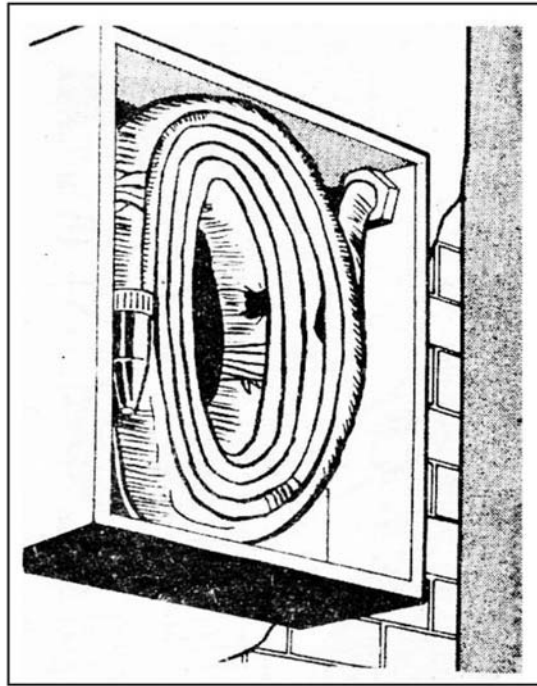


Fig. 32 - Atos inseguros – Inutilizar equipamentos de segurança.

8 Não usar proteção individual.

9 Uso de roupas inadequadas e acessórios desnecessários.

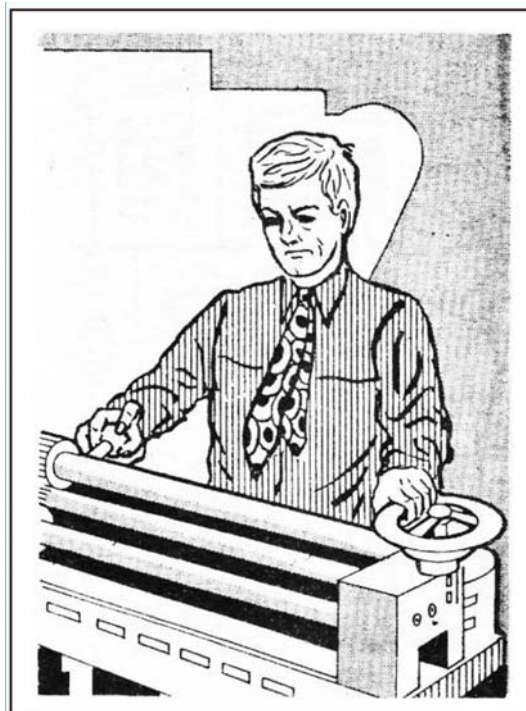


Fig. 33 - Atos inseguros – Roupas inadequadas ao trabalho.

10 Manipular incorretamente produtos químicos



Fig. 34 - Atos inseguros.

11 Transportar ou empilhar inseguramente.

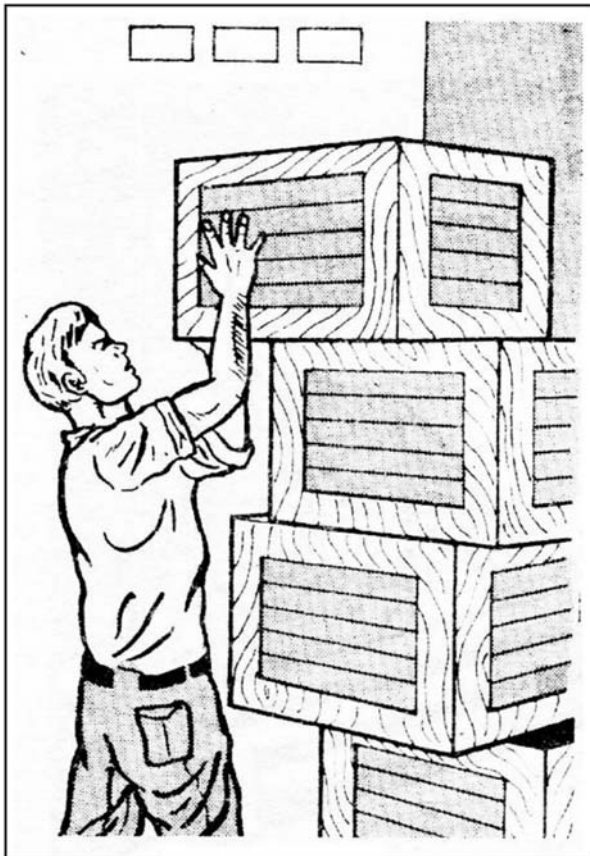


Fig. 35 - Atos inseguros – No transporte ou armazenagem.

12 Fumar e usar chamas em lugares indevidos.

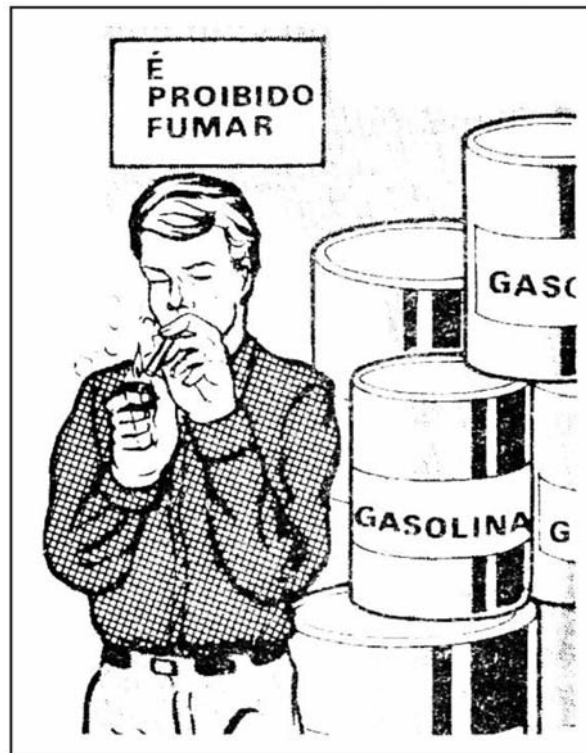


Fig. 36 - Atos inseguros – Falta de respeito às indicações.

13 Tentar ganhar tempo.

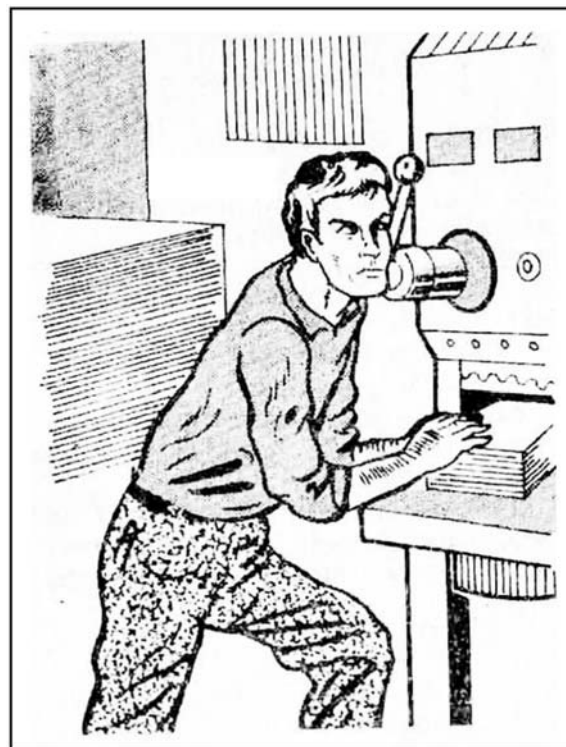


Fig. 37 - Atos inseguros – Ganhar tempo.

## 14 Brincar e exibir-se.



Fig. 38 - Atos inseguros – Brincadeiras.

## Nona Aula



Nessa aula serão apresentados para os jovens os conceitos do trabalho da Comissão de Prevenção de Acidentes CIPA, sua composição e atuação no ambiente de trabalho, definindo alguns itens importantes da legislação do trabalho, conceitos básicos dos EPIs e EPCs.



### Passo 1 / Aula teórica



50 min

### Atividades prevencionistas na empresa

Em se tratando de responsabilidade pela segurança na empresa, quem deveria assumi-la? Será que um setor daria conta de tudo o que acontece numa empresa? — Não. Seria um absurdo. A prevenção de acidentes precisa da colaboração de todos.

É por isso que toda empresa deve ter uma CIPA – Comissão Interna de Prevenção de Acidentes. O objetivo fundamental da CIPA é a prevenção de acidentes. Sua

composição e atuação estão definidas por legislação específica – a Norma Regulamentadora NR-5, da Portaria nº 33 (27/10/83) do Ministério do Trabalho.

A CIPA tem papel importante porque possibilita a união de empresários e empregados para estudar problemas sérios da empresa e descobrir meios e processos capazes de cercar o local de trabalho da maior segurança possível.

A CIPA pode contribuir para a solução de problemas, com campanhas e observações cuidadosas do ambiente de trabalho, ou seja, as inspeções de segurança. As campanhas da CIPA têm por objetivo desenvolver uma mentalidade prevencionista entre os trabalhadores.

Quando se fala das atividades prevencionistas, não se pode deixar de destacar as inspeções de segurança. Existem alguns colegas de trabalho que andam pela fábrica anotando tudo; são os cipeiros (membros da CIPA) fazendo levantamento dos perigos existentes, para impedi-los de virem a se tornar causa de acidentes.

Toda inspeção segue um ciclo de procedimentos básicos que contribui para a elaboração do mapeamento de riscos, ou seja, uma metodologia de inspeção dos locais de trabalho tornada obrigatória a partir da publicação da Norma Regulamentadora do Ministério do Trabalho NR-9, de 17/8/92.

Os acidentes são evitados com a aplicação de medidas específicas de segurança, selecionadas de forma a estabelecer maior eficácia na prática. As prioridades são:

- **Eliminação do risco** – Não significa torná-lo definitivamente inexistente. Um exemplo: uma escada com piso escorregadio apresenta um sério risco de acidente. Esse risco pode ser eliminado com a troca do material do piso por outro, emborrachado e antiderrapante.
- **Neutralização do risco** – O risco existe, mas está controlado. Essa alternativa é utilizada na impossibilidade temporária ou definitiva da eliminação de um risco. Por exemplo: as partes móveis de uma máquina – polias, engrenagens, correias, etc. – devem ser neutralizadas com anteparos protetores, uma vez que essas partes não podem ser simplesmente eliminadas.
- **Sinalização do risco** – É a medida que deve ser tomada quando não for possível eliminar ou isolar o risco. Por exemplo: máquinas em manutenção devem ser sinalizadas com placas de advertência; locais onde é proibido fumar devem ser devidamente sinalizados.

## Proteção coletiva x Proteção individual

As medidas de proteção coletiva, isto é, que beneficiam a todos os trabalhadores indistintamente, devem ter prioridade, conforme determina a legislação que dispõe sobre segurança e medicina do trabalho.

Os equipamentos de proteção coletiva são conhecidos pela sigla EPC. Os EPCs devem ser mantidos nas condições que os especialistas em segurança estabelecerem, devendo ser reparados sempre que apresentarem qualquer deficiência.

Alguns exemplos de aplicações de EPCs:

- Sistema de exaustão que elimina gases, vapores ou poeiras contaminantes do local de trabalho.
- Enclausuramento, isto é, fechamento de máquina barulhenta para livrar o ambiente do ruído excessivo.
- Comando bimanual, que mantém as mãos ocupadas, fora da zona de perigo, durante o ciclo de uma máquina.
- Cabo de segurança para conter equipamentos suspensos sujeitos a esforços, caso venham a se desprender.

Quando não for possível adotar medidas de segurança de ordem geral para garantir a proteção contra os riscos de acidentes e doenças profissionais, devem ser utilizados os equipamentos de proteção individual, conhecidos pela sigla EPIs.

São considerados equipamentos de proteção individual todos os dispositivos de uso pessoal destinados a proteger a integridade física e a saúde do trabalhador.

Os EPIs não evitam os acidentes, como acontece de forma eficaz com a proteção coletiva; apenas diminuem ou evitam lesões que possam decorrer de acidentes.

Existem EPIs para proteção de praticamente todas as partes do corpo. Alguns exemplos:

- **Cabeça e crânio** – Capacete de segurança contra impactos, perfurações, ação dos agentes meteorológicos, etc.
- **Olhos** – Óculos contra impactos, que evitam a cegueira total ou parcial e a conjuntivite. Utilizados em trabalhos onde existe o risco de impacto de estilhaços e cavacos.
- **Vias respiratórias** – Protetor respiratório que previne problemas pulmonares e das vias respiratórias, e

deve ser utilizado em ambientes com poeiras, gases, vapores ou fumos nocivos.

- **Face** – Máscara de solda, que protege contra impactos de partículas, respingos de produtos químicos, radiação (infravermelha e ultravioleta) e ofuscamento. Deve ser utilizada nas operações de solda.
- **Ouvidos** – Concha, que previne contra a surdez, o cansaço, a irritação e outros problemas psicológicos. Deve ser usada sempre que o ambiente apresentar níveis de ruído superiores aos aceitáveis, de acordo com a norma regulamentadora.
- **Mãos e braços** – Luvas, que evitam problemas de pele, choque elétrico, queimaduras, cortes e raspões, e devem ser usadas em trabalhos com solda elétrica, produtos químicos, materiais cortantes, ásperos, pesados e quentes.
- **Pernas e pés** – Botas de borracha, que proporcionam isolamento contra eletricidade e umidade. Devem ser utilizadas em ambientes úmidos e em trabalhos que exijam contato com produtos químicos.
- **Tronco** – Aventais de couro, que protegem de impactos, respingos de produtos químicos, choque elétrico, queimaduras e cortes. Devem ser usados em trabalhos de soldagem elétrica, oxiacetilênica, corte a quente, etc.

A lei determina que os EPIs sejam aprovados pelo Ministério do Trabalho mediante certificados de aprovação (CA). As empresas devem fornecer os EPIs gratuitamente aos trabalhadores que deles necessitarem. A lei estabelece também que é obrigação dos empregados usar os equipamentos de proteção individual onde houver risco, assim como os demais meios destinados à sua segurança.

A tarefa do Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e em Medicina do Trabalho (SESMT) e da CIPA ou, na falta desses, do empregador, é determinar o tipo adequado de EPI em face do risco que irá neutralizar e quais as pessoas na empresa que deverão utilizá-los.

O treinamento é uma fase importante no processo de utilização dos EPIs. Quando o trabalhador recebe instruções sobre a maneira correta de usar o EPI, aceita-o melhor. Sendo assim, sempre que houver dúvidas sobre a utilização de um EPI, deve-se pedir esclarecimentos ao setor de segurança da empresa.

Controle e conservação dos equipamentos de proteção. Cabe ao setor de segurança da empresa, juntamente

com outros setores competentes, estabelecer o sistema de controle adequado.

A conservação dos equipamentos é outro fator que contribui para a segurança do trabalhador. Portanto, cada profissional deve ter o seu próprio equipamento e deve ser responsável pela sua conservação.

## Décima Aula



Essa aula será uma continuação da quinta aula e nela os jovens devem relacionar planejamento da produção e venda.



### Passo 1 / Aula teórica



50 min

## Planejamento da produção e venda

### O que fazem os sistemas de administração da produção?

Os sistemas de administração da produção são os sistemas de informação para apoio à tomada de decisões, táticas e operacionais, referentes às seguintes questões logísticas básicas:

- O que produzir e comprar
- Quanto produzir e comprar
- Quando produzir e comprar
- Com que recursos produzir para que sejam atingidos os objetivos estratégicos da organização

Os três sistemas mais empregados atualmente na administração de produção nas empresas são os seguintes:

- Sistemas MRP II/ERP, que se baseiam fundamentalmente na lógica do cálculo de necessidades de recursos a partir das necessidades futuras de produtos.
- Sistemas *just-in-time*, de inspiração japonesa.
- Sistemas de programação da produção com capacidade finita, que se utilizam fundamentalmente das técnicas de simulação em computador, os famosos sistemas APS (*Advanced Planning Scheduling*).

Todo sistema de administração da produção deve ser capaz de dar suporte para o planejador junto com a organização tomarem algumas decisões como:

- calcular e planejar as necessidades futuras de capacidade produtiva da organização;
- calcular e planejar os materiais comprados;
- calcular os níveis de estoque de matérias-primas, materiais em processo e produtos acabados;
- planejar a produção utilizando os recursos de forma adequada, ou seja, maximizando a utilização produtiva;
- cumprir os prazos acordados com os clientes;
- informar os clientes caso haja algum problema no não-atendimento dos produtos vendidos.

Para iniciar o processo de administração da produção é preciso conhecer qual produto deve ser vendido e em que período para se calcular os itens acima.

Um dos principais objetivos do S&OP é gerar planos de vendas, de produção, financeiro e de introdução de novos produtos, que sejam realistas, viáveis e coerentes uns com os outros e coerentes com os objetivos estratégicos da organização. Isso é conseguido por meio de um processo do qual participam elementos de todas as principais áreas da empresa para que sejam analisados os impactos de cada decisão em todas as áreas envolvidas.

Geralmente o processo de planejamento é hierárquico e segue o horizonte de planejamento conforme a seguir:

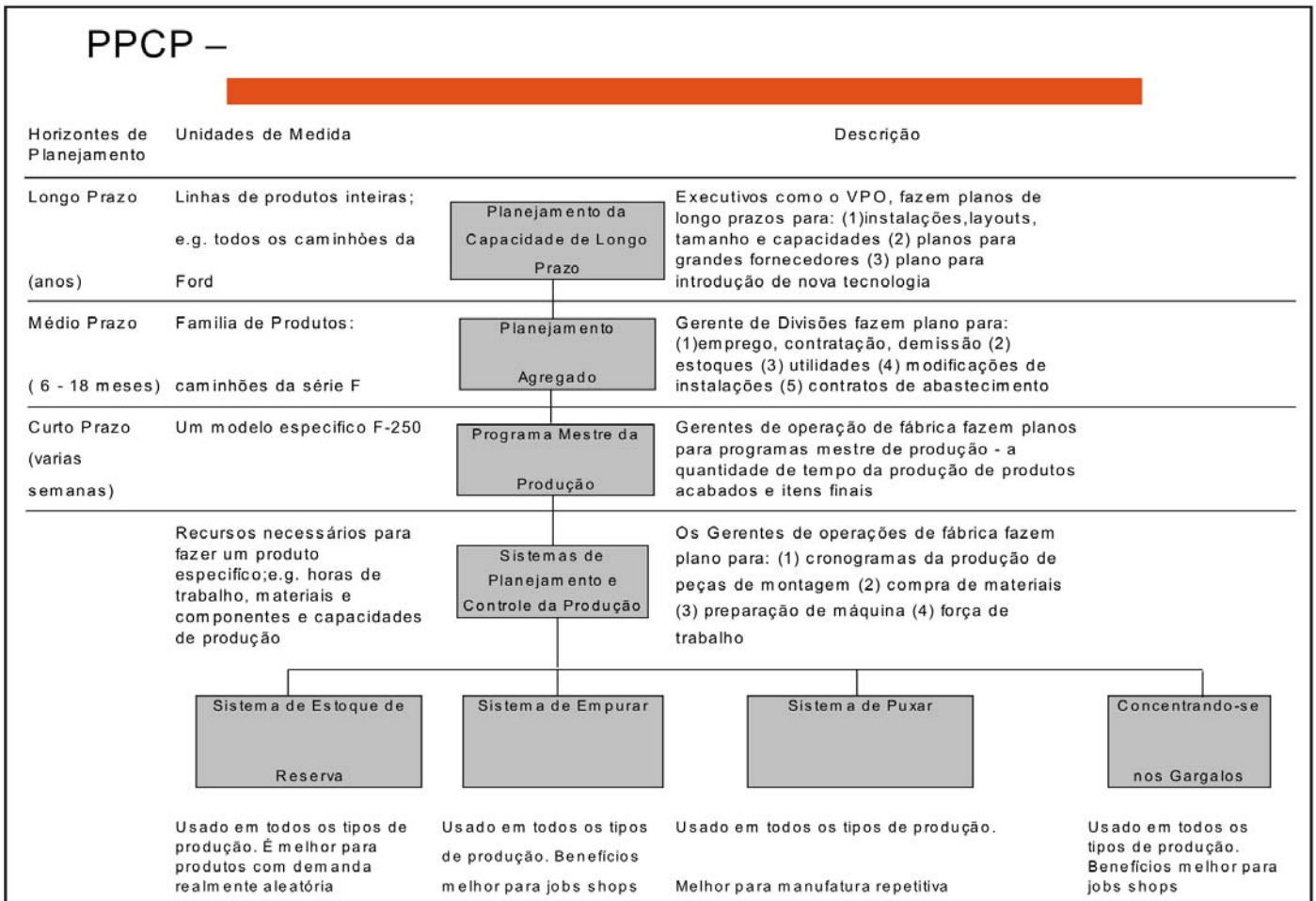


Fig. 39 - Planejamento da produção.

## Décima Primeira Aula



Essa aula dará continuidade à aula anterior e os jovens farão uma relação entre mercado interno e mercado externo.



Passo 1 / Aula teórica



50 min

### Mercado interno e mercado externo

#### Conceito

#### O que é Mercado?

Podem-se dividir as unidades econômicas em dois grandes grupos de acordo com a sua função – compradores e vendedores. Os compradores abrangem

os consumidores, aqueles que adquirem bens e serviços; e as empresas, que adquirem mão-de-obra, capital e matérias-primas que utilizam para produzir bens e serviços. Em conjunto, compradores e vendedores interagem, originando os mercados. Mercado é um grupo de compradores e de vendedores que, por meio de suas reais ou potenciais interações, determina o preço de um produto ou conjunto de produtos.

### **Qual é a extensão de um mercado?**

A extensão de um mercado refere-se aos seus limites, tanto geográficos quanto em termos da gama de produtos que nele são oferecidos.

- **Mercado interno** – Situado dentro das divisas geográficas de um país, onde as empresas produzem seus produtos e serviços para serem vendidos dentro do país.
- **Mercado externo** – Onde as empresas vendem seus produtos fora do país de fabricação.

### **O que afeta os mercados interno e externo nos aspectos organizacionais e produtivos?**

Quando se produz produtos e serviços para os mercados interno e externo sempre se está vulnerável à demanda. Porém, quando se produz para o mercado externo significa que há bons produtos/serviços com custos bastante competitivos o que beneficia a empresa, pois ela geralmente recebe por uma moeda mais forte que a interna e paga seus custos na moeda local, principalmente a mão-de-obra, tornando essa empresa fonte de suprimento para vários outros países.

No aspecto organizacional é de importância relevante, pois seus funcionários com certeza irão ter relacionamento com outras culturas para um atendimento de serviço ou mesmo extensão, o que valoriza os funcionários que trabalham nessa empresa. Outro aspecto importante é a previsibilidade da demanda em função das economias dos outros países estarem mais estabilizadas que a moeda do Brasil, portanto, a continuidade do emprego é mais forte e constante.

- **Balança comercial** – É o total de dinheiro que entra e sai de um país, na forma de importações e exportações de produtos, serviços, capital financeiro, bem como transferências comerciais.

**Fonte** – Ministério do Desenvolvimento

## Balança comercial da semana

### 3ª Semana – Abril de 2007

- **Resultados gerais**

Na 3ª semana de abril, a balança comercial apresentou exportações de US\$ 3,038 bilhões e importações de US\$ 1,8 bilhão, resultando em superávit de US\$ 1,238 bilhão. Até a 3ª semana de abril, as exportações acumulam US\$ 8,487 bilhões e as importações US\$ 5,486 bilhões, com superávit de US\$ 3,001 bilhões. No ano, as exportações totalizam US\$ 42,406 bilhões e as importações, US\$ 30,707 bilhões, com saldo positivo de US\$ 11,699 bilhões.

**Fonte** – Ministério do Desenvolvimento

Conforme se observa na matéria extraída do Ministério do Desenvolvimento, o País está gerando divisas com um superávit positivo ao longo do período, o que é importante para a nossa economia.

Cada vez mais as empresas estão buscando o mercado externo em função da moeda e por uma demanda constante, já que seu produto tem um custo atraente perante os demais países.

### Aspectos logísticos

O conceito de logística surgiu na Segunda Guerra Mundial quando os países necessitavam de uma infraestrutura para envio de suprimentos (alimentação, vestuário, armas e tudo de consumo) para os soldados na guerra, além da necessidade de estudar a quantidade de envio e o modo de transporte. A partir desse instante começa a surgir uma nova matéria de vital importância no mundo dos negócios que vem passando por transformações nos seus conceitos. Neste bloco será aprofundado o conceito de SCM (*Supply Chain Management*), logística de suprimentos, logística de produção e logística de distribuição.

## Décima Segunda Aula



Nessa aula serão estudados conceitos relativos a custo de produção, sua classificação e sistemas. Em especial, serão vistos os processos que se enquadram no sistema de produção com processo contínuo, seus registros e avaliações.



## Custos de produção

Os conceitos de custeio atualmente têm também uma função de suporte de análise de decisões e não só de cálculos e valores de resultados contábeis. Essa mudança, que deslocou o profissional de custos de análises contábeis para a gestão de custos, obrigou um aprofundamento de seus conhecimentos de todo o processo produtivo e de fluxo de materiais.

Hoje, em verdade, a contabilidade ou a gestão de custos toma forma de sistema de informação que, agregado aos novos sistemas de automatização e fluxo de informações, permite e auxilia os profissionais a tomarem decisões de caráter prático, possibilitando um melhor alcance para a empresa em seus resultados financeiros, reduzindo custos de produção, melhorando sua rentabilidade e qualidade, e permitindo a integração do conceito de valor à estratégia organizacional.

Com o intuito de simplificar serão adotados os passos necessários para apresentar um ciclo da contabilidade de custos na produção.

Conforme visto na primeira aula, para definir o planejamento do processo, deve-se decidir inicialmente o tipo básico de processamento da produção, isto é, seus passos para produzir cada produto ou item. O processo que está sendo estudado é o processamento com foco no produto, chamado de processo contínuo ou batelada.

Na contabilidade de custos essa decisão estabelece o sistema de valorização de produção que será adotado, isto é, as considerações de custo/valor são determinadas, na maioria das vezes, pelos processos produtivos definidos. Eventualmente, podem-se alterar os processos produtivos para ajustá-los a um determinado sistema ou política de custo, no entanto isso é inadequado e resulta em altos gastos para seus ajustes e grande perda de dados históricos.

O sistema de valoração de produção permite que a cada passo ou fase do processo agreguem-se valores correspondentes às despesas e custos que ele determina.

Esse procedimento, no entanto, passa por outras avaliações antes de ser implantado.

### Custo e despesa

Quando são registrados gastos financeiros na contabilidade da empresa deve-se inicialmente classificá-los e identificá-los apresentando-os de acordo com sua

natureza e ocorrência, verificando se estão ou não vinculados a alguma atividade produtiva. Entenda-se aqui a atividade produtiva “fim” de cada empresa.

Nesse momento, deve-se separar o que vem a ser gastos realizados exclusivamente para produzir os produtos, que são chamados de **custos** e outros gastos internos ou externos que serão chamados de **despesas**, e podem ser relacionados com a produção dos produtos operacionais ou não operacionais.

Os custos serão registrados e acumulados à medida que os produtos completam processo a processo ou quando findam todo o fluxo de produção. Enfim, são considerados como “acabados” e ficam disponíveis à comercialização. Esses valores deverão estruturar os valores de vendas de cada item dos produtos, o que se chama de CMV ou Custo das Mercadorias Vendidas.

As despesas, por sua vez, tenham sido adequadas ou não, deverão ser consideradas no fim dos processamentos contábeis, e por essa razão, se forem de alto valor, deverão gerar altos impactos nos resultados finais e nos valores de lucratividade.

Os custos são divididos em três valores básicos:

- Material
- Mão-de-obra
- Gastos gerais de fabricação



Atualmente, o conceito de custos não envolve apenas os gastos gerados na produção do item na linha de fabricação, mas considera-se também que cada setor ou departamento da empresa gera também produção e resultados. Seria como se fossem consideradas as atividades de compras, vendas, financeiras, contabilidade, recursos humanos, etc., empresas isoladas que possuem seus custos voltados aos seus produtos finais (exemplo: serviços) e suas despesas. Assim, pode-se avaliar o resultado financeiro de cada uma dessas fases empresariais.

Esses valores são considerados basicamente da seguinte forma: no caso do material, sabe-se dos valores de aquisição e sua obtenção no mercado e os volumes de utilização na composição dos itens/produtos. Dessa forma, valorizando o estoque desses produtos e mantendo esse valor ajustado à medida que se movimenta, cada produto acabado deverá carregar sua parcela desses valores, conforme os componentes que o formam. Esses componentes são aplicados durante os processos de fabricação, e a acumulação desses valores determinará o valor unitário final do produto acabado.

No caso de produção contínua, entende-se que os produtos/itens deverão sempre conter a mesma grade de composição e de utilização de componentes, logo, o

acompanhamento dos custos pode ser realizado conforme o total de unidades produzidas. Dessa forma, saber-se-á também o total de cada componente utilizado naquele lote de fabricação, o que facilita seu controle e reposição.

Existem ainda algumas considerações que se devem ter sobre custeio, principalmente quanto ao nível de atividade e à incidência.

O custeio por nível de atividade considera o custo em três tipos:

- **Custos fixos** – São custos constantes, que sempre existirão independentemente das quantidades produzidas (exemplo: energia elétrica).
- **Custos variáveis** – São custos que variam proporcionalmente às quantidades produzidas (exemplo: matérias-primas).
- **Custos mistos** – São custos compostos que variam conforme o volume de produção, porém, não são proporcionais a essa variação ou possuem uma parcela fixa (exemplo: energia elétrica do galpão de produção)

Quanto à incidência, o custo se define por dois tipos de aplicação:

- **Custo direto** – Valor aplicado diretamente ao produto ou serviço.
- **Custo indireto** – Valor aplicado indiretamente ao produto ou serviço. Normalmente esse valor é rateado por unidade produzida, processo, departamento ou na utilização de sistema de custeio por requisição/aplicação. Nesse último caso podem-se considerar os materiais retirados do estoque de matérias-primas para utilização em determinado lote de produção.

Essa consideração de custo por componente, que foi comentada acima, não é a única forma que se pode custear a produção. Existem quatro métodos básicos que podem ser considerados:

- Custeio por custo padrão
- Custeio por processo ou centros de custos
- Custeio por ordem de produção
- Custeio por atividade (ABC)

## Custo padrão

O custo padrão dos itens/produtos é construído utilizando estudos de engenharia na determinação de suas composições, mão-de-obra e gastos gerais de fabricação necessários à sua manufatura. São considerados os seguintes critérios:

- Seleção e quantificação de seus componentes
- Tempos de produção e rendimento dos processos
- Projetos de equipamentos e operações

Na utilização desse método de custeio, pode-se sempre comparar os custos reais da produção com os valores padrão e controlar os desvios que possam ocorrer em seu rendimento e operações. Entre as vantagens de utilização desses métodos podem ser considerados: o controle e redução de custos, medição da eficiência do sistema produtivo, simplificação do processo de custeio e inventários, e fixação dos preços de venda.

## Processos ou centros de custos

Esse sistema se adapta bem a empresas que possuam um sistema de produção contínua, que é o objetivo neste estudo, com processos consecutivos para produção de produtos padronizados (exemplos: eletrodomésticos, produtos químicos, etc.)

Esse método é o mais utilizado no Brasil e no mundo. O departamento/centro de custo é uma unidade de produção que acumula custos por um determinado período e posteriormente se consolida ao total do produto. Por esse método, toda fábrica deve ser dividida em centros de custos, estabelecer seus orçamentos e manter rígido controle nos lançamentos.

Os centros de custos são classificados em produtivos, auxiliares e comuns.

Os produtivos são os centros de custos que contribuem diretamente na fabricação, os auxiliares são os que realizam serviços que não estão ligados à produção e os comuns são os que não estão ligados à produção e prestam serviços aos outros centros de custos.

O método é eficaz para controle dos gastos dos departamentos da empresa e propicia uma análise da sua qualidade e do seu escalonamento. No entanto, o detalhamento dos gastos deixa a desejar, não permitindo observar as prováveis perdas que ocorrem.

Dos custos totais dos departamentos/centros de custo distribuem-se os valores aos produtos que foram elaborados em seu interior.

## Atividades – ABC

ABC é um sistema de custos que visa quantificar as atividades realizadas por uma empresa para alocar as despesas de uma forma mais realista aos produtos e serviços.

O conceito principal do sistema ABC é que se consideram as atividades as causadoras dos custos e os produtos adquirem esses custos por meio das atividades que são exigidas em sua fabricação. O sistema obriga uma determinação mais minuciosa das atividades/custos que se utilizam para a produção.

## Ordens de fabricação

As ordens de fabricação, ou pedidos de fabricação, são utilizadas em empresas para que se possam acumular os valores que são averiguados durante os processos produtivos.

Os valores das matérias-primas, mão-de-obra e custos indiretos são classificados a partir da emissão de um pedido ou ordem de produção de lotes ou serviços.

A grande dificuldade desse método de registro é que os valores correspondentes às matérias-primas utilizadas são averiguados rapidamente e durante o processo, enquanto que as despesas com mão-de-obra e indiretas deverão ser consolidadas apenas no fim dos períodos produtivos (exemplo: fechamento mensal).

Os registros de lançamento nas ordens de produção são os fatores mais importantes em qualquer sistema de custos.

Enfim, a preocupação da contabilidade de custos é não apenas com as formas de escrituração, mas também se interessa em medir, sistematizar e acumular os custos de determinado produto, serviço ou atividade.



### Passo 2 / Atividade sugerida



50 min

Os jovens deverão, por meio de exercícios, analisar o balancete mensal da empresa, localizando o custo de produção de vários itens. É aconselhável solicitar a presença de um funcionário da contabilidade de sua empresa que possa auxiliar nessas atividades.

# Décima Terceira Aula



Nessa aula serão estudados conceitos relativos a custos de distribuição.



Passo 1 / Aula teórica



40 min

## Custos de distribuição

Os custos logísticos são decorrência das operações logísticas da empresa. Essas operações são importantes, pois agregam satisfação aos clientes valorizando o produto, para obter uma qualidade de serviços que atenda o cliente com o produto certo e sem defeitos, na quantidade certa e na hora combinada, até mesmo somente na hora de utilizá-lo.

Para proporcionar esse nível de atendimento, as empresas necessitam investir em sua estrutura logística e de estoques, o que deverá resultar em custos adicionais, contrariando a conceituação de que é na área de logística que se encontram possibilidades de redução de custos. Porém, na realidade, o aumento de custo nos serviços e nos estoques gera satisfação ao cliente e, em consequência, um aumento de volumes de venda.

De qualquer forma, esses custos necessitam ser acompanhados pelo gestor da área de logística. A falta de conhecimento desses custos desanima os gestores no seu acompanhamento, e eles terminam não praticando índices de controle de suas operações.

É comum quando se fala em custos logísticos considerar inicialmente os valores relativos aos transportes das mercadorias; no entanto, apesar de sua grande importância, eles não se resumem somente a isso. Para apresentar os valores de custeio logístico definiu-se a utilização do custo total que envolve basicamente três custos: custos na armazenagem, custo de manutenção de estoques e transporte.

Pode, então, ser considerada a fórmula abaixo:

$$C_L = C_A + C_{ME} + C_T$$

**Sendo:**  $C_L$  – Custos Logísticos Totais

$C_A$  – Custo de Armazenagem

$C_{ME}$  – Custo de Manutenção de Estoques

$C_T$  – Custo de Transporte

Reconheceu-se que administrar transportes, estoques e processamentos de pedidos conjuntamente poderia levar a substanciais reduções no custo quando comparado com a administração dessas atividades separadamente. A idéia do custo total foi importante para decidir quais as atividades da firma deveriam ser agrupadas conjuntamente e chamadas de distribuição física.

### Custo de armazenagem

Como custo de armazenagem podem ser considerados os valores que incidem pela manutenção dos estoques. Dessa forma, quanto maiores os estoques e o valor deles, maior será o custo de armazenagem, ainda mais se for considerado o fator tempo, que é diretamente proporcional a esses custos.

O custo de armazenagem é composto por:

- valor dos estoques
- edificações
- equipamentos
- material
- pessoal

Representa-se o custo de armazenagem conforme as fórmulas abaixo:

$$C_A = \left( \frac{Q}{2} \right) \cdot P \cdot T \cdot i \quad (\text{Para itens})$$

$$C_A = \left\{ \left[ \left( \frac{Q}{2} \right) \cdot P \right] + D_F \right\} \cdot T \cdot i$$

(Para estoques gerais)

**Sendo:**  $C_A$  – Custo de armazenagem

$Q$  – Quantidade de estoque

$P$  – Valor considerado

$T$  – Período de estocagem

$D_F$  – Despesas gerais

$i$  – Taxa de juros

**Educador**, caso a turma com a qual esteja trabalhando tenha dificuldades em conhecimentos matemáticos, você poderá contornar a situação orientando os jovens a considerarem sempre os componentes da estrutura de custo e suas finalidades para que, ao menos, eles sintam a importância das despesas nas empresas e sua redução contínua.



Prepare exemplos com dados e valores reais, se possível, para aplicação das fórmulas e solidificação da noção de custo de armazenagem.

### Custo de manutenção de estoques

Custo de manutenção de estoques é o valor gasto pela empresa para aquisição e obtenção de seus estoques.

O custo ME também pode ser considerado como capital imobilizado ou investimento em estoque.

Os valores de custo dos materiais podem ser de compra (que devem conjugar todos os custos de pedir, receber e movimentar) ou de custo de produção, no caso de produto acabado.

Pode-se representá-lo da seguinte forma:

$$C_{ME} = \sum_{i=1}^n (Q_i \cdot C_i)$$

**Sendo:**  $C_{ME}$  – Custo de Manutenção de Estoques

$n$  – Número de itens do estoque

$Q_i$  – Quantidade média de estoque

$C_i$  – Custo de compra ou de fabricação

### Custo de transporte

Os custos de transporte são considerados pelos valores pagos tanto nas compras (frete de recebimento) como nas vendas (frete de entrega).

Quando os transportes são realizados com frotas próprias, devem ser considerados tanto os custos das

viagens como os da manutenção dos veículos, enquanto que se os fretes forem realizados por terceiros, utiliza-se do valor pago efetivamente.

Os custos de transporte próprios carregam valores variáveis, como combustíveis, lubrificação, manutenção e pneus. Como custos fixos são considerados a depreciação, remuneração do capital investido, salários e seguro. Porém, para esses casos, a necessidade de registrar os custos logísticos deve contar com um bom sistema de controle e custeio para que possa indicar os custos resultantes do fornecimento de cada serviço e que possibilite análise em separado dos custos e receitas.

**Educador**, caso o grupo tenha condições, detalhe os custos de transporte conforme abaixo:

Combustível – km x (\$) litro

Lubrificação – \$ / km

Manutenção –  $\frac{\sum \text{Despesas}}{\$ \text{ Veículo Novo}} \times \frac{\$ \text{ atual do veículo}}{\text{km}}$

Pneus –  $\frac{\$ \text{ pneus} + \$ \text{ recapagem}}{\text{km}}$

Depreciação =  $\frac{I - R}{\text{no.de meses usados}}$

Remuneração de capital –  $(I - R)FRC + RI$

Salários – Salários base + encargos

Seguro

$\frac{\text{no.médio ocorrências} \times \text{valor médio pago}}{\text{no.de veículos}}$  –

**Sendo:** **I** – Investimento na aquisição do veículo

**R** – Valor residual do veículo

**FRC** – Fator de Remuneração de Capital  
(verifique em sua contabilidade)



## Passo 2 / Atividade sugerida



50 min

Solicite aos jovens que verifiquem no departamento responsável o custo de transporte de uma carga similar para dois ou três tipos de veículos e lotes de entrega diferentes. O objetivo é que se verifique a possibilidade de redução de custos logísticos com uma análise e planejamento adequados de expedição.

## Décima Quarta Aula



Nessa aula os jovens entrarão em contato com os conceitos de estrutura de custos e a composição estrutural do preço de venda de produtos, seus



## Passo 1 / Aula teórica



40 min

### Preço de venda

Para a construção do preço de venda das mercadorias e produtos é necessário conhecimento não apenas dos custos que compõem esses determinados produtos, mas também outros componentes que farão parte ou afetarão os valores que serão repassados ao mercado e aos clientes.

Conforme aulas anteriores, verifica-se a existência de vários custos que compõem a estrutura de valor do produto acabado e também as despesas logísticas que podem incidir nesses mesmos produtos até o momento da entrega efetiva aos clientes. Todos esses valores devem necessariamente fazer parte da estrutura de preço dos produtos para que esses valores aplicados sejam transferidos ao mercado. E de outra parte, também devem-se considerar as margens de lucro que se visualiza, pois esse montante permitirá a continuidade da empresa, o cumprimento das obrigações comerciais, oficiais e sociais, bem como a satisfação dos investidores e proprietários.

Vários aspectos devem ser considerados na estruturação do preço de venda e não apenas os custos de produção e distribuição.

Inicialmente deve-se considerar que todo material, mão-de-obra e despesas gerais de fabricação já estão

consolidados no custo final do produto acabado. Esse custo, na estrutura do preço, chama-se “custo do produto” ou valor da mercadoria. Ele foi construído pelo registro das despesas incorridas durante os processos de aquisição de matérias-primas e serviços e despesas com processos de produção. Quando a empresa é de revenda e não transforma o produto, considera-se o valor de compra dos materiais.

Outros fatores que compõem a estrutura do preço se referem às despesas acessórias: fretes, seguros, descontos, impostos, juros e uma margem para que se dê sustentabilidade ao negócio.

Muitas vezes, o desconhecimento desses fatores acessórios leva as empresas a “copiar” o preço de venda dos concorrentes e sobre eles ainda ajustar algumas margens para obter mercado; esse procedimento pode determinar a morte do produto ou mesmo a falência das empresas. O conhecimento dos custos envolvidos na formação dos preços é de fundamental importância para as empresas, mesmo que seja para determinar o encerramento dos negócios.

Outro aspecto a ser considerado na formação de preços é que o custo final deverá estar em situação competitiva com o mercado e a concorrência. Nesse aspecto, devem-se levar em conta várias funções estratégicas e não apenas o fator custo. Por exemplo, serviços adicionais, vantagens competitivas como atendimento pós-venda, qualidade, bons serviços logísticos que a empresa possua em relação a seus concorrentes devem estabelecer a estratégia de sua introdução no mercado.

O custo direto ou custo do produto acabado (também chamado de *mark-up*) é o fator inicial para formação do preço de venda que pode ser analisado da seguinte forma básica:

- Custo do produto acabado
- Despesas fixas
- Despesas variáveis
- Lucro líquido

Despesas fixas são as realizadas pela empresa, independentemente do volume de vendas que se deseja, tais como: aluguéis, salários e encargos, água, energia, depreciação, terceiros, pró-labores (retirada de sócios-proprietários), etc.

Despesas variáveis são as que dependem do volume de vendas para serem realizadas, tais como: fretes, despesas logísticas, seguros, impostos, comissões, campanhas de desconto, propaganda, etc.

Pode-se considerar como formulação básica a equação abaixo:

$$PV = \frac{\text{Custo\_do\_Produto\_Acabado\_sem\_impostos}}{100\% - (\% \text{Despesas\_Fixas} + \% \text{Despesas\_Variáveis} + \text{Lucro\_líquido})}$$

Deve-se, nos resultados finais, considerar o que se chama de “margem de contribuição”, que determina o valor ou percentual do preço de venda que cada produto contribui para que possam ser pagas as despesas fixas após descontar os custos e as despesas variáveis. Exemplo:

- Preço de venda
- (-) Custos de produção
- (-) Despesas variáveis
- = **Margem de contribuição**
- (-) Despesas fixas
- = **Lucro líquido**

Na verdade, os objetivos de vendas são preestabelecidos por meio de várias formas e processos de previsão. Esses objetivos, ou volume unitário de vendas (*forecast*), são utilizados para a confirmação contábil adequada do preço de venda que deverá ser praticado para gerar o lucro que se espera.

Obviamente, no fim dos períodos faz-se um comparativo entre os valores de vendas e preços praticados com os valores inicialmente previstos; esse processo é chamado de “balancete”. Nesse momento são verificados e apurados o comportamento real dos custos de cada produto, despesas, margens de contribuição de cada produto para corrigir desvios e práticas inadequadas ou realizar ajustes nos processos, bem como redução de custos e despesas de uma forma geral. Pode-se também efetuar um ajuste nos objetivos e expectativas estabelecidas inicialmente.

Com toda essa estrutura contábil, a empresa conseguirá estabelecer seus preços de comercialização de produtos. Constantemente deverá ser comparado seu preço calculado com os valores praticados no mercado para que se possa realizar ajustes e verificar as dificuldades que existam em praticá-lo. Nesse momento, como foi dito, a verificação de vantagens competitivas se torna fundamental na determinação da lucratividade da empresa.

E no caso de as vantagens competitivas serem semelhantes às de seus concorrentes ou sem atrativos aos clientes, deve a empresa verificar sua estrutura de custos e despesas para ajustar seus preços de venda.



## Passo 2 / Atividade sugerida



10 min

Solicite ao departamento responsável que forneça um quadro simplificado do balancete da empresa ou de um produto específico para que os jovens possam acompanhar como se determinam os dados citados durante a aula. É importante também demonstrar, com exemplo da empresa, a estrutura de custos de um item específico.



## Décima Quinta Aula

Nessa aula será aplicado o conceito de SCM, definição e suas fronteiras internas e externas nas organizações.



## Passo 1 / Aula teórica



50 min

### Conceito de cadeia produtiva

São empresas/organizações que entregam produtos/serviços para outra organização adiante e em troca recebem um valor monetário por esse produto/serviço.

Na figura a seguir é possível se verificar quem são os participantes de uma cadeia produtiva.

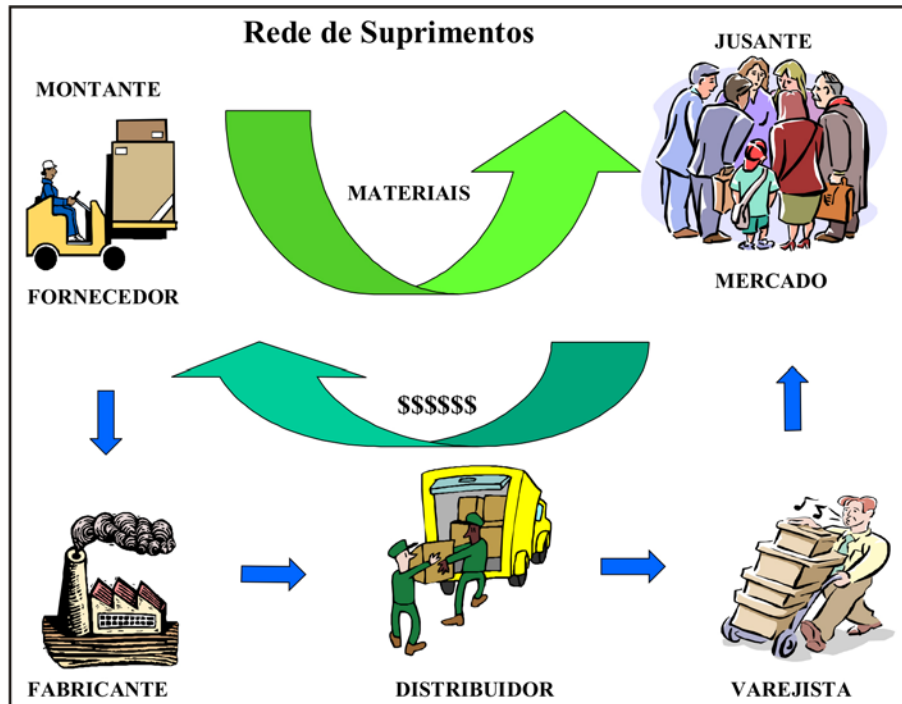


Fig. 40

Observa-se que os materiais percorrem a cadeia produtiva de montante para jusante e que há um fluxo de informação de jusante para montante. Em cada etapa existem atividades/relacionamento entre os atores. *Supply Chain Management* (SCM – Gestão da Cadeia de Suprimentos) tem representado uma nova e promissora fronteira para empresas interessadas na obtenção de vantagens competitivas de forma efetiva, e pode ser considerada uma visão expandida, atualizada, abrangendo a gestão de toda a cadeia produtiva de uma forma estratégica e integrada. SCM pressupõe, fundamentalmente, que as empresas devem definir suas estratégias competitivas e funcionais por meio de seus posicionamentos (tanto como fornecedores quanto como clientes) dentro das cadeias produtivas nas quais se inserem. Assim, é importante ressaltar que o escopo da SCM abrange toda a cadeia produtiva, incluindo a relação da empresa com seus fornecedores e clientes, e não apenas a relação com os seus fornecedores.

SCM também introduz uma importante mudança no paradigma competitivo, na medida em que considera que a competição no mercado ocorre, de fato, no nível das cadeias produtivas e não apenas no nível das unidades de negócios (isoladas).

## Objetivos e práticas da SCM

Um objetivo básico na SCM é maximizar e tornar realidade as potenciais sinergias entre as partes da cadeia produtiva, de forma a atender o consumidor final mais eficientemente, tanto por meio da redução dos custos como por intermédio da adição de mais valor aos produtos finais.

A redução dos custos tem sido obtida pela diminuição do volume de transações de informações e papéis, dos custos de transporte e de estocagem, e da diminuição da variabilidade da demanda de produtos e serviços, dentre outros. Mais valor tem sido adicionado aos produtos, por meio da criação de bens e serviços customizados, do desenvolvimento conjunto de competências distintas; pela cadeia produtiva e pelos esforços para que tanto fornecedores como clientes aumentem mutuamente a lucratividade.

Práticas eficazes na SCM têm sido implementadas em todo mundo, as quais têm visado à simplificação e obtenção de uma cadeia produtiva mais eficiente. Resultados positivos têm sido obtidos principalmente por procedimentos como os listados abaixo.

- Reestruturação e consolidação do número de fornecedores e clientes:
- Diminuição do número de fornecedores e clientes, construindo e aprofundando as relações de parceria com o conjunto de empresas com as quais, realmente, se deseja desenvolver um relacionamento colaborativo e com resultado sinérgico.
- Divisão de informações e integração da infra-estrutura com clientes e fornecedores:
- A integração de sistemas de informações/computacionais e a utilização crescente de sistemas como o EDI (*Electronic Data Interchange*), entre fornecedores, clientes e operadores logísticos, têm permitido a prática, por exemplo, da reposição automática do produto na prateleira do cliente (*efficient consumer response*).

Tais práticas têm proporcionado, sobretudo, trabalhar com entregas *just-in-time* e diminuir os níveis gerais de estoques. Também, a utilização de representantes permanentes (*In plant representatives*) junto aos clientes tem facilitado, dentre outros fatores, um melhor balanceamento entre as suas necessidades e a capacidade produtiva do fornecedor, bem como uma maior agilidade na resolução de problemas.

Nos últimos anos, o interesse pela SCM tem crescido muito no mundo e no Brasil. Os avanços têm sido muito significativos tanto na área de serviços como na de manufatura. Os maiores desenvolvimentos têm ocorrido na indústria automobilística, a qual tem sido uma das principais responsáveis pela introdução das práticas mais inovadoras e efetivas na área.

#### Processos-chave de responsabilidade de SCM:

- Relacionamento com os clientes
- Serviço aos clientes
- Administração da demanda
- Atendimento de pedidos
- Administração do fluxo de produção
- Compras/suprimento
- Desenvolvimento de novos produtos



## 2 Central de Utilidades

Serão apresentadas aos jovens as principais informações sobre uma central de utilidades. Isso se dará ao longo dos módulos por meio de um modelo do processo de fabricação de celulose e papel, enfatizando as etapas onde ocorre a aplicação do setor de utilidades, inclusive demonstrando o funcionamento de caldeiras, fornos, estações de tratamento, entre outros.

Essas informações são imprescindíveis para possibilitar o desenvolvimento de uma base de conhecimento acerca da necessidade de mão-de-obra especializada, economia industrial e otimização no reaproveitamento das diferentes formas de energia, matéria, produtos químicos e subprodutos gerados.

### Objetivos

- Fornecer um entendimento geral sobre a central de utilidades de uma indústria.
- Capacitar o jovem à percepção da importância da central de utilidades para o funcionamento de uma empresa.
- Capacitar o jovem a entender o funcionamento de cada etapa de recuperação de energia e matéria.
- Estimular o jovem a refletir sobre dinâmica (interação) dos processos.
- Demonstrar a finalidade do processo de polpação.
- Demonstrar a origem da energia empregada nesse processo.
- Capacitar o jovem a entender o funcionamento de cada etapa da polpação.
- Trazer o conhecimento ao jovem acerca das principais variáveis de processo.
- Demonstrar a importância da central de lavagem na fabricação do produto.
- Demonstrar os mecanismos empregados em cada uma das etapas de lavagem.
- Evidenciar ao jovem as impurezas contidas no processo e sua remoção.

- Capacitar o jovem a interpretar fluxogramas do processo.
- Demonstrar os processos de evaporação, recuperação, utilidades, caustificação, entre outros, e suas respectivas propriedades.
- Apresentar fluxogramas, figuras, apresentações animadas e vídeos referentes a caldeiras.
- Capacitar o jovem no aprendizado básico das reações químicas decorrentes desses processos.
- Conscientizar o jovem quanto a aspectos de segurança do trabalho.
- Estimular o jovem a refletir sobre dinâmica (interação) dos processos.
- Demonstrar aos jovens as principais definições e tipos de branqueamento existentes.
- Capacitar os jovens a entender a importância dessa etapa na fabricação do produto.
- Capacitar os jovens a identificar as principais variáveis nessa etapa.
- Demonstrar passo a passo as etapas de formação do produto.
- Demonstrar as propriedades físicas e químicas do papel.
- Capacitar o jovem no conhecimento básico dos equipamentos e substâncias químicas empregadas.
- Contribuir para conscientização de segurança no trabalho e preservação do meio ambiente.

# Primeira Aula



Nessa aula serão abordadas as principais definições e funções de uma central de utilidades, em que os jovens construirão uma base de conhecimento geral para que se torne mais fácil à compreensão da **central de utilidades e setores de apoio** quando for abordada a fabricação de celulose e papel, que será o modelo de estudo por apresentar forte relação com o “setor de utilidades” devido ao funcionamento de caldeiras, geradores de energia, estações de tratamento de água para equipamentos e para utilização no processo e muitas vezes para consumo dentro da empresa.



## Passo 1 / Aula Teórica



30 min

### Aspectos gerais/Processamento

A central de utilidades tem como função o fornecimento de **insumos**, como **energia** elétrica, vapor de alta, média e baixa pressão, óleo combustível, ar comprimido com e sem tratamento, água tratada para caldeiras e água tratada para uso geral (às vezes também **água potável**), os quais abrangem todos os setores da indústria.

#### Geração de vapor

O vapor de água é gerado nas caldeiras a partir do que a queima de óleo, gás combustível, biomassa ou licores de cozimento (no caso de empresas produtoras de **celulose**) vai fornecer:

- **Vapor de alta pressão** – Onde caldeiras conectadas a um turbogerador de energia elétrica suprem boa parte da demanda de energia elétrica.
- **Vapor de média pressão** – Caldeiras, produzindo para a rede de distribuição, mais aquele gerado a partir do vapor de alta, após o mesmo passar pelo turbogerador. É usado para movimentar turbinas de bombas e compressores.
- **Vapor de baixa pressão** – É gerado através da exaustão da turbina que aciona o turbogerador. É utilizado para aquecimento de tanques e colunas.



#### Água Potável

Água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde;

#### Celulose e hemicelulose

São estruturas semelhantes, materiais originalmente brancos que não contribuem na coloração da polpa, no entanto, lignina, extrativos (pitch), feixes de fibras (shives) e sujeiras influem na percepção de coloração da polpa.

#### Energia

É a capacidade de realização de trabalho. Assim, quanto maior for a capacidade de realizar trabalho, melhor será a qualidade da energia associada.

#### Insumo

É um termo técnico, usado geralmente em Economia, para designar um bem de consumo que é utilizado na produção de um outro bem. Esse termo, por vezes, é substituído, imprecisamente, pelo termo matéria-prima.



### Adução

Condução da água captada (por meio de bombeamento) através de tubulações até a ETA.

### Captção

A captção (coleta em grandes quantidades) de água do rio com finalidade de tratar.

### Filtração

É o processo que remove as impurezas presentes na água bruta (filtração lenta); na água coagulada ou floculada (filtração rápida direta); ou na água decantada (filtração rápida) pela passagem destas em um meio granular poroso, geralmente constituído de camadas de pedregulho, areia e antracito.

### Matéria

É algo que ocupa lugar no espaço.

### Tratamento de água

É o conjunto de ações destinado a alterar as características físicas e ou químicas e ou biológicas da água, de modo a satisfazer o padrão de potabilidade adotado pela autoridade competente.

## Água para caldeira

A água para o uso nas caldeiras vem do tratamento da água baseado em: **filtração**, descarbonatada, desmineralizada (processo de purificação que retira sais da água, por meio de um sistema composto de pequenas esferas de **material** plástico, chamado “resina de troca iônica”) e posteriormente desaerada para retirar todo o oxigênio que nela possa estar dissolvido.

**Importante:** Todo esse processo tem por objetivo preservar as caldeiras de corrosões que podem ser causadas por minerais, oxigênio e, assim, comprometer a vida útil desses equipamentos e até mesmo a segurança dos trabalhadores pelo fato de se tratar de um vaso de alta pressão. Considerando esse fato, vale ressaltar que caldeiras, geradores e demais equipamentos de risco devem passar por manutenções preventivas periodicamente.

## Tratamento de água

A água captada em rios é tratada para utilização nos processos produtivos. Esse tratamento acontece no setor de utilidades, nas chamadas ETA (Estações de Tratamento de Água). Fluxograma de tratamento de água é visualizado na figura 1.

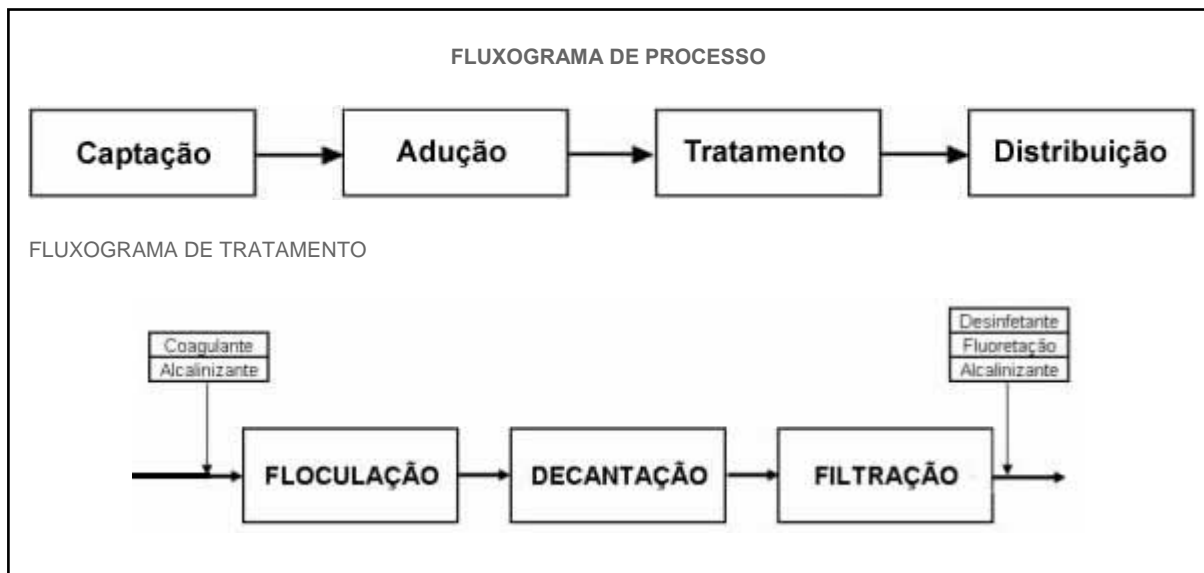


Fig. 1 - Fluxograma - ETA.

## Tratamento – Dividido em:

- **Floculação** – Processo físico que promove a aglutinação das partículas já coaguladas, facilitando o choque entre as mesmas devido à agitação lenta imposta ao escoamento da água. A formação de flocos de impurezas facilita sua posterior remoção por sedimentação sob ação da gravidade, flotação ou filtração. A floculação pode ocorrer por processos hidráulicos ou mecanizados.
- **Decantação ou sedimentação** – É o processo no qual a força da gravidade é utilizada para separar as partículas de densidade maior que a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Os principais tipos de decantadores são os laminares ou de alta taxa e os convencionais de escoamento horizontal.
- **Filtração** – É o processo que remove as impurezas presentes na água bruta (filtração lenta); na água coagulada ou floculada (filtração rápida direta); ou na água decantada (filtração rápida) pela passagem destas em um meio granular poroso, geralmente constituído de camadas de pedregulho, areia e antracito (este último, comum nos filtros rápidos). Em relação ao sentido de escoamento e à velocidade com que a água atravessa a camada de material filtrante, a filtração pode ser caracterizada como lenta, rápida de fluxo ascendente ou rápida de fluxo descendente. A filtração direta tem sua denominação relacionada com a inexistência de unidade prévia de remoção de impurezas.
- **Desinfecção ou cloração** – Aplicação do produto desinfetante (Cloro) para eliminação dos organismos patogênicos, causadores das doenças, como a cólera, hepatite, verminoses, etc.
- **Correção de pH** – Aplicação de produtos químicos para diminuir a acidez da água, causada na maioria das vezes pelo coagulante adicionado à água no início do tratamento. A portaria do Ministério da Saúde estabelece um pH da água para consumo humano situado entre 6,5 e 9,0.
- **Distribuição** – A água é levada ao processo e/ou consumidores através de bombeamento.



### **Decantação ou sedimentação**

É o processo no qual a força da gravidade é utilizada para separar as partículas de densidade maior que a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Os principais tipos de decantadores são os laminares ou de alta taxa e os convencionais de escoamento horizontal.

### **Desinfecção ou cloração**

Aplicação do produto desinfetante (cloro) para eliminação dos organismos patogênicos, causadores das doenças, como a cólera, hepatite, verminoses, etc.

### **Distribuição**

A água é levada ao processo e/ou consumidores através de bombeamento.



Fig. 2 - Unidade de Filtração – ETA.



Fig. 3 - Fotografia – Condução da água.



Procure salientar que os jovens verão nos módulos seguintes, dentro do processo, a aplicação da **central de utilidades** com relação à geração de energia. Os jovens serão capazes também de perceber os setores beneficiados pelo setor de utilidades, como, por exemplo, nas máquinas formadoras de papel, onde a energia utilizada é fornecida a partir de vapor gerado nas caldeiras.



## Passo 2 / Atividade em Grupo



20 min



Peça que discutam sobre o assunto apresentado, dizendo o que entenderam por central de utilidades até o momento, citando exemplos do processo.

### Central de utilidades

Fornece insumos, como energia elétrica, vapor de alta, média e baixa pressão, óleo combustível, ar comprimido com e sem tratamento, água tratada para caldeiras e água tratada para uso geral (às vezes também água potável), os quais abrangem todos os setores da indústria.

## Segunda Aula



Nessa aula serão abordadas as atividades silviculturais para o processo de fabricação de papel e celulose, de modo a possibilitar que os jovens entendam esse processo inicial do ramo e identifiquem futuramente a relação desse sistema com os sistemas subsequentes.



Passo 1 / Aula Teórica



30 min

### Silvicultura

O processo de fabricação de papel e celulose se inicia nas atividades **silviculturais**, sendo este o ponto em que iniciaremos nossos estudos, a fim de que seja possível compreender essa fase inicial e fazer a relação dessa etapa com as demais no decorrer do processo produtivo. Silvicultura é o ato de criar e desenvolver povoamentos florestais, visando atender às necessidades do mercado.



#### **Silvicultura**

É o ato de criar e desenvolver povoamentos florestais, visando atender às necessidades do mercado.

### Sistema de produção florestal

As operações de produção florestal vão desde o melhoramento genético de plantas à produção de mudas, preparo do solo, plantio, colheita da floresta e transporte da matéria conforme figura 4.

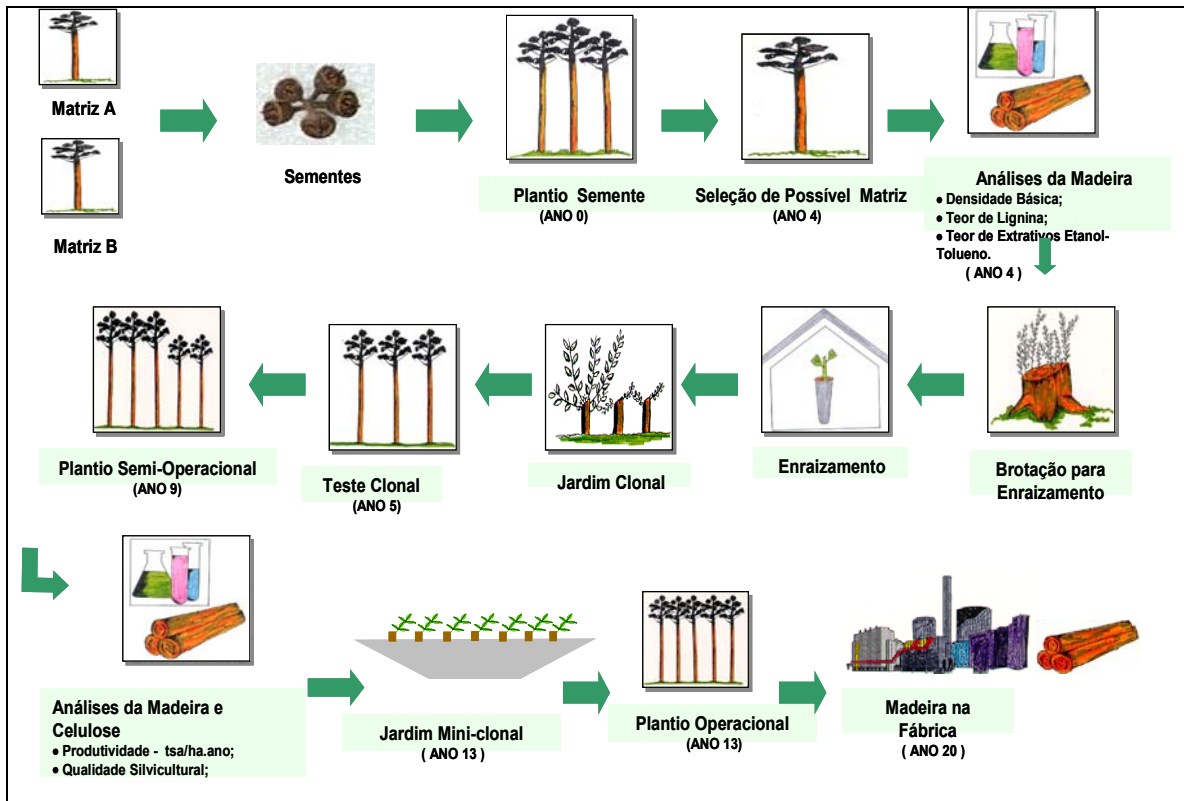


Fig. 04 - Sistema de produção florestal.

### Viveiro e produção de mudas

Viveiro é uma parte delimitada de terreno onde se concentram todas as operações e cuidados especiais para a produção de mudas (figuras 5 e 6). No caso dos eucaliptos, a produção de mudas em embalagens individuais garante uma maior sobrevivência das plantas no campo.



Fig. 5 - Fotografia – Viveiro.



Fig. 6 - Fotografia – Mudas.

### Preparo do solo, plantio e manutenção da floresta

O principal objetivo do preparo do solo é fornecer condições para o plantio e posterior estabelecimento das mudas no campo.

A eliminação da vegetação competidora e o revolvimento da camada superficial do solo favorecem o crescimento da muda através de uma expansão mais livre de sua copa e raízes.

Essa operação de preparo do solo pode ser feita tanto manualmente como através do uso de tratores leves e até pesados.

A definição do método a se empregar depende da topografia e o tipo de vegetação existente.

Atualmente o conceito empregado é o cultivo mínimo, ou seja, a convivência com os resíduos florestais e com as touças remanescentes, adequando resultados operacionais, econômicos e ambientais.

Após o revolvimento do solo são abertas as covas e/ou sulcos de plantio a espaçamentos preestabelecidos de modo que sejam plantadas de 1.500 a 2.000 plantas por hectare.

Ressalta-se que, por ocasião do plantio, as mudas recebem uma adubação com o objetivo de aumentar a produtividade da floresta.

Após o plantio as mudas são periodicamente capinadas de acordo com a necessidade até que atinjam de 3 a 5 metros de altura o que ocorre com aproximadamente 1 ano de idade como nas figuras 7 e 8.

Após esse período e até a época da colheita, somente há preocupação com o controle de formigas cortadeiras (saúvas) e proteção contra eventuais incêndios.



Fig. 7 - Fotografia – Eucalipto plantado.



Fig. 8 - Fotografia – Plantio.

### Colheita e transporte

Quando a floresta atinge a idade de 6 a 7 anos ela deverá ser colhida. O corte das árvores é feito com auxílio de motosserras por pessoal previamente treinado para essa operação.

A árvore após derrubada é seccionada em toretes de 2,40m de comprimento, os quais são carregados mecanicamente até os caminhões que os transportam para a fábrica como nas figuras 9 e 10.

Depois de colhida, as florestas de eucaliptos se regeneram naturalmente através da brotação dos tocos remanescentes.



**Um dos nutrientes utilizados para enriquecimento do solo é própria cinza gerada na queima dos resíduos obtidos no descascamento da madeira que ocorre em etapas seguintes, mostrando reaproveitamento de recursos (ênfatizar).**



Fig. 9 - Fotografia – Máquina para colheita.



Fig. 10 - Fotografia – Transporte.



## Passo 2 / Exercícios



20 min

Separe a sala em equipes e peça que cada equipe discuta aquilo que foi visto em sala de aula, especificamente o sistema de produção florestal. Transmitir a imagem de uma máquina em teste na floresta (Anexo 1 - Vídeo).

**Educador**, o anexo 1 é um vídeo e está disponível em CD.

## Terceira Aula



Abordaremos o processo denominado **pátio de madeira**, de modo a possibilitar que os jovens entendam e identifiquem a importância dessa etapa preliminar que tem potencial para impactar os sucessivos processos.



## O pátio de madeira

Local reservado para que as toras que são recebidas dos plantios passem pelos processos de limpeza, descascamento, picagem, peneiras e estocagem.

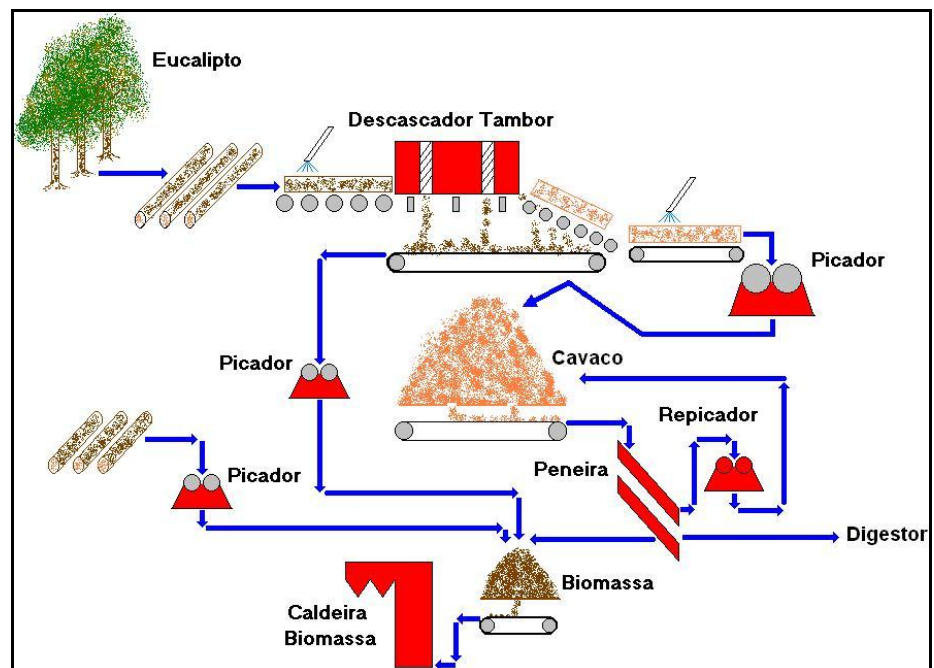


Fig. 11 – Esquema – Pátio de madeira.



### Recurso natural

Qualquer insumo de que os organismos, populações e ecossistemas necessitem para sua manutenção. É algo útil que utiliza tecnologia para ser obtido e pelo qual se paga, tendo, portanto, valor econômico. Ele se divide em dois grupos: **renováveis** e **não-renováveis**.

### Recurso natural não-renovável

É aquele que, uma vez utilizado, não pode ser reaproveitado.

### Recurso natural renovável

É aquele que, depois de ser utilizado, fica disponível novamente em função da ação dos ciclos naturais.

## Recurso Natural

### Descascador

Equipamento utilizado para se retirar as cascas da árvore proporcionando maior facilidade e qualidade nas etapas seguintes (figura 12). O descascador de tambor é o tipo mais utilizado. Nesse descascador, a madeira é alimentada, continuamente, em um tambor cilíndrico rotatório com ranhuras para permitir a saída das cascas (antes de descascar pode-se ter uma etapa de lavagem). Os cilindros são, usualmente, inclinados e giram vagarosamente, o que produz o impacto entre toras, e destas com as paredes do tambor, ocasionando a remoção da casca. A parede interna é provida de saliências metálicas, na forma de placas ou barras de metal, que auxiliam no processo de remoção das cascas.

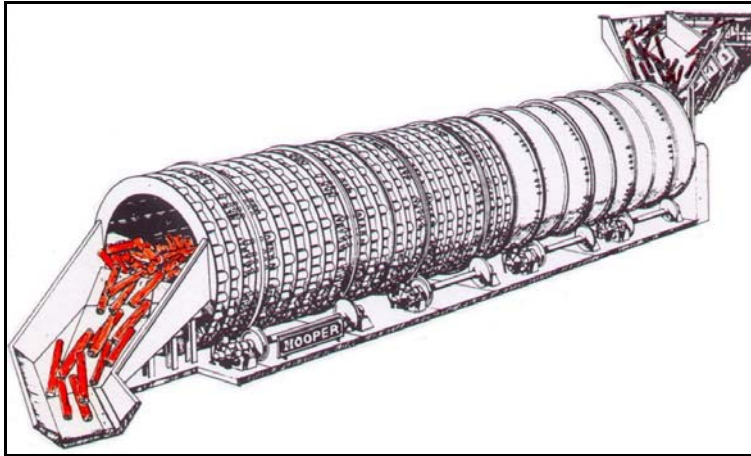


Fig. 12 – Esquema – Descascador.

### Picador

O objetivo da picagem é reduzir toras a fragmentos, cujo tamanho facilite a penetração do licor de cozimento dos processos químicos e semiquímicos garantindo, dessa maneira, uma deslignificação uniforme, além de conseguir uma boa acomodação no interior do digestor (figura 13).

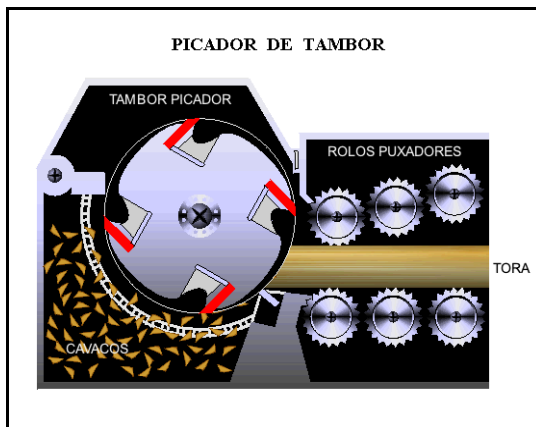


Fig. 13 – Esquema – Exemplo de picador.

### Peneiras

O objetivo no peneiramento é atingir tamanhos ideais e uniformes de cavacos para assegurar qualidade nos processos de impregnação e cozimento, os quais interferem nos processos sucessivos (figuras 14, 15 e 16).

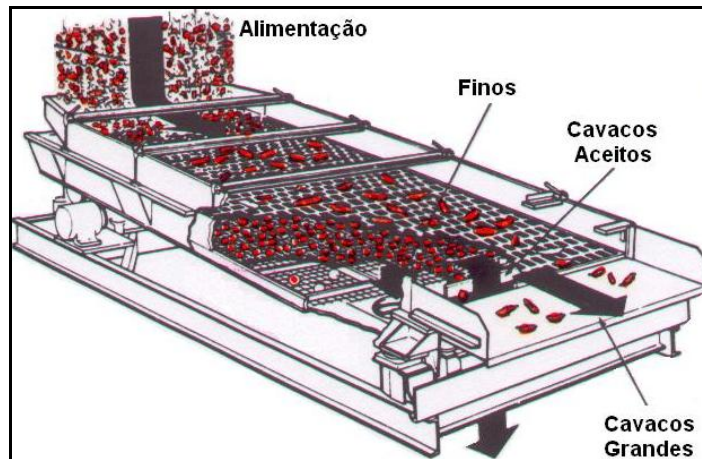


Fig. 14 – Esquema – Exemplo de peneira.



Fig. 15 – Fotografia – Tamanhos de cavaco.



Fig. 16 – Fotografia – Cavacos aceitos.

A figura 17 representa um fluxograma das operações realizadas no pátio de madeira. Observe que as cascas e os finos são aproveitados na caldeira de biomassa para geração de vapor. Por sua vez, as cinzas residuais da caldeira são reaproveitadas nos plantios como nutrientes (adubo), tornando assim recuperável e fonte geradora de energia.

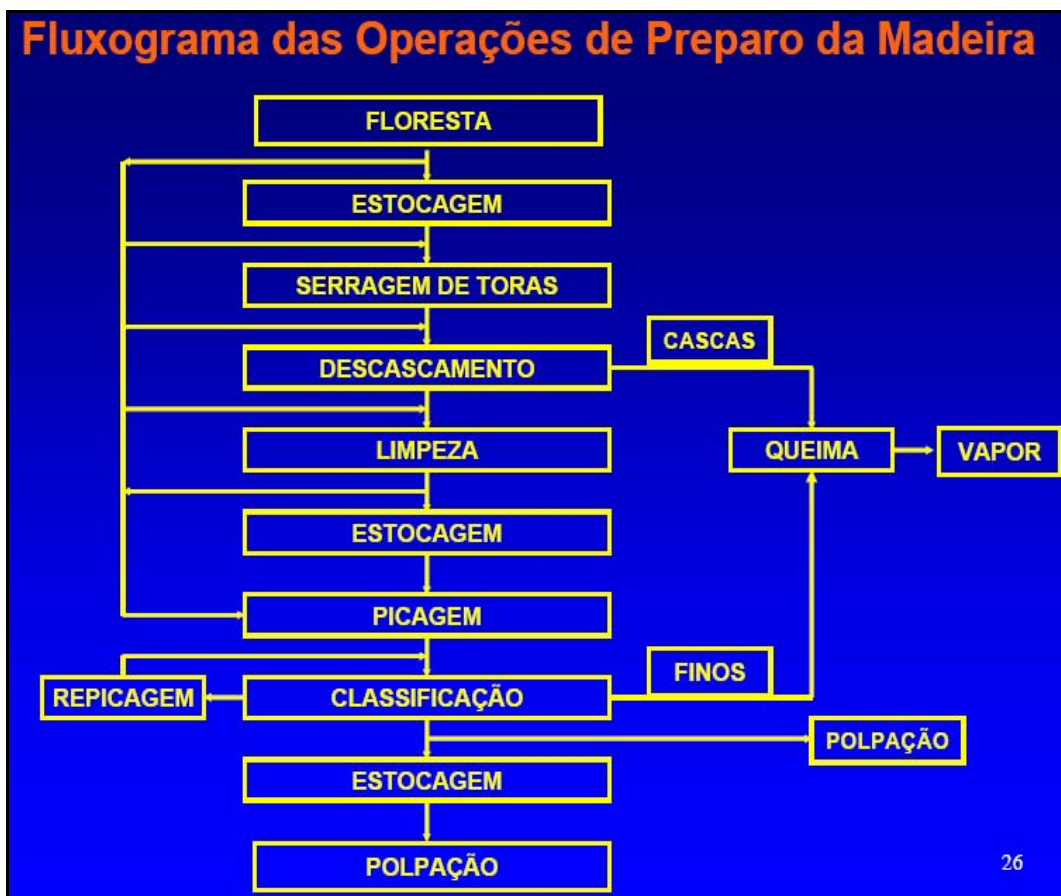


Fig. 17 - Fluxograma – Operações no pátio.

### Estocagem

Objetiva estocar o material em local adequado já com suas dimensões acertadas e em condições ideais, como por exemplo ao abrigo da chuva para maior uniformidade nos processos seguintes (por exemplo, para o cozimento).

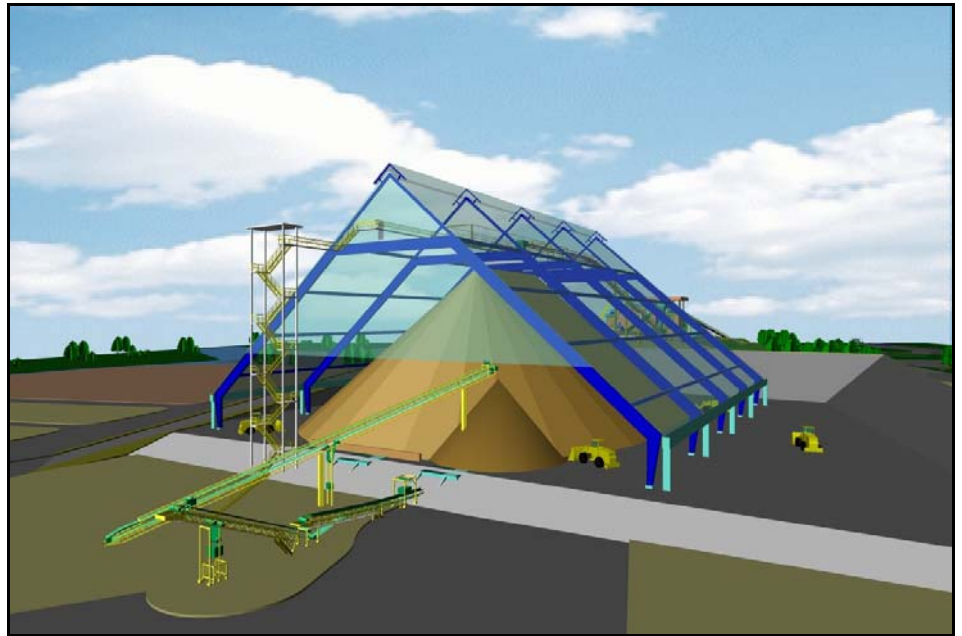


Fig. 18 – Esquema - Estocagem.

**Educador**, procure salientar que nessa etapa já ocorre o reaproveitamento dentro do sistema, como por exemplo as cascas que serão enviadas para caldeira de biomassa e vão gerar vapor para possibilitar energia em outras áreas; e a água que pode ser utilizada para lavagem das toras, que também é recuperada em outra etapa que abordaremos.



## Passo 2 / Atividade em Grupo



20 min

Peça que as equipes apresentem seus pontos de vista quanto ao aprendizado **pátio de madeira** por meio dos fluxogramas anteriores, identificando os equipamentos utilizados.



## Quarta Aula

Abordaremos o processo denominado “polpação”, de modo a possibilitar que os jovens entendam e identifiquem as várias etapas desse processo.



## Polpação

Polpação é o processo utilizado para transformar a madeira em uma massa de fibras individualizadas e consiste na ruptura das ligações entre fibras no interior da estrutura da madeira (figura 19). A separação de fibras pode ser feita quimicamente, mecanicamente ou a combinação dos dois métodos para o tipo de produto que se deseja.

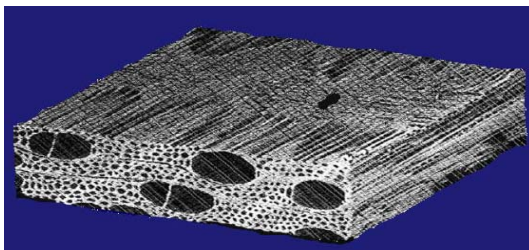


Fig. 19 – Esquema – Estrutura da madeira.

### Etapas do processo de cozimento contínuo

- Impregnação
- Aquecimento
- Cozimento
- Lavagem
- Resfriamento

#### Etapa de impregnação:

A etapa de impregnação consiste em injetar licor aquecido de cozimento nos cavacos sob pressão.

Os cavacos após a retirada do ar + líquido dos vasos pelo vapor passam pelo processo de impregnação, onde o licor penetrará no espaço criado pelo ar + líquido que foram retirados dos cavacos.

O principal resultado dessa etapa é a redução do teor de rejeito ao final do cozimento, aumentando-se o rendimento do processo.

## Penetração e Difusão na Impregnação

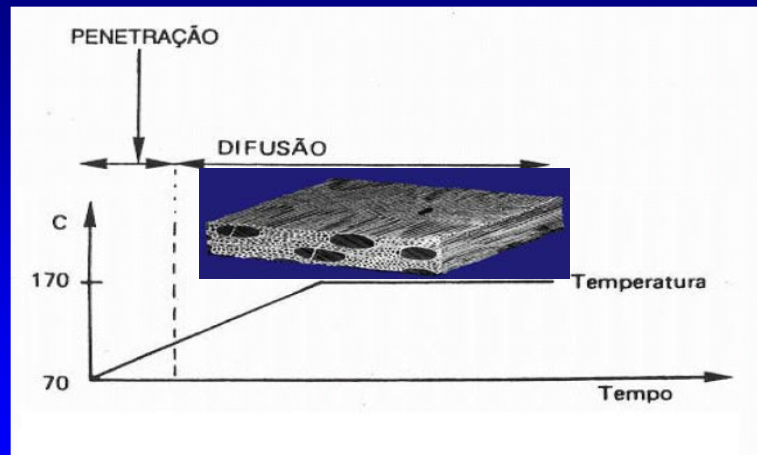


Fig. 20 – Esquema - Impregnação.

### Etapa de aquecimento

A etapa de aquecimento consiste em adição de vapor com objetivo de atingir a temperatura de cozimento.



O vapor adicionado para aquecimento é originado nas caldeiras a partir da queima de licores que são inicialmente formados nos próprios digestores e removidos na central de lavagem, próxima etapa que será abordada. Sendo assim, vemos que o processo “polpação” é mantido pelo setor de utilidades.

### Etapa de cozimento

O cozimento é iniciado com o abastecimento dos digestores, com cavacos e licor de cozimento, seguido de uma elevação da temperatura do licor, um período de repouso e finalizado com o descarregamento da polpa.

**Digestores** – São equipamentos utilizados para cozimento dos cavacos separando a lignina das fibras através de reações químicas com temperatura, pH, pressão e tempo controlados.



O resíduo gerado no processo de cozimento é o licor preto que posteriormente é utilizado para gerar energia nas caldeiras de recuperação.

### Etapa de lavagem

Ocorre no fundo do digestor e sempre em contracorrente, até a zona de extração. É lavado normalmente (COM LICOR FRACO).

A etapa de lavagem consiste em efetuar o deslocamento da lignina dissolvida na polpa de celulose.

## Etapa de resfriamento

A etapa de resfriamento tem como principal objetivo controlar a temperatura da polpa na descarga do digestor para o *Blow Tank*.

Essa temperatura sob controle evita a emissão de gases GNCD para a atmosfera ou para a estação de tratamento e queima desses gases.



### Passo 2 / Atividade Sugerida



20 min

Reúna o grupo e promova uma discussão sobre as etapas apresentadas na aula, destacando o propósito de cada uma delas.

## Quinta Aula



Nessa aula serão abordados os tipos de equipamentos e os fatores que influenciam na Polpação, de modo a fazer com que os jovens percebam as principais variáveis de controle operacional, tais como temperatura, pressão e tempo de descarga.



### Passo 1 / Aula Teórica



30 min

## Tipos de digestores

- **Digestor de batelada ou *batch*** – Consiste em um equipamento em que os cavacos são alimentados, juntamente com o licor de cozimento e após um determinado tempo é totalmente descarregado.

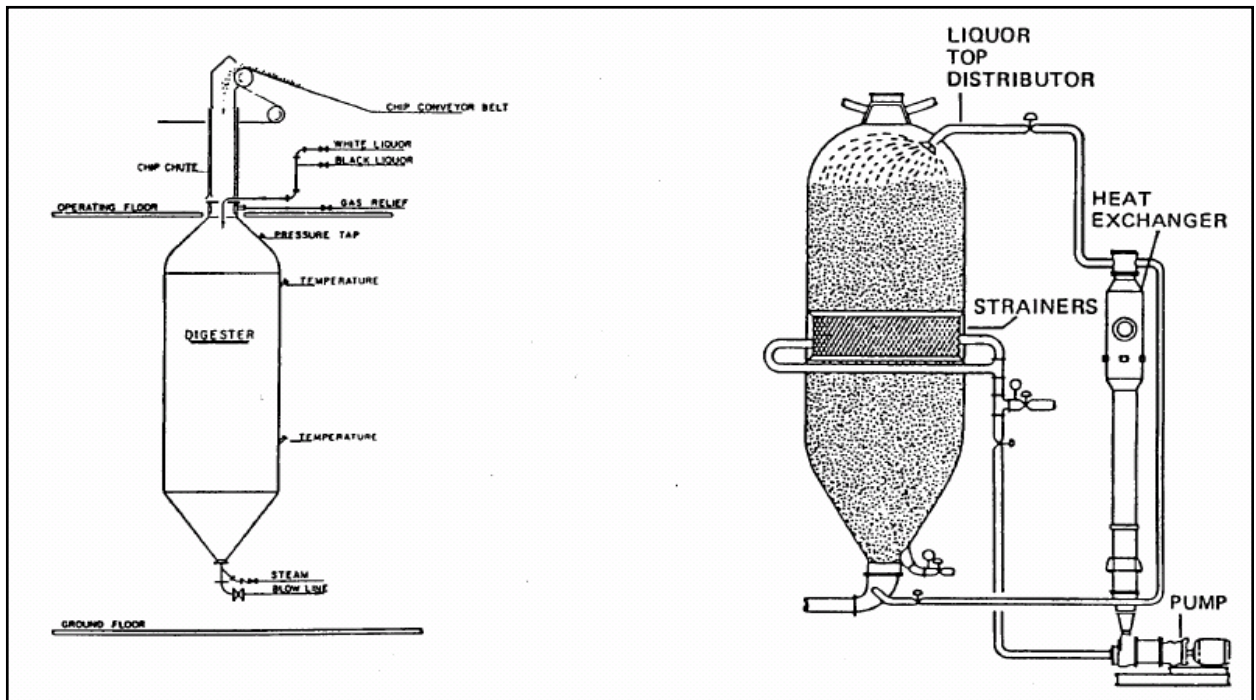


Fig. 21 - Esquema – Digestores Batch.

- **Digestor contínuo** – Consiste em um equipamento onde os cavacos são alimentados de maneira contínua, juntamente com o licor de cozimento, numa proporção predeterminada de cavaco e licor, sendo descarregado continuamente após determinado tempo de residência.

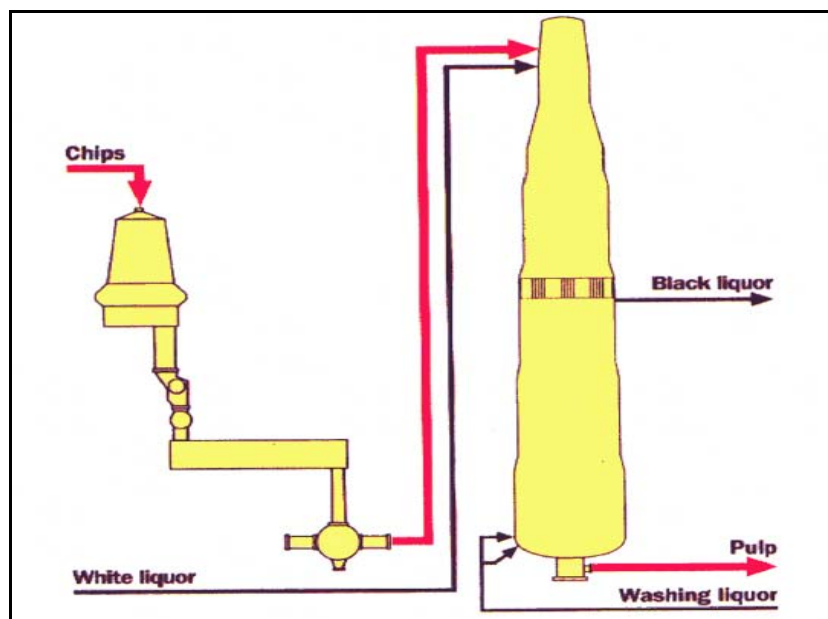


Fig. 22 - Esquema – Digestor contínuo.

## Variáveis do processo de cozimento

PARÂMETROS	Unidade	Meta	Mínimo	Máximo	Variável Crítica
Cozimentos	Nº/24 hs		0	36	
Ciclo total por cozinador	min	160	144	180	
Carregamento	minuto	30	35	40	
Álcali Ativo início cozimento (Alcalimeter)	g/L	40	20	60	X
Álcali Ativo final cozimento (Alcalimeter)	g/L	12,5	5	20	X
Elevação da temperatura de cozimento	min		30	60	
Temperatura de Cozimento	°C		150	170	
Tempo de repouso	min		40	90	
Temperatura de repouso	°C		155	170	
Pressão de repouso	kg/cm <sup>2</sup>	5,8	5,3	6,5	
Tempo de descarga	min	20	20	60	
Número Kappa	Nº	17,5	14,0	21,0	X
Viscosidade	cP	40,0	25,0	55,0	X

Tabela 1 – Variáveis.

Podemos perceber a partir da tabela acima que o cozimento é influenciado por variáveis como: temperatura, pressão, tempo de descarga, viscosidade, quantidade de licor para cozimento (álcali), etc. Por exemplo, uma temperatura muito alta ou um tempo de repouso muito alto pode degradar demais a fibra de celulose, provocando baixa viscosidade e conseqüentemente problemas nas etapas futuras, como por exemplo na formação do papel, o qual precisa de uma viscosidade ideal.

**Educador**, procure reforçar para os jovens a importância do controle operacional, enfatizando que cada etapa do processo de fabricação do produto apresenta variáveis operacionais com limites mínimos e máximos estabelecidos. O não cumprimento desses limites gera alteração na qualidade de algum processo seguinte ou até mesmo compromete a qualidade do produto.

Fluxograma do cozimento e tratamento dos gases e licores reaproveitados (figura 23).

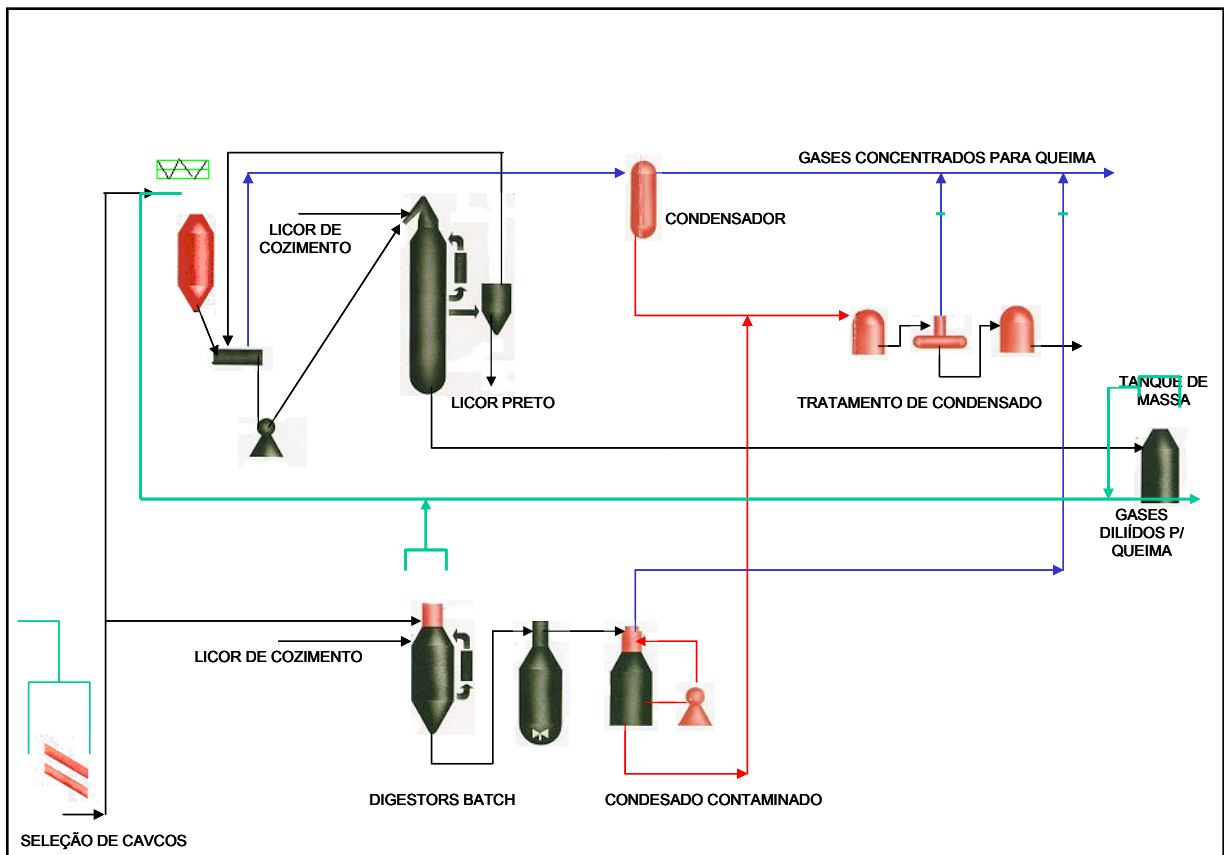


Fig. 23 - Fluxograma – Cozimento.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



20 min

Discutir em grupo o fluxograma referente ao cozimento e identificar as variáveis do processo por meio da tabela anterior.

**Educador**, procure explorar a assimilação dos jovens nas diferentes etapas do processo, para facilitar o aprendizado das etapas seguintes.

## Sexta Aula



Abordaremos o processo ocorrido na central de lavagem, onde o jovem entenderá os propósitos dessa etapa e também iniciará um conhecimento mais específico no processo de recuperação dos subprodutos gerados e geração de insumos para os processos.



Passo 1 / Aula Teórica



30 min

### Central de lavagem

Tem o objetivo de depurar a massa de celulose, eliminando nós, palitos e lignina da manta. Operação consiste em: a partir de uma mistura heterogênea de um fluido (licor) e partículas de sólidos (fibras ou polpa) são separadas por meio filtrante que permite a passagem do fluido, mas retém as partículas de sólidos. Envolve, então, o fluxo de um fluido através de um meio poroso.

#### Etapas do processo

O processo é dividido basicamente em três fases que são:

- **Depuração** – Antes da lavagem, ou seja, na descarga do digestor, os cavacos podem ser tratados da seguinte forma: são lançados em um tanque, onde a queda de pressão violenta provoca a explosão dos cavacos. A depuração é a etapa onde são retiradas da massa fibrosa impurezas do tipo fibroso ou mineral tais como areia e metais, ou seja, são removidos os cavacos não cozidos e *shives*, por meio de peneiras de vários tipos e formatos (figura 24).

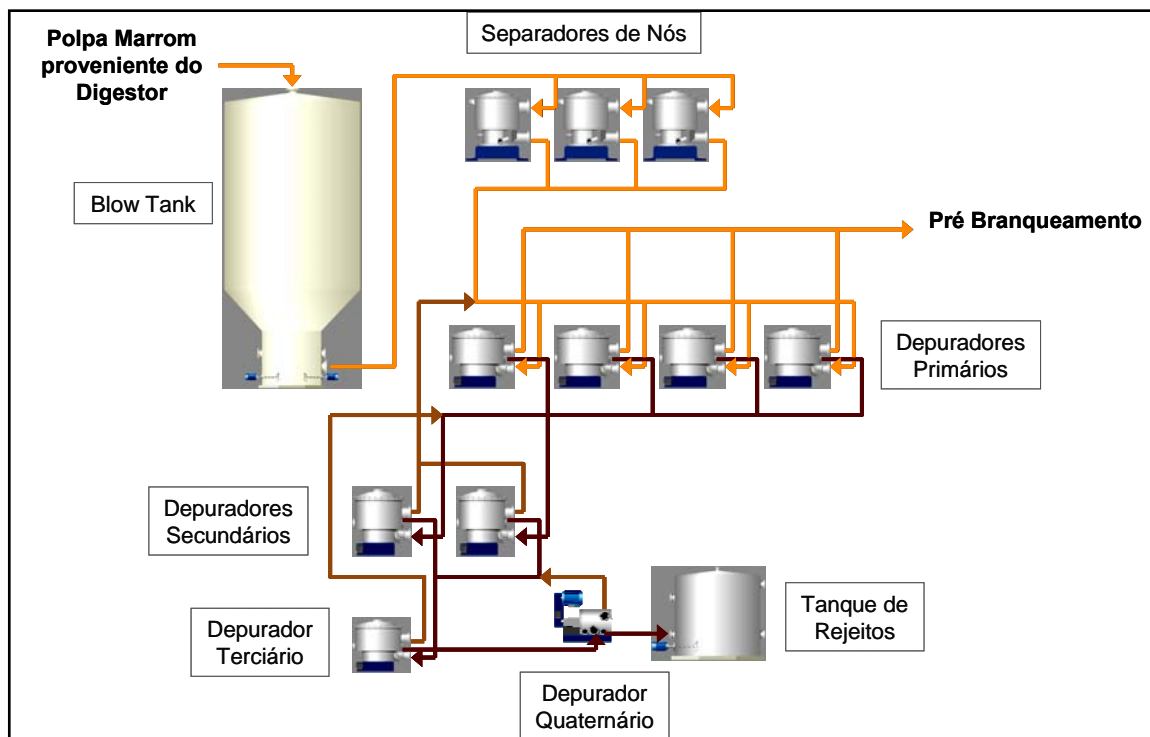


Fig. 24 - Fluxograma – Depuração.

- **Lavagem na mesa plana** – A etapa da lavagem tem o objetivo de separar a massa cozida (celulose ou pasta) dos químicos e do licor negro (material não celulósico dissolvido) e concentrar o licor negro. Ocorre com água recuperada do processo.



#### Evaporação

É a operação em que se concentra uma solução pela ebulição do solvente.

Esse licor, onde os químicos já perderam a concentração inicial, segue do sistema de recuperação para a planta de **evaporação** e daí para a caldeira, onde será queimado, fornecendo vapor e recuperando os produtos químicos do cozimento.

**Educador**, procure ressaltar o fato de que o licor gerado na etapa de polpação é removido na central de lavagem, após evaporado para ganhar concentração e queimado nas caldeiras de recuperação, onde ele volta a ser licor de cozimento, enquanto a queima que foi realizada gerou energia para os demais processos a partir do vapor.

- **Massa pré-branqueada** – Polpa já lavada e pré-branqueada em reator de oxigênio.

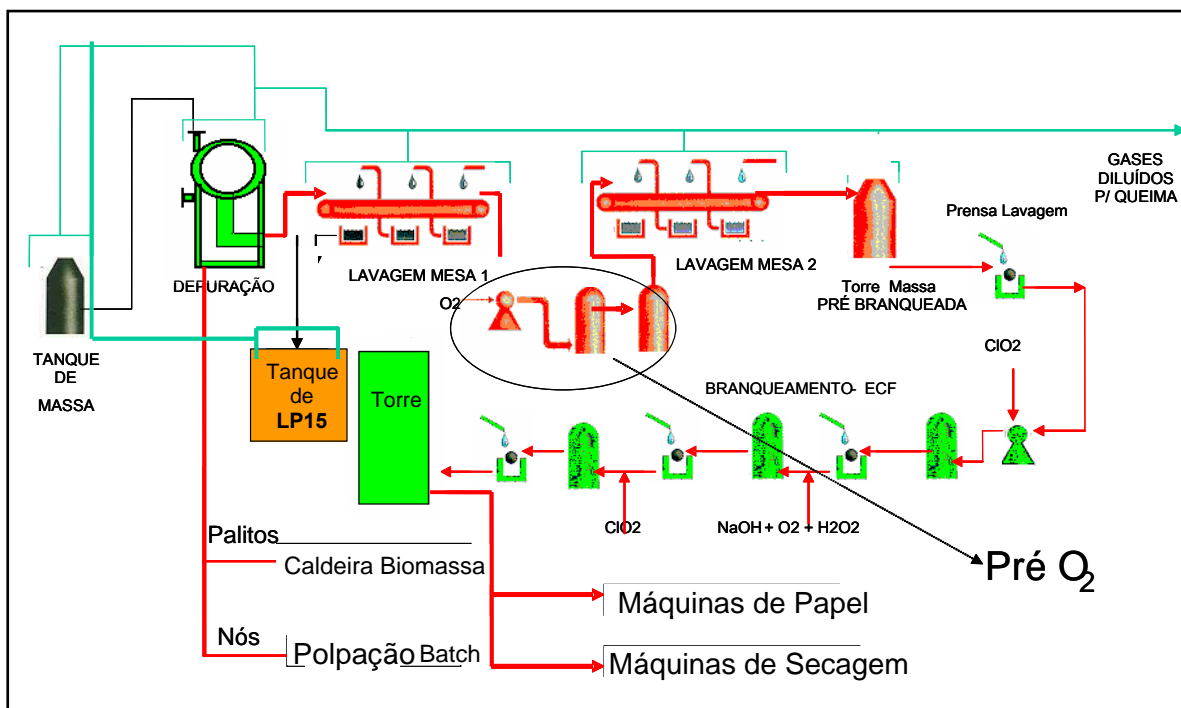


Fig. 25 - Fluxograma – Central de lavagem.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



20 min

Peça que os jovens discutam o fluxograma da central de lavagem e comentem sobre o destino dos palitos retirados na etapa de depuração, acarretando energia por meio da área de utilidades.

## Sétima Aula



O objetivo dessa aula é abordar a importância e os fundamentos principais aplicados na central de lavagem, em que o jovem iniciará um conhecimento mais específico do processo de recuperação e utilidades.



## Passo 1 / Aula Teórica



30 min

### Fundamentos do processo de lavagem

O controle da lavagem influencia a operação de fábrica em três grupos principais:



### Branqueamento

É um processo químico aplicado à polpa marrom, para aumentar sua alvura.

- **Remoção da matéria inorgânica** – A remoção da matéria inorgânica da polpa em concentrações tão altas quanto possível é vantajosa do ponto de vista da recuperação de químicos.
- **Remoção da matéria orgânica** – A remoção da matéria orgânica aumenta os efeitos dos estágios de deslignificação com oxigênio e **branqueamento**, melhora a economia operacional e garante um bom poder calorífico ao licor.
- **Outros** – Remoção de outros materiais prejudiciais ao processo, como sabão e *pitch*.

### Princípios de lavagem

- **Deslocamento** – O líquido mais limpo é percolada através da polpa suja, a uma consistência padrão, onde o líquido mais limpo desloca o líquido mais sujo para fora da polpa (figura 26).

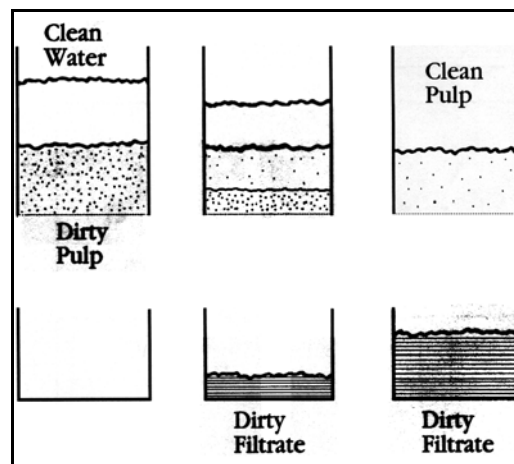


Fig. 26 – Esquema – Deslocamento.

- **Diluição-engrossamento** – A suspensão licor/polpa é diluída com um líquido mais limpo e em seguida é engrossada. Isso reduz as concentrações de líquido na suspensão de polpa diluída. As impurezas são removidas mediante o engrossamento da suspensão de polpa.



Estimule os jovens a pensar e discutir na transformação da matéria-prima, onde a partir de árvores (que antes foram sementes) temos já uma polpa de celulose em fase de lavagem.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



20 min

Peça aos jovens que elaborem um relatório contendo um resumo dos processos vistos até a presente aula. Comente posteriormente sobre os tópicos colocados em seus relatórios e reforce o ensinamento nos pontos de maior dúvida.

## Oitava Aula



Será abordado o processo de evaporação, que sucede o processo de lavagem, onde se tem por objetivo que o jovem entenda o funcionamento e importância de um circuito de recuperação. Também será demonstrado o funcionamento de uma caldeira de recuperação e sua importância no processo de geração de energia e na economia de produtos químicos utilizados no processo de fabricação da celulose.



## Passo 1 / Aula Teórica



40 min

### Ciclo de recuperação e utilidades

#### Evaporação

Evaporação é a operação em que se concentra uma solução pela ebulição do solvente.

#### Evaporador

Um evaporador é constituído por um trocador de calor, capaz de elevar a solução à fervura, e de um dispositivo para separar a fase vapor do líquido em ebulição.

A função dos evaporadores (figura 29) é a de concentrar o licor negro obtido do sistema de lavagem de pasta (condensados) a um teor de sólido tal que, quando injetado na fornalha de recuperação, tenha condições de queima.

A concentração dos condensados é feita em evaporadores de contato indireto (ou direto para processos antigos), passando para 65-70% de sólidos (figura 27). Nessa etapa, há formação e liberação de

compostos reduzidos de enxofre (TRS), os quais são monitorados por lei.

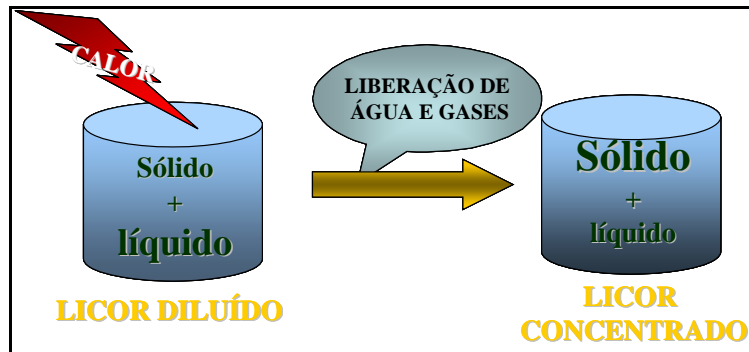


Fig. 27 – Esquema - Evaporação.

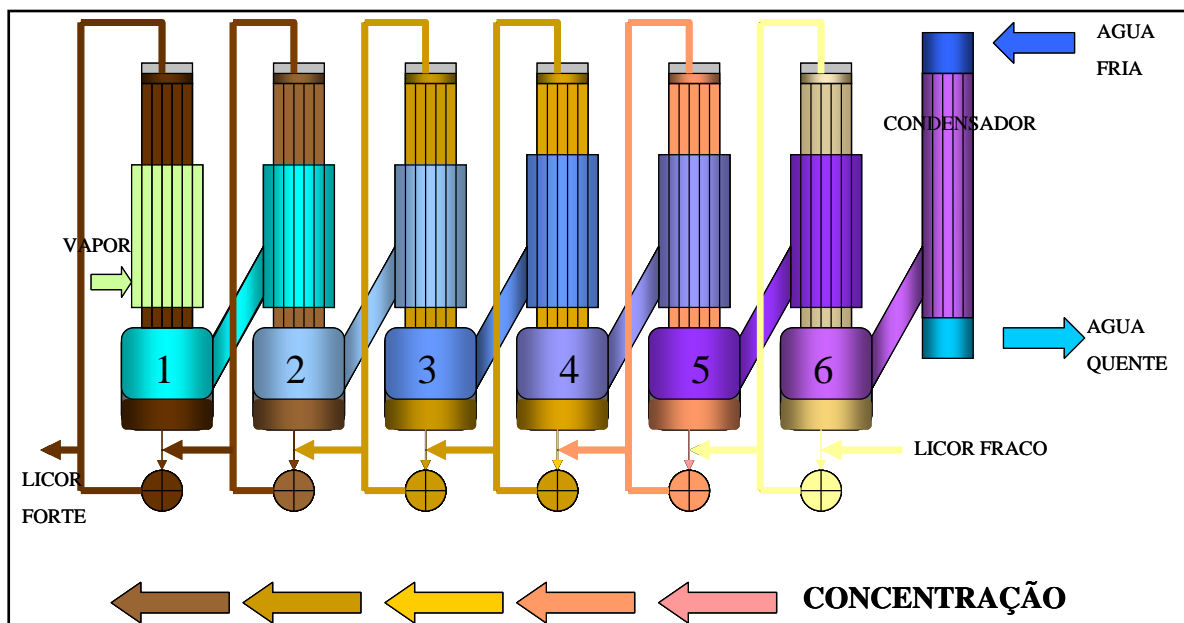


Fig. 28 - Esquema – Evaporadores.

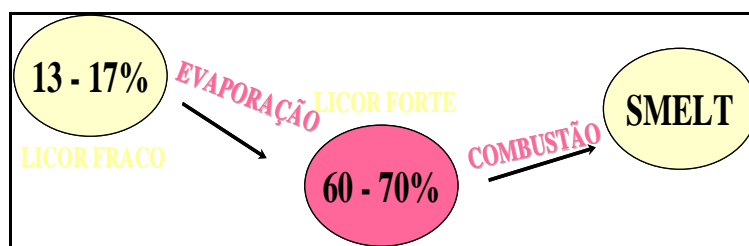


Fig. 29 – Fluxograma – Fluxo dos processos evaporação.

O licor preto fraco proveniente da lavagem normalmente contém de 13 a 17% de sólidos dissolvidos.

Esta concentração deve ser aumentada para 60 a 70%, antes de o licor ser queimado na caldeira de recuperação. Aquecedores a vapor e evaporadores de múltiplo efeito são usados para essa finalidade.

O chamado *Smelt* só será formado após a queima do licor forte na caldeira de recuperação.

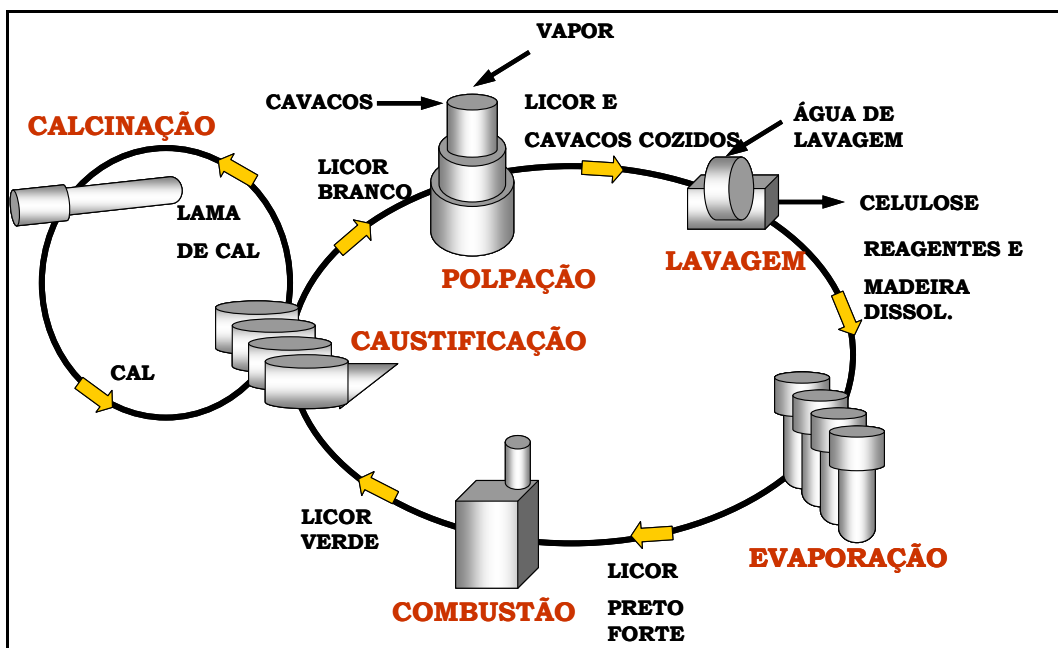


Fig. 30

### Caldeira de recuperação

A caldeira de recuperação (figura 30) pode ser dividida em três zonas distintas:

- **Zona de redução** – Fica no fundo onde forma o leito e ocorre a redução do sulfato a sulfeto.
- **Zona de secagem** – É a zona onde o licor é queimado.
- **Zona de oxidação** – É a zona superior onde há uma alta turbulência a fim de promover uma combustão completa.

O reator químico para produção de carbonato e sulfeto de sódio através da redução do sulfato de sódio, gerando vapor como resultado do aproveitamento energético da combustão, oxidação, da matéria orgânica.

### Normas de segurança

Ao se referir a caldeiras e demais vasos de pressão, torna-se necessária a aplicação de normas de segurança para que se possa evitar acidentes. A **NR 13** trata desse aspecto. Abaixo segue um resumo dos principais itens para conhecimento geral:

- Todo vaso de pressão deve ser afixado em local de fácil acesso e bem visível e com placa de identificação indelével com no mínimo as seguintes informações:



**NR**

Normas regulamentadoras.

- a fabricante
- b número de identificação
- c ano de fabricação
- d pressão máxima de trabalho admissível
- e pressão de teste hidrostático
- f código de projeto e ano de edição

- Além da placa de identificação deverão constar em local visível a categoria do vaso e seu número ou código de identificação.
- Todo vaso de pressão deve possuir, no estabelecimento onde estiver instalado, a seguinte documentação devidamente atualizada, sendo:

- a "Prontuário do vaso de pressão" a ser fornecido pelo fabricante, contendo as seguintes informações:
  - Código de projeto e ano de edição;
  - Especificação dos materiais;
  - Procedimentos utilizados na fabricação, montagem e inspeção fina;
  - Conjunto de desenhos e demais dados necessários para o monitoramento da sua vida útil;
  - Características funcionais;
  - Dados dos dispositivos de segurança;
  - Ano de fabricação;
  - Categoria do vaso.
- b "Registro de segurança"
- c "Projeto de instalação"
- d "Projeto de alteração ou reparo"
- e "Relatórios de inspeção"

A documentação referida deve estar sempre à disposição para consulta dos operadores, do pessoal de manutenção de inspeção e das representações dos trabalhadores e do empregador na Comissão Interna de Prevenção de Acidentes (Cipa), devendo o proprietário assegurar pleno acesso a essa documentação inclusive à representação sindical da categoria profissional predominante no estabelecimento quando formalmente solicitada.

Todo vaso de pressão deve ser instalado de modo que todos os drenos, respiros, bocas de visita e indicadores de nível, pressão e temperatura quando existentes sejam facilmente acessíveis.



Desperte o interesse dos jovens pela questão da segurança, abordando medidas preventivas de acidentes, tais como norma específica, manutenções preventivas, plano de emergências.

Desperte o interesse dos jovens pela questão da segurança, abordando medidas preventivas de acidentes, tais como norma específica, manutenções preventivas, plano de emergências.

### Geração de vapor

A partir da queima do licor forte (concentrado na evaporação) ocorre a geração de vapor que é transformado em energia para outras etapas do processo de fabricação de papel e celulose (figura 32). O turbo gerador recebe o vapor proveniente das caldeiras e então acontece a transformação de energia de movimento para energia elétrica.

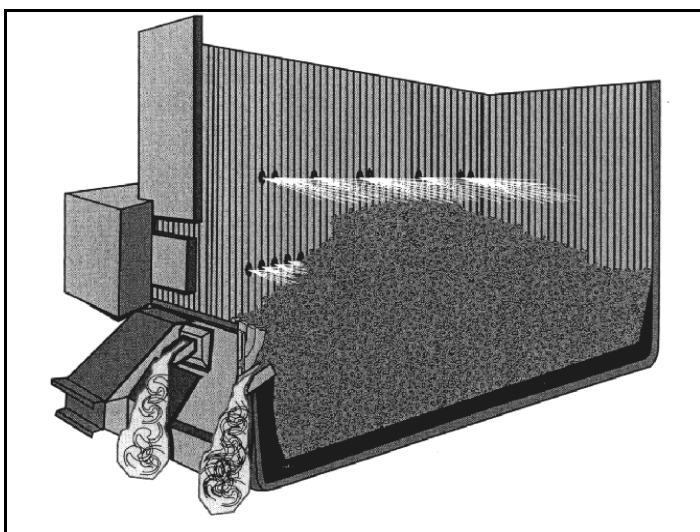


Fig. 31 – Esquema – Caldeira de recuperação.

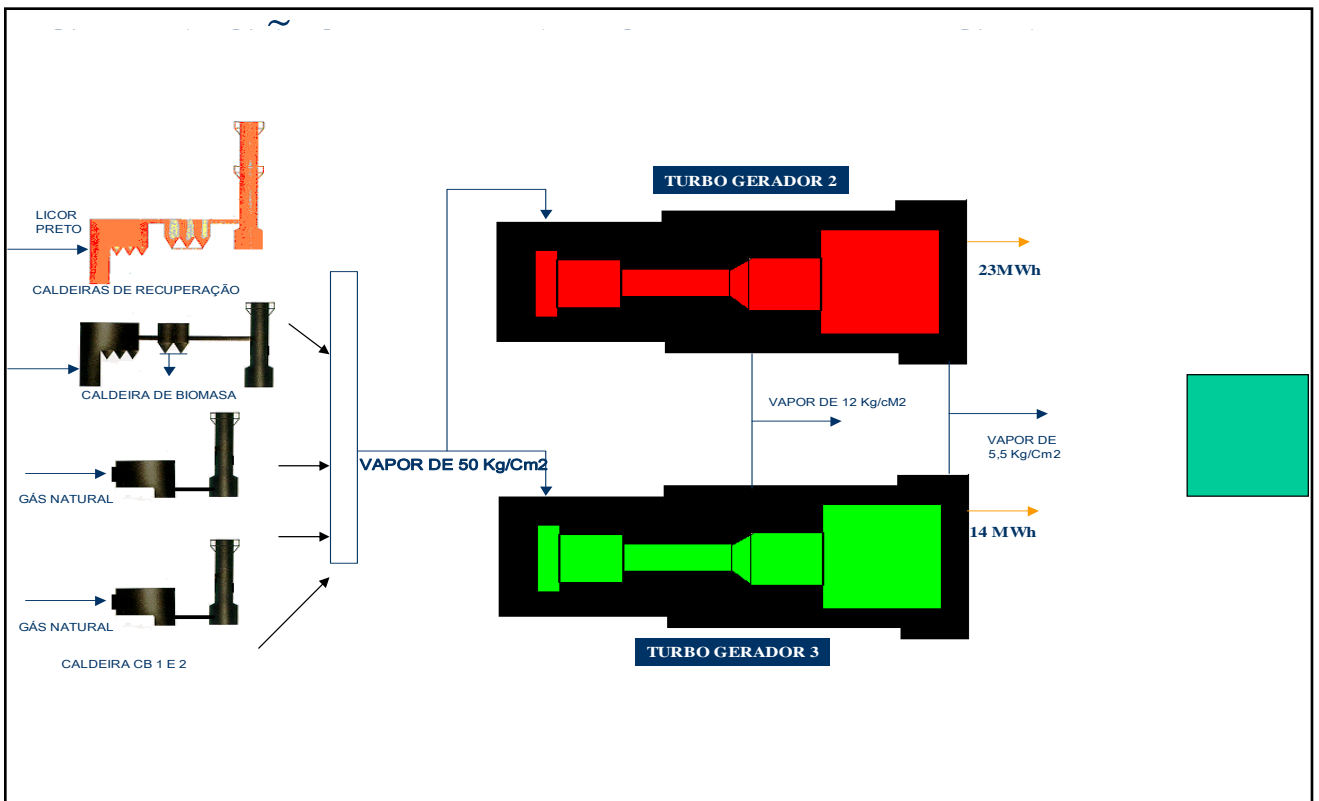


Fig. 32 - Fluxograma – Turbogenerador.



Educador, estimule-os a pensar na transformação da energia, em que, a partir da queima ocorrida em uma caldeira, o vapor gerado torna-se um agente para transformação na turbina, gerando eletricidade.



Passo 2 / Atividade Sugerida



20 min

**Educador**, explore o Anexo 2, em CD, – Caldeiras de recuperação e outros” referente a animações da caldeira e vídeo.



## Nona Aula

Apresentar o processo de caustificação, visualizando apresentações animadas com o propósito de facilitar a compreensão e dinâmica entre os processos.



## Caustificação

- Produção de licor branco quente (solução aquosa contendo hidróxido de sódio e sulfato de sódio) contendo mínimas quantidades de inertes ao processo de polpação.
- Produção de lama de cal limpa e de alto teor de sólidos secos para calcinação no forno de cal.



### Caustificação

É a produção de licor branco quente (solução aquosa contendo hidróxido de sódio e sulfato de sódio) contendo mínimas quantidades de inertes ao processo de polpação.

## Caustificador

Conjunto de três ou quatro tanques onde a reação da lama de cal com o carbonato de sódio prossegue até a quase transformação total em hidróxido de sódio.

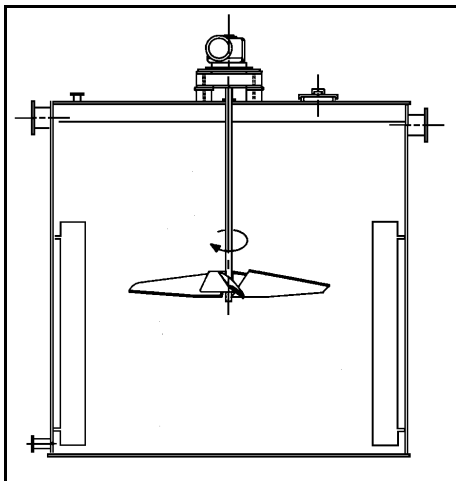


Fig. 33 – Fluxograma - Caustificador.

## Calcinação

Transformação do carbonato de cálcio em óxido de cálcio com mínimo consumo de energia.

## Conceito geral

Consiste na adição de óxido de cálcio (CaO) ao licor verde para converter o carbonato de sódio (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) em hidróxido de sódio (NaOH), produzindo o licor branco.

Duas reações químicas estão relacionadas:

a Apagamento (hidratação ou extinção de cal)

O CaO reage inicialmente com a água formando Ca(OH)<sub>2</sub>, altamente exotérmico.

## b Caustificação

O  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  formado reage com o  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  do licor verde produzindo  $\text{NaOH}$  (agente ativo do licor) e  $\text{CaCO}_3$ . Apesar da existência de duas etapas de reação, as reações ocorrem simultaneamente até 80 a 95% no apagador e o restante 5 a 20% se completam na caustificação.

A eficiência de caustificação é cerca de 80 a 90%, em condições normais de indústria, devido ao equilíbrio químico das reações.

Observação: Durante as reações, ocorre a formação de partículas sólidas, conhecidas como *grits*, que são removidas por um classificador conhecido como *slaker*.



### Passo 2 / Apresentação com multimídia



40 min

**Educador**, no Anexo 3, em CD, você encontrará uma apresentação sobre Caustificação, com duração de 40 minutos. Explique o processo de caustificação, equipamentos e reações químicas ocorridos em tal processo.



## Décima Aula

Será abordado o processo de branqueamento da polpa, comentando os princípios e principais influências.



### Passo 1 / Aula Teórica



40 min

## Branqueamento

O branqueamento é um processo químico aplicado à polpa marrom para aumentar sua alvura.

Celulose e hemicelulose são materiais originalmente brancos que não contribuem na coloração da polpa, no entanto, lignina, extrativos (*pitch*), feixes de fibras (*shives*) e sujeiras influem na percepção de coloração da polpa.

Sendo assim, o objetivo do branqueamento é alvejar a polpa através da remoção de substâncias que absorvem luz com:

- Mínima degradação da fibra;
- Mínima perda de rendimento;
- Mínimo impacto ao **meio ambiente**;
- Menor custo de produção.



#### Meio ambiente

Tudo o que cerca o ser vivo, que o influencia e que é indispensável à sua sustentação. Estas condições incluem solo, clima, recursos hídricos, ar, nutrientes e os outros organismos. O meio ambiente não é constituído apenas do meio físico e biológico, mas também do meio sócio-cultural e sua relação com os modelos de desenvolvimento adotados pelo homem.

#### Produtos químicos que podem ser usados no branqueamento

- Oxigênio –  $O_2$
- Dióxido de cloro –  $ClO_2$
- Peróxido de hidrogênio –  $H_2O_2$
- Gás ozônio –  $O_3$
- Cloro –  $Cl_2$
- Hipoclorito de sódio -  $NaClO$

As figuras 34 e 35 representam a seqüência do branqueamento

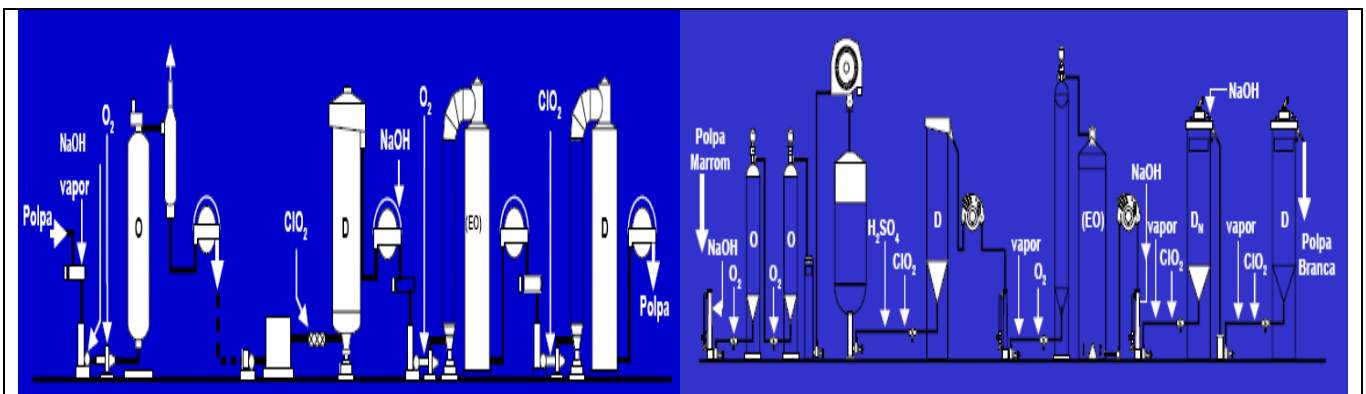


Fig. 34 – Fluxograma - Branqueamento.



Fig. 35 – Fotografia - Branqueamento.



#### pH

É uma grandeza físico-química que mede o "potencial hidrogeniônico" de uma substância, ou em outras palavras, é um índice que indica o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da mesma.

### Impacto produtos químicos na polpa celulose

- **Dióxido de cloro** – alta seletividade com a lignina e degrada muito pouco os grupos de celulose.
- **Peróxido de hidrogênio** – altamente corrosivo aos metais do sistema e quando na presença destes ataca os grupos celulose.
- **Gás ozônio** – ataca discriminadamente a lignina e também os grupos de celulose.
- **Cloro** – Ataca A Lignina E Também Os Grupos Celulose.
- **Hipoclorito de Sódio** – Depende De Um Alto Controle De **Ph** Para Não Degradação Dos Grupos Celulose.

**Observação:** Desejáveis: fragmentação e solubilização da lignina.

**Indesejáveis:** condensação da lignina e degradação da fibra.

### Reaproveitamento

Como a etapa de branqueamento apresenta estágios ácidos e alcalinos, o efluente gerado nessa etapa pode ser utilizado para acerto de pH do efluente na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE).



## Passo 2 / Debate



10 min

Discutir com os jovens as medidas necessárias para que os equipamentos possam estar sempre em condições ideais, tais como manutenção preventiva, operação adequada, etc.



## Décima **Primeira** Aula

Serão abordadas as variáveis mais importantes no processo de branqueamento da polpa e estudar-se-á um fluxograma completo, envolvendo todos os processos anteriores.



## Reversão de alvura

A alvura da polpa branqueada não é permanente. A reversão é acelerada por:

- Luz
- Calor
- **Umidade**
- Oxigênio
- pH inadequado
- Lignina residual
- Extrativos
- Metais
- Carboidratos oxidados
- Oxidantes residuais



### Umidade

Medida da quantidade de vapor d'água contido no ar atmosférico.

## Composição das polpas branqueadas

- A lignina é quase totalmente removida no branqueamento
- Carboidratos são os principais elementos da polpa branqueada

Portanto, o impacto dos reagentes de branqueamento sobre as propriedades da polpa está fortemente relacionado à ação destes reagentes nos carboidratos.

## Fluxograma completo do processo

Na figura 36, encontra-se o fluxograma completo de todo o processo de fabricação de celulose e papel, desde a floresta até as máquinas de papel. Em muitas etapas que se pode visualizar nesse fluxograma ocorre um acompanhamento dos resultados de processo, ou seja, um monitoramento na qualidade do processo para que se possa garantir a maior uniformidade possível, visando maior qualidade e atendimento de normas específicas, as quais têm por requisito melhora contínua do processo e monitoramento constante. Quanto a essas normas podemos citar:

- ISO 9001 → Refere-se a uma norma de gestão da qualidade de um processo ou serviço, visando à melhora contínua do sistema.
- ISO 14001 → Refere-se à Gestão Ambiental, visando à diminuição dos impactos ambientais e preservação dos recursos naturais.
- OHSAS 18001 → Refere-se à Gestão de Segurança dos colaboradores e prestadores de serviço, onde são aplicadas ferramentas de gestão e equipamentos de proteção visando à integridade física do trabalhador.

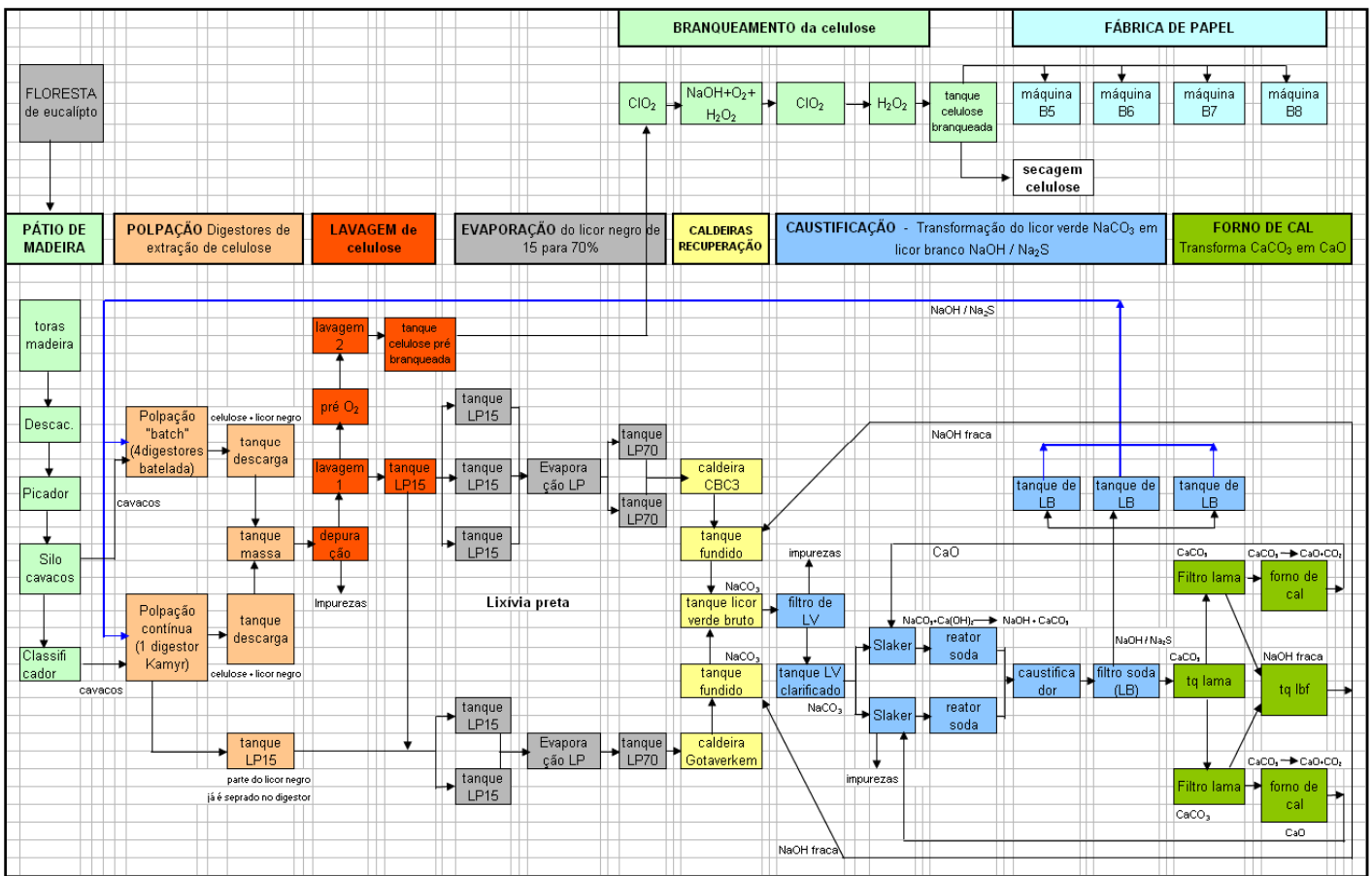


Fig. 36 - Fluxograma Completo.



Estimule as discussões sobre a importância de se obter normas de qualidade, normas de meio ambiente, normas de segurança, e qual delas os jovens julgam ser mais importante. O objetivo é promover interesse e senso crítico nos jovens.



Peça para os jovens pesquisarem sobre normas ISO (Qualidade e Meio Ambiente). Sugira que entreguem na próxima aula um breve resumo contendo a importância de se obter certificações de qualidade e meio ambiente nos dias de hoje.



## Passo 2 / Exercícios em Grupo



10 min

Formar grupos e pedir para que os jovens escrevam brevemente o funcionamento dos sistemas apresentados no fluxograma nº 30, ou seja, o que acontece em cada uma das cores que representam etapas do processo produtivo.



## 3. Produção de Matéria Prima

Neste capítulo serão discutidas as fases do processo de produção de celulose, os fatores que influenciam a qualidade do produto final, os métodos e técnicas de controle e as questões ambientais envolvidas.

### Objetivos

- Discutir as diversas etapas de produção da celulose.
- Entender as reações químicas envolvidas no processo de produção de celulose.
- Compreender os fatores que influenciam a qualidade da celulose produzida.
- Conhecer os métodos e técnicas de controle do processo de produção de celulose.
- Discutir sobre as questões ambientais relativas ao processo de fabricação de celulose.



## Primeira Aula



Nessa aula serão apresentados os diferentes tipos de fibra celulósica.



### Passo 1 / Aula teórica



20 min

### Fibras de madeira

No Brasil, as duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose são as florestas plantadas de pínus e de eucalipto, responsáveis por mais de 95% do volume produzido.



#### **Celulose de fibra curta**

É a celulose obtida de vegetais cujo comprimento de fibra é em medida entre 1 e 2 milímetros. Nessa classe estão as **madeiras duras** ou folhudas, das quais, em nosso país, o eucalipto é a mais usada; e as palhas e resíduos agrícolas, dos quais o bagaço de cana é o mais usado.

#### **Madeiras duras**

Ou **madeiras folhosas**, é o termo genérico aplicado às madeiras extraídas de certo tipo de árvores da classe angiosperma. Suas folhas são largas e geralmente caem no inverno nas zonas temperadas.

#### **Madeiras folhosas**

É o mesmo que madeiras duras.

#### **Celulose de fibra longa**

É a celulose obtida de vegetais, cujo comprimento de fibra é em média acima de 3 milímetros. As **madeiras coníferas** estão nessa classe, indo o seu comprimento de fibra até aproximadamente 5 ou 6 milímetros, e as fibras têxteis, tais como, algodão, linho, sisal, caroá, rami, etc., que ultrapassam até 1 centímetro. Das madeiras de fibra longa a mais usada no País é o pinheiro do Paraná.

#### **Madeiras de coníferas**

É o termo genérico aplicado às madeiras, extraídas de certo tipo de árvores da classe ginosperma. Seus frutos têm a forma cônica e suas folhas, que não caem no inverno nas zonas temperadas, são de formato afilado. A celulose obtida dessa classe de madeira é de fibras longas. Em nosso país a madeira de conífera mais usada é a do pinheiro do Paraná.

A **celulose de fibra longa**, originária de espécies coníferas como o pínus, tem comprimento entre 2,0 e 5,0 milímetros. Fibras longas também podem ser encontradas nas madeiras da araucária, abeto, cipreste e spruce.

As madeiras de fibras longas são conhecidas como coníferas ou *softwood* (madeira macia).

As coníferas são utilizadas na fabricação de papéis que demandam mais resistência, como os de embalagens, e nas camadas internas do papel-cartão, além do papel-jornal.

O pínus, em particular, é uma espécie tolerante a baixas temperaturas e ao plantio em solos rasos e pouco produtivos para agricultura.

O pínus chegou ao Brasil há mais de um século pelas mãos dos imigrantes europeus que plantavam a espécie para fins ornamentais. Um dos objetivos mais importantes da introdução do pínus no País foi suprir a necessidade de madeira para abastecimento industrial, destinada à produção de madeira serrada, de madeira laminada para confecção de painéis, e, também, de celulose e papel.

A **celulose de fibra curta**, com 0,5 a 2,0 milímetros de comprimento, deriva principalmente do eucalipto.

Fibras curtas também podem ser encontradas nas madeiras do álamo, carvalho, gmelina e bétula.

As madeiras de fibras curtas são conhecidas como folhosas ou *hardwood* (madeira dura). Essas fibras são ideais para a produção de papéis como os de imprimir e escrever e os para fins sanitários (papel higiênico, toalhas de papel, guardanapos), que demandam menor resistência, alta maciez e boa absorção.

Para essas aplicações, fibras curtas e um grande número de fibras por grama são as características mais críticas na fabricação da pasta de celulose.

Originário da Austrália e da Indonésia, o eucalipto é hoje uma das principais fontes de matéria-prima para produzir papel.

Em território brasileiro, o eucalipto encontrou ótimas condições de clima e solo para se desenvolver, com crescimento mais rápido que nos demais países e alto índice de produtividade.

A celulose também pode ser obtida de outros tipos de plantas, não madeiras, como bambu, algodão, juta, babaçu, sisal e resíduos agrícolas como bagaço de cana-de-açúcar e palhas de cereais como trigo, aveia, centeio, arroz e milho.



## Fibras de vegetais não madeira

De modo geral, as fibras provenientes de vegetais, que não formam madeira, constituem somente 5% do total geral de fibras usadas na fabricação da celulose.

Entretanto, elas representam, para muitos países em desenvolvimento e mesmo para muitos países industrializados, uma das maiores fontes atuais e potenciais de fibras.

A utilização do bambu como matéria-prima para a indústria da celulose é prática de sucesso em alguns países tropicais, como a China, Índia, Japão e Filipinas.

A cultura do bambu é de fácil manejo e pode ser explorada economicamente a partir do terceiro ano, seguindo-se um ciclo de 3 a 5 anos.

O comprimento médio das fibras do bambu varia de 1,4 a 4,4 mm. Sua densidade média está entre 0,5 e 0,6 kg/m<sup>3</sup>.

Dentre as matérias-primas de origem agrícola, o bagaço de cana é a mais importante para a produção de celulose.

Constitui-se uma das mais promissoras fontes de fibras para a indústria do papel. É um material abundante e facilmente acessível em diversos países.

No Brasil, onde a indústria açucareira atingiu um estágio de desenvolvimento excepcional, existe a possibilidade de se incrementar maciçamente o uso do bagaço de cana para fabricação de celulose.

Entretanto, a maior parte desse bagaço é usado como combustível nas caldeiras para produção de vapor e eletricidade e apenas as sobras são vendidas às fábricas de celulose.

Deve-se considerar, ainda, o problema de ser a cana-de-açúcar uma cultura sazonal, ou seja, produz apenas em uma época do ano relativamente curta.

O bagaço possui uma grande vantagem sobre as outras matérias-primas agrícolas: não exige esforços para sua coleta, já que é um resíduo da moagem da cana.

A fibra de algodão é utilizada na fabricação do papel por ter sido antes um tecido desprezado pela indústria têxtil como retalho.

A fabricação de papel a partir de trapos e retalhos existe desde meados do século XVIII, antes do uso das fibras de madeira.

As fibras que acompanham a semente de algodão variam consideravelmente de tamanho. As fibras longas, conhecidas como *linter*, são usadas para produção de algodão hidrofílico, indústria de fibras sintéticas e papel-moeda.

O *linter* apresenta tipicamente o comprimento médio das fibras entre 10 e 40 mm.

O linho é cultivado em muitas partes do mundo, principalmente para confecção de tecidos.

Sua fibra é usada, na maioria das vezes, para tecidos resistentes, linhas e cordas.

Constitui-se também em fonte de fibras para a indústria de papéis especiais como papel de cigarro, mapas e papel-carbono.

Existe ampla variação nas dimensões de suas fibras, em razão da diversidade de espécies, heterogeneidade do material, etc. O comprimento médio da fibra é de 33 mm.

A juta é uma fibra altamente lignificada, de comprimento médio de 2 mm, muito cultivada no Paquistão e na Índia.

O rami são fibras longas de extrema resistência e com alto teor de celulose (86%).

A média de comprimento de suas fibras gira em torno de 120 mm.

A crotalária é uma leguminosa de crescimento rápido, de ciclo anual, cujas fibras comercialmente interessantes são aquelas provenientes das cascas.

É uma fibra utilizada no Brasil para produção do papel cigarro. O comprimento médio de suas fibras é de 7,5 mm.

O kenaf é um vegetal de ciclo anual que cresce principalmente na Índia, Paquistão e Cuba.

É uma planta fibrosa de grande potencial para a indústria da celulose. O comprimento médio de suas fibras é de 6 mm.

O abacá é uma espécie de bananeira nativa das Filipinas e Indonésia.

As fibras de suas folhas fornecem papel resistente e de alta densidade.

O comprimento médio de suas fibras é de 6 mm.

O sisal constitui-se hoje em uma das principais fibras duras plantadas no mundo. No Brasil é de grande importância, pois é um dos maiores produtores mundiais e exportadores dessa fibra.

A utilização do sisal para produção de papéis de alta qualidade é uma prática comum no nordeste brasileiro.

A fibra comercial do sisal tem comprimento médio de 4 mm.

As palhas de cereais, como trigo, aveia, centeio, cevada, arroz e milho, são obtidas de vegetais pertencentes às gramíneas.

Caulos e folhas são usados como matéria-prima para produção de celulose.

Esse material pode ser utilizado para fabricação de papel em regiões onde há escassez de madeira (Europa, Filipinas, China).

A celulose, obtida geralmente pelo processo soda, é usada na forma branqueada ou não branqueada, para a fabricação de papéis e papelões.



## Passo 2 / Exercício



30 min

### Orientações para a realização do exercício:

1. Traga para a sala de aula amostras de madeira de eucalipto e pínus e deixe os jovens manusearem as amostras e observarem as diferenças de textura e coloração.
2. Peça a eles que pesquisem na Internet informações básicas sobre o eucalipto e o pínus: tamanho das árvores, tempo entre o plantio e o corte, produção de madeira por área plantada, quantidade de celulose por tipo de madeira.
3. Solicitar aos jovens que montem uma tabela resumo com os tipos de madeira, tipo de fibras e suas aplicações na indústria do papel.

## Segunda Aula



Nessa aula será descrito o processo de reciclagem de fibras de celulose.



### Passo 1 / Aula teórica



30 min

## Uso e processamento de fibras recicladas

Já há algum tempo as fibras de celulose recicladas vêm se tornando um insumo indispensável à indústria, principalmente devido ao preço potencialmente mais vantajoso do papel reciclado quando comparado ao da celulose virgem, sem falar em sua crescente popularidade, em razão das diversas campanhas pelo consumo consciente.

O processo básico de produção a partir de aparas é muito similar ao que só emprega celulose virgem; a grande diferença diz respeito à ausência das operações de digestão e à necessidade muito maior por etapas de **depuração** e limpeza.

Há duas grandes fontes de papel a se reciclar: as para pré-consumo (recolhidas pelas próprias fábricas antes que o material passe ao mercado consumidor) e as para pós-consumo (geralmente recolhidas por catadores de ruas).

A aceitação do papel reciclado é crescente, especialmente no mercado corporativo. O papel reciclado tem um apelo ecológico, o que faz com que alcance um preço até maior que o material virgem.

### Pré-seleção em empresas aparistas

O papel reciclado é separado do lixo e vendido a sucateiros, que o enviam a depósitos. Ali, o papel é enfardado em prensas e depois encaminhado aos aparistas, que classificam os lotes e os revendem para as fábricas de papel como matéria-prima.



#### Depuração

É a fase do processo de fabricação da celulose, entre a lavagem e o branqueamento, onde as impurezas, tais como palitos, são separadas da celulose nos depuradores, geralmente rotativos; e areia, separadas em separadores centrífugos.

#### Fardo

É a unidade em que são embaladas as matérias-primas fibrosas, a celulose e pasta mecânica, para possibilitar seu manuseio e transporte.

O transporte é feito em caminhões cobertos, de modo a se evitar a absorção de umidade.



Figura 79 – Fardos de papel reciclado

### Recepção e seleção

Ao chegarem à fábrica, os **fardos** de papel são pesados e classificados. Essa classificação é feita de acordo com o “grau de brancura” visual de cada lote (branco de 1a, de 2a, de 3a, etc.), o que também condiciona o seu preço de aquisição.

As mais valiosas são as chamadas “brancas de primeira”, resultantes do rebarbamento das bobinas de papel branco virgem; a partir daí o preço decresce com o acréscimo de cor e impurezas.

Após essa etapa, os fardos ficam armazenados, aguardando processamento.

### Desfibramento/preparação da massa

Os fardos são colocados em uma esteira de alimentação, que os levam aos equipamentos denominados **hidrapulper**.

Nos *hidrapulper*, equipamentos semelhantes a grandes liquidificadores, a massa é misturada à água, nova ou reciclada, e rotores giratórios promovem sua completa desagregação.

Nos *hidrapulper* é formada a pasta de celulose, em uma consistência próxima à do leite, de tal forma que possa ser bombeada.



#### **Hidrapulper**

São equipamentos semelhantes a grandes liquidificadores, onde a massa é misturada à água, nova ou reciclada, e rotores giratórios promovem sua completa desagregação.



Figura 80 – Alimentação do hidrapulper

## Etapas de depuração e lavagem

As etapas em si e seu número dependerão do grau de pureza inicial da massa.

São empregados equipamentos diversos, para remoção de materiais grosseiros, de materiais finos, areia e outras impurezas.

As pastas recicladas contêm grande número dessas impurezas, como pedaços de papel não desagregado, metal (arames, cliques, ferragens) e plástico.

Uma peneira, abaixo do rotor do *hydrapulper*, se constitui na primeira etapa de remoção de materiais grosseiros. As impurezas finas e areia são removidas em uma série de equipamentos como peneiras, **flotadores**, separadores centrífugos e outros que, progressivamente, vão purificando a massa.

Nessas etapas há uso de grandes quantidades de água de processo, utilizadas na lavagem da massa.



### Flotador

Funciona por redução de densidade das impurezas fazendo-as flutuar. Os flotadores são usados como equipamentos para pré-tratamento da água e efluentes, para redução de carga orgânica (DBO), pré-separação de resíduos minerais, vegetais e orgânicos, recuperação de óleos emulsionados, fibras de papel, efluentes de curtumes, refino de óleo, conservas, lavanderias, recuperação de lanolina, matadouros e frigoríficos, petroquímicas, fábricas de celulose e papel e mineradoras e adensamento de lodo ativado produzido em reatores biológicos. São usados também para controle de odores da água e como sistema de oxigenação temporário da água ou fluido.

## Destintamento

Trata-se do grande divisor de águas do processo de reciclagem, do ponto de vista de impactos ambientais.

A massa não destintada geralmente só encontra utilização para a produção de papel-jornal, de embrulho e papelão.

A fabricação de papéis sanitários, de escrita e para impressão, além de papel para revistas e alguns tipos de papel-cartão, demanda o emprego de insumos como soda cáustica e produtos químicos (geralmente **tensoativos**), que retiram os resíduos de tintas e os transferem para o efluente do processo.

O consumo de destintantes irá depender do grau de brancura requerido para a massa.



### Tensoativos

Também chamados de surfactantes, são substâncias que diminuem a tensão superficial ou influenciam a superfície de contato entre dois líquidos. Substâncias que permitem conseguir ou manter a emulsão.

### Engrossadores

São equipamentos usados para reduzir o teor de umidade da massa removendo o excesso de água por pressão ou a vácuo.

### TCF

É o processo de branqueamento totalmente livre de cloro. Do inglês *total chlorine free* (são usados peróxidos, ozônio, etc.).

## Engrossamento

De modo a garantir o adequado funcionamento das próximas etapas, às vezes é necessário reduzir o teor de umidade da massa, o que se dá nos **engrossadores**, que removem o excesso de água por pressão ou a vácuo.

## Branqueamento

Quando há uso de aparas em proporção significativa, e dependendo do grau de brancura da massa e do produto pretendido, pode haver necessidade de se intercalar uma etapa de branqueamento adicional.

Como não contém praticamente mais lignina, a pasta pode ser branqueada por processos **TCF**, sendo comum o uso do peróxido de hidrogênio.

Dependendo do uso final, também poderá ser adicionada uma pequena quantidade de corante à massa, para conferir uma determinada cor ao produto e melhorar seu aspecto final.



O branqueamento da polpa de papel subsequente também é potencialmente poluente, pois costumava ser feito com cloro, gerando compostos orgânicos clorados tóxicos e cancerígenos. Atualmente o branqueamento é feito por processos sem cloro elementar conhecido como ECF do inglês *Elemental Chlorine Free* (usam dióxido de cloro) ou totalmente livres de cloro conhecido como TCF do inglês *Total Chlorine Free* (usam peróxidos, ozônio, etc.). Estudos apontam que o efluente que sai de ambos os processos, quando tratado, não possui diferença significativa quanto ao teor tóxicos sendo ambos de baixíssimo impacto ambiental. Aplicações industriais têm apontado para uma redução na emissão de óxidos de nitrogênio (dióxido de nitrogênio e monóxido de nitrogênio) na mudança do processo TCF para o processo ECF. Essas duas evidências em conjunto têm começado a fazer o setor repensar quanto a qual processo dentre os dois é efetivamente menos poluente e quebra um grande paradigma no setor que acreditava como dogma que o processo totalmente livre de cloro (TCF) era o mais adequado ambientalmente.



Artigo relacionado a métodos para determinar a brancura do papel no *link*:

<http://www.abq.org.br/entequi/2010/trabalhos/1/1-9-8337.htm>

## Refino ou despastilhamento

De modo a conseguir uma maior resistência no produto final, às vezes é necessário “abrir” e reorientar as fibras de celulose, melhorando sua ligação (efeito de entrelaçamento).

Isso é feito no equipamento denominado **refinador** ou despastilhador, composto de dois discos face a face que giram em sentidos opostos, aplicando determinada **tensão de cisalhamento** à massa.



Figura 81 – Despastilhadores



### Refinador

Ou despastilhador é um equipamento onde a fibra de celulose é aberta e reorientada. É composto de dois discos face a face que giram em sentidos opostos, aplicando determinada tensão de cisalhamento à massa.

### Tensão de cisalhamento

Ou ainda tensão de corte ou tensão cortante é um tipo de tensão gerado por forças aplicadas em sentidos opostos, porém em direções semelhantes no material analisado, por exemplo, a aplicação de forças paralelas, mas em sentidos opostos. É a típica tensão que gera o corte em tesouras.

## Depuração fina e acerto do comprimento da fibra

Após o refino, a pasta alimenta os depuradores, peneiras com abertura muito pequena, onde são eliminadas as areias e impurezas finas ainda existentes na pasta.

Eventualmente, nem toda a massa produzida pode ser incorporada ao novo produto.

Fibras pequenas demais tendem a tornar o papel quebradiço e devem ser separadas nessa etapa, por meio de operações de peneiramento fino.

Essas pequenas fibras são usualmente desprezadas junto com o efluente, onde a maior parte fica retida até sua disposição final como resíduo.

A pasta produzida está pronta para ser utilizada como celulose reciclada, quer seja na forma bruta, quer seja em composição com a pasta virgem, na confecção de papéis e papelões.



Figura 82 – Depurador de pasta de celulose reciclada

### Impactos da reciclagem de aparas

De uma maneira geral, os processos de reciclagem de fibras de celulose vêm ganhando muita visibilidade, sendo hoje um dos aspectos de maior destaque em várias iniciativas de consumo sustentável.

Ainda assim, é importante frisar que, apesar de os processos de reciclagem contribuir para a sustentabilidade como alternativa ao uso da fibra virgem, também apresentam limitações, visto que as fibras possuem um ciclo máximo de reciclagem de três a cinco vezes, o que até o momento tem inviabilizado o uso de papel 100% reciclado.

Além disso, a maior parte do papel reciclado é produzida em empresas pequenas, que muitas vezes não possuem sistemas de tratamento de efluentes adequados e estão localizadas próximas a córregos pequenos, que acabam recebendo uma elevada carga de poluentes, incluindo corantes e tensoativos.

A seguir serão analisados alguns dos principais aspectos ambientais ligados à atividade de reciclagem da celulose.

Uma etapa importante do processo ocorre imediatamente antes da chegada à unidade industrial, por meio da atividade de catadores, cooperativas e aparistas de papel.

Como no País ainda não existe regulamentação das atividades de coleta e reciclagem de papel, o processo acaba sujeito à variação de fatores de mercado.

Os verdadeiros “heróis anônimos” por trás dos relativamente altos percentuais de reciclagem no Brasil são uma legião de catadores de poucas posses ou estudo; é sobre essa categoria que usualmente recai a responsabilidade sobre a importante etapa de pré-seleção e classificação das aparas, que muitas vezes são coletadas em meio ao lixo comum, sendo depois submetidas à seleção manual e classificadas segundo sua aparência visual, para posterior encaminhamento ao processo de reciclagem.

Muitas vezes ocorrem erros de classificação ou contaminação das aparas com lixo orgânico. Isso faz com que papéis que poderiam ser reciclados acabem sendo rejeitados. Nesses casos, é muito usual o seu descarte no lixo comum e o encaminhamento para aterros sanitários, o que implica todos os impactos relacionados com esse procedimento, como a redução de vida útil do aterro, maiores riscos de contaminação do subsolo e águas subterrâneas, emissões de gases de efeito estufa e outros.

Por outro lado, a contaminação de aparas com agentes estranhos também pode prejudicar o processo industrial de reciclagem tornando-o mais oneroso e aumentando suas correntes de resíduos.

Sob outros aspectos, os impactos desse processo são equivalentes aos de uma unidade de produção de papel a partir de polpa de celulose.



## Passo 2 / Exercício



20 min

### Orientações para a realização do exercício:

1. Divida a sala em grupos.
2. Solicite aos grupos que criem um fluxograma do processo de reciclagem indicando as principais etapas do processo.
3. Solicite aos jovens que levem esse fluxograma na visita da próxima aula.



**Educador**, a elaboração desse fluxograma pode ser usada como parte da nota da avaliação deste capítulo.

## Terceira Aula



Nessa aula serão discutidas a produção de cavaco e sua classificação por tamanho e forma.



### Passo 1 / Aula teórica



20 min

**Educador**, se preferir inicie a aula reproduzindo os vídeos que estão disponíveis nos *links*:

- <http://www.youtube.com/watch?v=Zt.8qKGnFCK0&feature=BF&list=PLB97b4876CCFFB142&index=20>
- <http://www.youtube.com/watch?v=k6njpackp9g&feature=related>

### Classificação de cavacos

A obtenção da celulose que será usada na produção do papel começa com o corte de árvores nas áreas de reflorestamento.

Essa atividade há bem pouco tempo, era uma operação realizada manualmente, com o auxílio de machados, principalmente nas regiões de maior disponibilidade de mão-de-obra.

Posteriormente os machados foram substituídos por motosserras, tornando essa atividade semimecanizada.

A partir da década de 90, as grandes empresas florestais deram início ao sistema de corte totalmente mecanizado dado à escassez de mão-de-obra, ao elevado índice de acidentes de trabalho e ao alto custo da operação.

Os equipamentos utilizados atualmente são máquinas bem sofisticadas como os cortadores acumuladores conhecidos como *feller-buncher* e as colhedoras florestais conhecidas como *harvesters*.

Durante o corte, a casca, folhas e galhos da árvore podem ser removidos e deixados na floresta para se transformar em matéria orgânica que será reincorporada ao solo.

A madeira sofre descascamento porque a casca não tem valor como material fibroso, consome reagentes no cozimento e no **branqueamento**, além de trazer impurezas de difícil eliminação para o produto final.



#### Branqueamento

Ou alveamento é o tratamento químico, geralmente em vários estágios, que se dá à celulose depois do cozimento, depuração e lavagem, à pasta mecânica depois do desfibramento, ou em alguns casos, às aparas depois da desagregação, com a finalidade de descolorir ou remover os materiais corantes não celulósicos existentes na massa, aumentando a alvura do produto final. Isso é feito pela ação de agentes oxidantes tais como cloro, hipoclorito de sódio ou cálcio, dióxido de cloro, peróxido de hidrogênio, ou agentes redutores tal como o hidrosulfito de zinco, muito usado para alvejar a pasta mecânica.

Após a remoção dos galhos, as toras de madeira são cortadas em tamanhos apropriados, denominados toretes, e transportadas para o pátio de madeira da fábrica.



Figura 83 – Pátio de madeira



#### **Cavacos**

São pedaços de madeira cortados em um picador, de formato e tamanho adequados para o cozimento e consequente obtenção de celulose.

#### **Digestor (cozinhador ou autoclave)**

São aparelhos apropriados para o cozimento da celulose, onde se coloca o material a ser cozido e os produtos químicos aplicando -se pressão e temperatura. Podem ser de aquecimento direto ou indireto, estacionários ou rotativos. Modernamente estão sendo muito empregados os **cozinhadores contínuos**.

#### **Cozinhador contínuo**

É aquele em que o material fibroso é alimentado continuamente por um alimentador especial e extraído pela outra extremidade por meio de uma válvula extratora. Modernamente estão sendo muito empregados os cozinhadores verticais de grande porte para grandes instalações de cozimento de madeira.

No pátio de madeira os toretes que não foram descascados no momento do corte têm as cascas removidas e enviadas para a caldeira onde serão utilizadas como combustível para produção de vapor.

Os toretes descascados são lavados e picados em **cavacos** com dimensões específicas, a fim de facilitar a difusão dos reagentes químicos que serão utilizados no processamento.

A madeira é reduzida a cavacos para se conseguir boa acomodação no interior do **digestor** e, também, para se obter uma saturação rápida e completa com os licores de cozimento.

Os cavacos são peneirados para remoção de cavacos irregulares, lascas, serragem e materiais indesejáveis como pedaços de plástico e outros materiais não vegetais.

Cavacos superdimensionados são enviados para o repicador e posteriormente incorporados ao lote de cavacos peneirados.

O cavaco peneirado é enviado para a pilha de cavaco e está pronto para seguir para a próxima etapa do processo, a produção de polpa.



Figura 84 – Vidação do tamanho dos cavacos

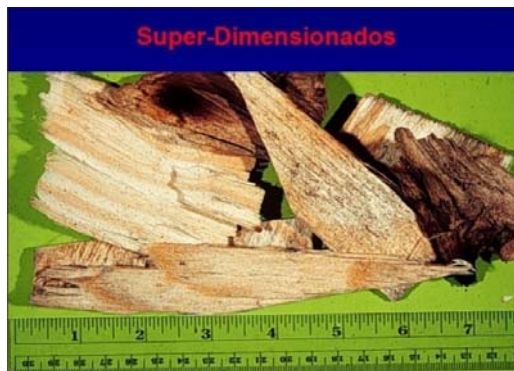


Figura 85 – Cavacos superdimensionados



Figura 86 – Cavacos finos



Figura 87 – Nós de madeira

Figura 88 – Cavacos selecionados para a fabricação de celulose



## Passo 2 / Exercício



30 min

### Orientações para a realização do exercício:

1. Divida a sala em grupos.
2. Distribua régua e amostras de cavacos não classificados para os jovens.
3. Solicite a eles que classifiquem os cavacos de acordo com o tamanho.



## Quarta Aula

Nessa aula será discutido o fluxograma de produção de cavacos e serão apresentadas as máquinas utilizadas nesse processo.



## Passo 1 / Aula teórica



30 min

### Fluxograma de produção de cavacos

A etapa inicial para a produção de celulose é a produção de cavacos.

As toras de madeira que chegam ao pátio da fábrica são içadas por um carregador e lançadas sobre as mesas de corte (figura 7).

Os carregadores são equipamentos de carga capazes de levantar diversas toras em cada manobra de içamento e são operados por um funcionário treinado e experiente.

As toras precisam ser reduzidas a toretes antes de serem descascadas, se já não o foram durante o corte no campo.

As mesas de corte são máquinas equipadas com serras elétricas circulares que cortam as toras maiores em toretes menores (figura 7).

O tamanho dos toretes depende das especificações dos equipamentos de descascamento e picagem nas próximas etapas do processo.

Os toretes são então transportados em esteira transportadora (figura 8) até os descascadores (figuras 9 a 14).

Há basicamente três razões para que os toretes sejam descascados:

1. As **casca**s têm pouca quantidade de fibras de celulose e, portanto, não constituem matéria-prima viável.
2. As cascas consomem reagentes e energia durante o processo de cozimento, filtração e branqueamento.
3. As cascas contêm impurezas que contaminam a pasta de celulose, dão cor ao produto final e são difíceis de remover.

No descascador rotativo (figuras 9 a 11) as toras rolam no interior de um tambor rotativo equipado internamente com lâminas de corte.

Na medida em que os toretes rolam dentro do tambor rotativo, as lâminas removem as cascas.

No descascador por jato de água (figuras 12 a 14) os toretes são transportados por esteira transportadora através do interior da câmara do descascador.

Dentro da câmara os toretes giram sobre roletes enquanto são atingidos por jatos de água de alta pressão que removem as cascas.

As cascas removidas são recolhidas, trituradas e empilhadas para ser utilizadas como combustível de caldeira no processo de produção de vapor.

Os toretes descascados são enviados para o picador (figuras 15 a 16), onde serão transformados em cavacos.

Há basicamente duas razões para que os toretes sejam reduzidos a cavacos:

1. A madeira reduzida a cavacos ocupa um volume menor, portanto minimiza o tamanho necessário do



#### **Casca**

É o termo não técnico aplicado a todos os tecidos situados externamente ao câmbio vascular ou xilema. Em árvores mais velhas pode ser dividida em casca periférica morta e casca interna viva.

digestor e, conseqüentemente, o investimento em equipamentos.

2. A madeira reduzida a cavacos possui uma área superficial maior e, portanto, facilita a difusão dos reagentes químicos que serão utilizados no processamento.

Os cavacos são então enviados para o peneiramento (figura 17) onde são classificados por tamanho e forma.

Cavacos superdimensionados podem ser reprocessados no repicador (figura 18) até atingirem o tamanho adequado.

Cavacos muito finos com tamanho e forma indesejados são encaminhados para a pilha de biomassa e, juntamente com as cascas, serão utilizados como combustível de caldeira no processo de produção de vapor.

Finalmente os cavacos selecionados são estocados nas pilhas de cavacos (figuras 18 a 20) onde permanecem aguardando o processamento no digestor.

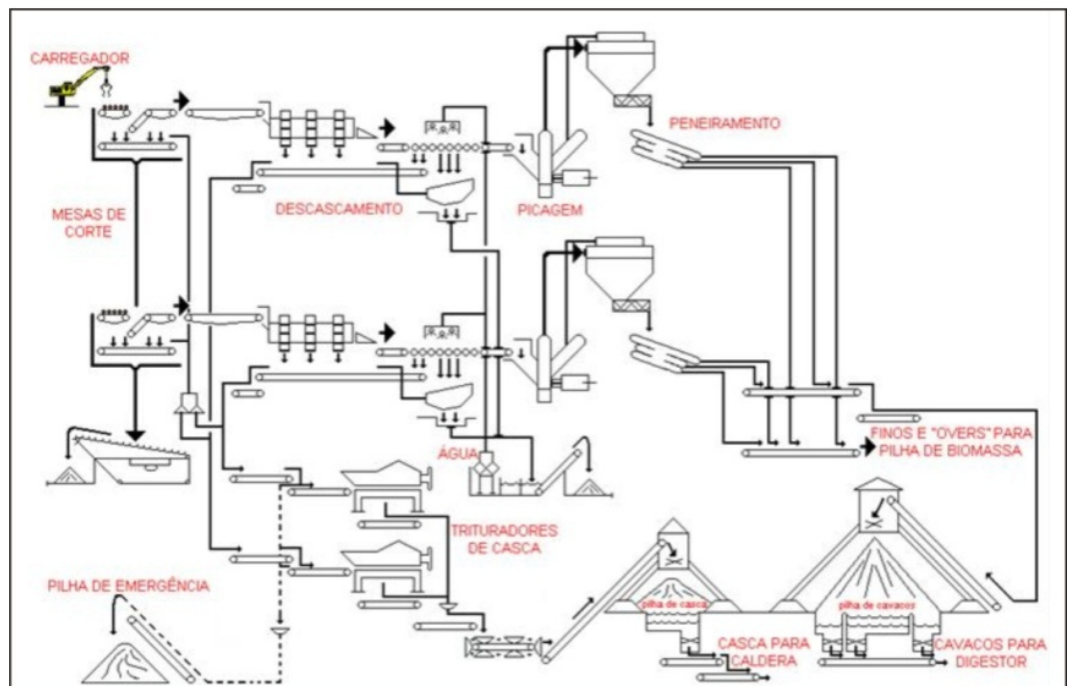


Figura 89 – Fluxo do processo de produção de cavacos



Casca da árvore do eucalipto – Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando à produção de celulose e papel.

Celso Foelkel em [www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo\\_casca.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/capitulo_casca.pdf)

Eucalyptus online book e newsletter.

**Educador**, avalie o material e, se possível, forneça uma cópia aos jovens para que eles possam entender a importância das etapas de descascamento antes da produção de cavacos. Esse artigo também traz definições interessantes e alguns ensaios químicos.



A viabilidade da produção de etanol a partir das cascas de eucaliptos descartadas pelas fábricas de celulose e papel foi comprovada em pesquisa da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ) da USP, em Piracicaba. Os experimentos realizados pelo químico Juliano Bragatto demonstraram que uma tonelada de resíduo gera 200 quilos de açúcares, que permitirão produzir 100 litros de etanol. O número pode dobrar com o aproveitamento do açúcar existente na estrutura das cascas.

O químico conta que a indústria de papel e celulose gera um resíduo de cascas de eucalipto que, em geral, não é aproveitado. “Em alguns casos, é feita a queima para produção de energia, mas a grande quantidade de cinza gerada torna o processo bastante insatisfatório”, diz Bragatto.

“Para evitar a formação de um passivo ambiental, foi avaliada a composição química das cascas para saber o potencial de transformação em bioetanol.”

A casca do eucalipto possui açúcares solúveis que podem ser prontamente postos em contato com as leveduras que produzem o etanol por meio de fermentação. “Entre eles, se encontram a glicose, a frutose e a sacarose”, afirma o químico. A casca fresca, obtida logo após o corte da madeira, possui 20% de açúcares solúveis. “Este número cai pela metade em um período de dois a três dias, pois ocorre a degradação dos açúcares na casca, por isso o ideal seria aproveitar o resíduo imediatamente após ser produzido.”



## Passo 2 / Atividade Prática



20 min

### Orientações para a realização da atividade prática:

1. Utilize um projetor para que os jovens possam ver as fotos dos equipamentos usados no processo de produção de cavacos.
- 2.



Figura 90 – Carregador de toras



Figura 91 – Mesa alimentadora



Figura 92 – Esteira transportadora



Figura 93 – Descascador rotativo



Figura 94 – Descascador por jato de água



Figura 95 – Descascador por jato de água 2



Figura 96 – Descascador por jato de água 3



Figura 97 – Picador de facas

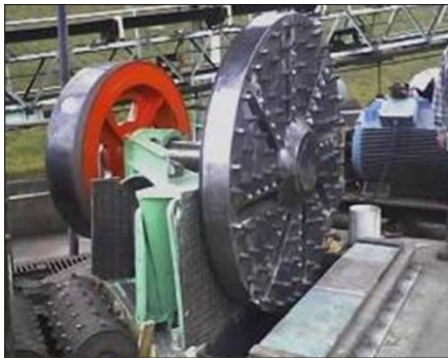


Figura 98 – Picador de disco (vista do disco de corte)



Figura 99 – Classificador de cavacos



Figura 100 – Estocagem de cavacos

## Quinta Aula



Nessa aula serão apresentados os controles realizados na produção de cavaco.



### Passo 1 / Aula teórica



30 min

## Controles na produção de cavaco

Atualmente, as fibras provenientes da madeira são as de maior importância econômica para a fabricação de papel, pela disponibilidade, volume por área plantada e processos de polpação já desenvolvidos para obtenção de celulose.

O processo *kraft*, caracterizado pelo uso de licor de cozimento composto principalmente de hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S), precisa de condições favoráveis para garantir penetração e difusão do licor no interior da madeira, de forma a promover deslignificação eficiente e reduzida degradação das cadeias de celulose e hemicelulose.

A melhor forma de permitir rápida impregnação é transformar a madeira em cavacos, com dimensões tais como comprimento e espessura, adequadas a cada processo específico de cozimento. Os cavacos possuem área de contato maior e melhor exposição das fibras da madeira, aspectos favoráveis à penetração e difusão do licor.

São normalmente utilizados picadores a disco para obtenção de cavacos, bem como sistemas de classificação dos cavacos visando à estabilidade dimensional da madeira enviada para os equipamentos de cozimento.



Na América do Norte e na Europa a principal fonte de fibras de celulose provém de madeiras resinosas (pínus), as quais são ditas moles e dão origem a fibras longas (cerca de 3 mm); no Brasil utiliza-se principalmente do eucalipto, que é mais duro do que o pínus e origina fibras curtas (cerca de 1 mm); o comprimento das fibras determina as propriedades de resistência e de printabilidade do papel de impressão: fibras longas produzem papéis mais resistentes, porém as fibras curtas proporcionam melhor printabilidade.

## Densidade da madeira

Densidade da madeira é um fator econômico importante em polpação. Numa primeira análise, com uma madeira mais densa, pode-se obter mais peso dentro de um dado volume de digestor e aumentar a produção de polpa, seja por batelada em cozimento *batch* ou por unidade de tempo em um digestor contínuo. A densidade mais baixa por sua vez possibilita cozimento mais brando, com preservação da celulose e das hemiceluloses, bem como curvas de cozimento mais rápidas, o que para digestores descontínuos permite realização de mais cozimentos, o que pode equilibrar a balança na comparação de produção.

A qualidade da polpa e operações posteriores ao cozimento também são afetadas pela densidade básica da madeira.

Fibras com paredes grossas, provenientes de madeiras de alta densidade, deformam-se menos quando sujeitas a vácuo ou prensagem do que as fibras de menor espessura de parede, o que favorece a drenabilidade, podendo ser observadas altas taxas de drenagem.

Fibras com paredes finas, provenientes de madeiras de baixa densidade, geram uma celulose e um papel com maior resistência à tração, pela flexibilidade delas, bem como pelo colapsamento das fibras quando expostas a vácuo, com maior interligação entre fibras por maior superfície de contato.

A densidade está relacionada com outros aspectos de qualidade da madeira como as dimensões das fibras, teores de vasos, **parênquima** e extrativos da madeira.

Aceitam-se na indústria da celulose, como limites ideais para a densidade da madeira de eucalipto para celulose, entre 0,450 e 0,650g/cm<sup>3</sup>.

Madeiras muito leves levam à redução do rendimento volumétrico em celulose, enquanto madeiras pesadas apresentam dificuldades de picagem e impregnação dos cavacos, consomem altas quantidades de reagentes e levam a baixos rendimentos gravimétricos e elevados teores de rejeitos.

A madeira de eucalipto pode apresentar grandes variações na densidade. As variações ocorrem entre plantios, por procedência de sementes, características locais e regionais, idade e técnicas de plantio empregadas.



### Parênquima

São os tecidos localizados entre a epiderme e os tecidos condutores. Eles desempenham várias funções, como preenchimento, assimilação, reserva e secreção. Suas células são vivas e possuem vacúolo grande. A parede celular é delgada, com pequenos poros ou perfurações através dos quais ocorre contato entre os protoplasmas de células vizinhas. Nas plantas o parênquima é um tecido composto por células morfológicamente simples e fisiologicamente complexas, em razão das diferentes funções que podem exercer. Ocupa o espaço vazio deixado pelos tecidos de proteção e condução.



O Brasil ocupa, atualmente, a quarta posição entre os maiores produtores mundiais de celulose. Segundo dados da Bracelpa, referentes a 2008, a produção nacional de celulose, incluindo as pastas de alto rendimento, atingiu nesse ano a cifra de 12,7 milhões de toneladas. Dessa produção, mais de 96% foi de polpa celulósica química. A produção nacional de polpa química foi alcançada predominantemente com madeiras de eucalipto que representaram mais de 86% da produção total, tendo as madeiras de pinus sido responsáveis pelos restantes 14%. O formidável crescimento da indústria nacional de celulose deverá continuar nos próximos anos e existem previsões de que em 2012 a produção nacional de celulose deverá ultrapassar 14 milhões de toneladas, posicionando o Brasil como o quarto maior produtor mundial de celulose.

O Brasil apresentou, nas últimas décadas, uma invejável evolução na produtividade das florestas de *Eucalyptus*, passando de 15 m<sup>3</sup>/ha/ano na década de 1970 para, atualmente, uma média nacional de cerca de 45 m<sup>3</sup>/ha/ano. Estudo recente de caracterização dos melhores clones de *Eucalyptus* cultivados no Brasil envolvendo as principais indústrias nacionais de celulose demonstrou que esses plantios florestais no Brasil apresentam os mais elevados níveis mundiais de Incremento Médio Anual (IMA).



Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa *Kraft* de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden X *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. Simone Cristina Setúbal Queiroz, José Lívio Gomide, Jorge Luiz Colodette, Rubens Chaves de Oliveira.

Ver. *Árvore*, Viçosa-MG, V.28, n.6, p901-909, 2004

Ocorrem ainda variações de densidade tanto entre árvores de um mesmo plantio como também no interior da própria árvore.

A densidade básica da madeira, por apresentar alta correlação com suas resistências mecânicas, pode influenciar as dimensões dos cavacos na picagem.



Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose

Jose Livio Gomidel; Humberto Fantuzzi Netoll; Adair José Regazzilli

Rev. *Árvore* vol.34 no.2 Viçosa Mar./Apr. 2010

A importância relativa da densidade da madeira e do teor de carboidrato no rendimento de polpa e na qualidade do produto.

Alfredo Mokfienski; Jorge Luiz Colodette; José Lívio Gomide; Ana Márcia M. Ladeira Carvalho.

Rev. *Ciência Florestal*, Santa Maria. V.18, n. 3, p. 407-419 jul-set 2008

## Qualidade dos cavacos

A qualidade dos cavacos usados para polpação é um fator muito importante na operação da fábrica de celulose e na qualidade final da polpa obtida.

As variáveis de qualidade de cavaco podem ser divididas em duas seções: variáveis relativas à madeira e variáveis relativas ao processo de picagem.

As variáveis relativas à madeira relacionam-se às características próprias da madeira, tais como seleção de espécies, variação entre espécies, deterioração da madeira durante estocagem, degradação da madeira, etc.

As variáveis relativas à operação de picagem relacionam-se às características dos processos e equipamentos, tais como tipo do picador, afiação das facas, distribuição do tamanho de cavacos, tipo de peneira e sua operação.

### Dimensões dos cavacos

As dimensões dos cavacos são de fundamental importância para que ocorra uma distribuição homogênea e uma impregnação efetiva dos agentes químicos de polpação ao interior da madeira.

Uma distribuição efetiva e rápida dos agentes químicos no interior da madeira assegura reações homogêneas durante o cozimento e conseqüentemente uma alta qualidade da celulose produzida.

Quanto menores forem as dimensões dos cavacos, maior será a superfície da madeira exposta ao licor, o que favorece a impregnação. A fragmentação excessiva da madeira, porém, pode conduzir a prejuízos nos resultados de polpação.

Em cozimentos efetuados em madeira na forma de serragens ou palitos, foram alcançados rendimentos mais baixos e uma qualidade inferior da celulose produzida, do que quando se utilizavam de cavacos convencionais.

A utilização de cavacos pequenos em muitos casos apresenta limitações na prática. Cavacos muito pequenos requerem uma manutenção mais frequente e cuidadosa dos picadores. O desgaste das peças do picador pode ser intenso. Na picagem e manuseio de cavacos são geradas quantidades maiores de finos e pó. A densidade de empacotamento menor implica menor capacidade de carga de digestores. A circulação de licor de cozimento pode ser prejudicada a ponto de dificultar o cozimento. Ainda podem acontecer obstruções nas peneiras de circulação de licor no interior dos digestores.

Em geral são considerados aceitáveis cavacos com espessura entre 2 e 8 milímetros, dependendo, porém, da espécie e das condições do processo. Cavacos muito finos, juntamente com o pó geram sólidos no licor negro, baixo rendimento e elevado consumo de reagentes.

Já os cavacos superdimensionados, muitas vezes associados à presença de nós e anomalias na estrutura da madeira, elevam os teores de rejeitos, implicando

utilização de maiores cargas alcalinas, que por sua vez conduzem rendimentos mais baixos e prejudicam a qualidade da celulose.

A uniformidade das dimensões dos cavacos também é de grande importância para os resultados dos cozimentos e a qualidade da celulose. Quanto mais uniformes forem as dimensões e principalmente a espessura, mais homogêneas serão as condições de impregnação e deslignificação, possibilitando o emprego de condições mais brandas com menores dosagens de reagentes, o que favorece os resultados.

O comprimento e a largura dos cavacos também têm sua importância na produção de celulose, pois têm influência sobre a densidade de empacotamento dos cavacos, além de contribuírem para a impregnação.

No entanto, a importância dessas dimensões tem sido colocada em segundo plano, perante a importância comprovada da espessura dos cavacos no processo *kraft*.

Alguns pesquisadores defendem que os cavacos ideais para o processo *kraft* seriam aqueles com o maior comprimento possível aliado à menor espessura possível.

### Picagem de cavacos

A redução de toras em cavacos por picadores de disco ocorre quando as facas do picador penetram como cunhas na madeira, cortando as fibras no sentido transversal, fatiando as toras.

Com a penetração das facas na madeira são gerados esforços mecânicos vigorosos. Esses esforços são progressivos e à medida que atingem o limite de resistência da madeira causam rompimentos no sentido paralelo às fibras, definindo a espessura dos cavacos.

A espessura dos cavacos, no final, depende das características geométricas de disposição das peças do picador, combinadas com as características mecânicas da madeira.

Uma vez definidos os parâmetros operacionais de um picador, as variações nas dimensões dos cavacos são de grande importância na definição de qualidade dos cavacos. Essas variações dependem de condições de manutenção e da forma e homogeneidade de alimentação do picador.

As variações que ocorrem na densidade básica e no teor de umidade da madeira, sendo características que apresentam alta correlação com as resistências

mecânicas da madeira, contribuem bastante para as variações nas dimensões dos cavacos.

### Classificação dos cavacos

Esgotadas as possibilidades de controle das dimensões dos cavacos e de sua uniformidade no picador, podem ser alcançadas melhorias complementares na sua qualidade por meio da classificação.

As características desejadas para o cavaco de madeira são: mínimo teor de finos e farpas, mínimo teor de cavacos superdimensionados, pequena variação em espessura, teor mínimo de cavacos danificados, massa específica uniforme, umidade homogênea (quanto mais elevada, melhor) e limpeza.

Os cavacos superdimensionados são repicados de maneira a atender às especificações do processo e são reincorporados aos cavacos classificados, ou ainda enviados para geração de energia, que é a tendência atual em função da baixa qualidade do reprocessamento.

Para todos os tipos de madeira, os cavacos com espessura de 2 a 6 mm apresentaram os melhores resultados dentro dos cozimentos experimentais.



Figura 101 – Parâmetros usados no controle dos cavacos

Na polpação química, os cavacos devem apresentar, em média, 25 mm de comprimento por 4 mm de espessura.

Para pastas mecânicas, os cavacos devem apresentar, em média, 20 mm de comprimento por 4 mm de espessura.

Normas para Avaliação da Qualidade dos Cavacos	
Avaliação	Normas
Amostragem Cavacos Transportador	TAPPI RC-84
Umidade dos Cavacos	TAPPI T-3, RC-88, 89, 91; TS-CPPA G.1
Classificação dos Cavacos	TAPPI T-16, RC-158; TS-CPPA D.13; 27
Sujeira nos Cavacos	TAPPI T-14, RC-92
Densidade a Granel dos Cavacos	TAPPI T21, RC-90, 91, 228,229
Análise Comprimento dos Cavacos	TAPPI RC-85,86, 87 (Classificador Willians), 158; TS-CPPA D.18H
Qualidade dos Cavacos	TS-CPPA D.18H
TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry (USA)	
TS-CPPA - Technical Section, Canadian Pulp and	

Tabela 21 – Normas de avaliação para qualidade de cavacos de acordo com a TAPPI e CPPA



#### TAPPI

É a sigla de *Technical Association of the Pulp and Paper Industry (USA)*. Normas de avaliação da qualidade de cavacos.

#### TS – CPPA

É a sigla de *Technical Section, Canadian Pulp and Paper Association*. Normas de avaliação da qualidade de cavacos.



## Passo 2 / Atividade prática



20 min

### Orientações para a realização da atividade prática:

1. Divida os jovens em grupos.
2. Obtenha na fábrica cópias do procedimento de controle para umidade dos e densidade a granel dos cavacos. Distribua cópias impressas do procedimento para os grupos.
3. Informe aos jovens que as próximas duas aulas serão práticas de laboratório em que os grupos realizarão determinações de umidade e densidade a granel dos cavacos.
4. Peça aos grupos para ler e discutir o procedimento.



## Sexta Aula

Nessa aula os jovens realizarão uma determinação de umidade dos cavacos em laboratório.



### Passo 1 / Aula prática



50 min

### Determinação de umidade (TAPPI T-3)

Esse procedimento estabelece o método para determinação da umidade dos cavacos de madeira.

**Educador**, prepare cópias impressas do procedimento de determinação de umidade de cavacos de sua empresa.

#### Orientações para a realização da aula prática:

1. Divida os jovens em grupos.
2. Monte estações de trabalho no laboratório de controle da fábrica (uma para cada grupo).
3. Solicite ao responsável pelo laboratório que oriente os grupos na realização de uma determinação de umidade de cavacos, segundo o procedimento adotado por sua empresa.



Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto.

José Tarcísio da Silva Oliveira, João César Hellmeister, Mário Tomazello Filho.

Ver. *Árvore*, Viçosa – MG, V.29; n.1, p.115-127, 2005

## Sétima Aula



Nessa aula os jovens acompanharão uma determinação de densidade a granel dos cavacos em laboratório.



### Passo 1 / Aula prática



50 min

### Determinação de densidade a granel (TAPPI T-21 )

Esse procedimento estabelece o método para determinação da densidade a granel dos cavacos de madeira.

**Educador**, prepare cópias impressas do procedimento de determinação da densidade a granel de cavacos de sua empresa.

#### Orientações para a realização da aula prática:

1. Divida os jovens em grupos.
2. Monte estações de trabalho no laboratório de controle da fábrica (uma para cada grupo).
3. Solicite ao responsável pelo laboratório que oriente os grupos na realização de uma determinação de densidade a granel de cavacos, segundo o procedimento adotado por sua empresa.



Medição da densidade da madeira em árvores tropicais. Manual do campo

Jerome Chaves

Em: [http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/manuals/wood\\_density\\_portuguese%5B1%5D.pdf](http://www.geog.leeds.ac.uk/projects/rainfor/manuals/wood_density_portuguese%5B1%5D.pdf)



## Oitava Aula

Nessa aula serão discutidos os processos químicos de polpação.



### Passo 1 / Aula teórica



30 min

## Tipos de pasta celulósica – Processo Químico



### Massa Molar (MM)

É igual à soma das **massas atômicas** dos átomos que formam a molécula.

### Massa Atômica

Ou Massa de um Átomo (MA) é um número que indica quantas vezes um átomo de um determinado elemento químico é mais pesado que 1/12 do isótopo do carbono 12.

Existem diversos métodos para preparação da pasta celulósica, desde os simplesmente mecânicos, em que as fibras são rompidas por meio da aplicação de forças de cisalhamento, até os químicos, nos quais a madeira é tratada sob pressão e ação do calor, em temperaturas superiores a 150°C, com produtos químicos, para dissolver a lignina.

No Processo Químico (PQ) os produtos químicos utilizados reagem com a lignina, em temperatura entre 110°C e 120°C e pressão entre 8,0 e 10,0 kgf/cm<sup>2</sup>, fragmentando-a em substâncias de baixa **massa molar** que se solubilizam na solução alcalina e que podem ser removidas das fibras por meio de diversas lavagens.



**Pasta química** ou polpa é obtida com emprego de produtos químicos e calor, para dissolver a lignina que liga as fibras da madeira, por processos sulfato (*kraft*), sulfito e outros. Polpa obtida da madeira ou de outras fontes vegetais, por digestão química ou cozimento, a fim de liberar as fibras de celulose, atingindo o grau ROE 10, equivalente ao número de permanganato (TAPPI) 50, com conteúdo máximo de lignina em torno de 10%. Se os valores, após o cozimento, indicarem pasta mais dura, classificar o produto como pasta semiquímica ou a que corresponder.



### Pasta química

Ou pasta soda a frio, também conhecida como *cold soda*, é a pasta obtida por uma variante do processo mecanoquímico, modernamente usado para madeiras duras. Emprega cavacos impregnados com soda cáustica em baixas temperaturas, e o desfibramento é feito em moinhos de discos. Normalmente segue-se um alvejamento para melhoria da cor.

Há basicamente três diferentes tipos de PQ:

1. Processo soda, onde o hidróxido de sódio (NaOH) é utilizado no cozimento dos cavacos, apresentando rendimento na faixa de 60% a 90%.
2. Processo *kraft* ou sulfato, onde são utilizados como reagentes no cozimento dos cavacos o hidróxido de sódio (NaOH) e sulfeto de sódio (Na<sub>2</sub>S), mistura conhecida como licor branco, apresentando rendimento na faixa de 50% a 60%.
3. Processo sulfito, onde se utiliza de bissulfito de cálcio (Ca(HSO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>) produzido a partir da reação do dióxido

de enxofre ( $\text{SO}_2$ ) com solução aquosa de cal em meio alcalino, tipicamente  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  ou  $\text{NH}_4\text{OH}$ , apresentando rendimento na faixa de 40% a 60%.

O processo **soda**, mais antigo do que o processo *kraft*, difere deste basicamente pelo uso de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) como agente de reposição das perdas do ciclo de regeneração dos reagentes de cozimento.

O processo *kraft*, além de utilizar **sulfato de sódio** ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) como agente de reposição das perdas do ciclo de regeneração dos reagentes de cozimento, utiliza o **sulfeto de sódio** ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) como agente de intensificação da digestão da celulose, promovendo um considerável aumento da velocidade de polpação e da qualidade da pasta final.

Em contrapartida o processo *kraft* apresenta uma eficiência em celulose menor do que o processo soda. Devido à presença do sulfeto de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) e à intensificação da polpação, uma quantidade maior de celulose é dissolvida no **licor de cozimento**. Essa celulose acaba sendo perdida, afetando a eficiência do processo.

O processo sulfito pode ocorrer em meio ácido ( $1,0 < \text{pH} < 2,0$ ), quando o licor de cozimento apresenta alta concentração de  $\text{SO}_2$  livre; pode ocorrer em meio neutro ( $6,0 < \text{pH} < 9,0$ ), quando o licor contém alta concentração de sulfito; ou pode ocorrer em meio alcalino ( $\text{pH} > 10,0$ ), quando o licor contém alta concentração de um reagente alcalino.

Os processos químicos à base de sulfato (processo *kraft*) são os mais utilizados no Brasil porque:

1. removem quase totalmente a lignina, preservando as características mecânicas da celulose e produzindo uma polpa com fibras mais fortes (*kraft* significa forte em alemão);
2. formam uma pasta relativamente mais fácil de branquear;
3. possibilitam a recuperação dos insumos químicos envolvidos no processo.



Figura 102 – Digestor de polpação química



#### Soda

O mesmo que hidróxido de sódio, é um álcali obtido da eletrólise do cloreto de sódio ou sal de cozinha, usado no cozimento dos processos alcalinos, isto é, no processo soda e sulfato.

#### Sulfato de sódio

É obtido como produto residual das fábricas de rayon. Na caldeira de recuperação é usado para recompor as perdas no processo sulfato, que tem esse nome por sua causa. Lá é reduzido em presença do carbono, formando o sulfeto de sódio e desprendendo gás carbônico.

#### Sulfeto de sódio

É o produto formado na caldeira de recuperação no processo sulfato, pela redução em presença do carbono do sulfato de sódio. Forma com o hidróxido de sódio a lixívia branca ou licor de cozimento do processo sulfato.

#### Licor de cozimento

Ou licor branco é a solução de soda e sulfeto de sódio ( $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$ ) no caso do processo sulfato *kraft* – pode ser efetuada ao mesmo tempo que a carga de cavacos. O licor ajuda a compactar os cavacos e deve penetrar neles de maneira mais homogênea possível.

**Educador**, no anexo I você encontrará resumos, da dissertação de mestrado de Vera Fernández e Miguel Angel e da dissertação de mestrado de Maria de Lourdes Aparecida Prudente Soffner, que tem como objetivo ampliar a compreensão do conteúdo.



Link: [www.scielo.br/pdf/brag/v38n1/14.pdf](http://www.scielo.br/pdf/brag/v38n1/14.pdf) artigo celulose monossulfito a partir de bambusa vulgaris Schrad. Anísio Azzini e Violeta Nagai, Bragantia, revista do instituto agrônomo de Campinas, vol, 38, no. 14, 1979

## Impregnação dos cavacos

A finalidade da polpação é separar as fibras da organização compacta da madeira.

Para a produção de pastas uniformes, deve-se dar um tratamento químico e térmico idêntico a todas as fibras da madeira.

Isso só é possível se os reagentes químicos puderem ser transportados para o interior dos cavacos até o local da reação.

O transporte dos reagentes químicos para dentro da madeira ocorre através de dois mecanismos:

1. penetração do licor na madeira devido à pressão aplicada;
2. difusão dos íons envolvidos no processo através da água sob a influência de um gradiente de concentração.

A estrutura da madeira apresenta variações entre as espécies, dentro de uma mesma espécie e até na própria árvore.

Em geral a madeira apresenta de 50% a 75% de espaços vazios, preenchidos com ar ou água.

Essa porosidade natural da madeira facilita o processo de penetração dos reagentes na madeira.

As árvores folhosas são mais fáceis de cozinhar do que as coníferas, não apenas pelo seu menor teor de lignina, mas também pelo fato de que sua estrutura permite a penetração mais fácil dos reagentes.

A penetrabilidade da madeira é extremamente influenciada pela sua umidade. Em madeira seca, o fluxo é 100 a 200 vezes mais rápido do que em madeira

úmida. Em madeira saturada não há penetração dos reagentes.

A madeira seca ao ar contém cerca de 10% de umidade. A madeira estocada para produção de celulose contém geralmente entre 20% e 45% de umidade.

O processo de penetração dos reagentes na madeira é tanto melhor quanto mais seca estiver a madeira.

Por outro lado o processo de difusão só ocorre quando a madeira está saturada. Não poderá haver difusão de íons para o interior da madeira se os espaços vazios não estiverem saturados com o licor de cozimento.

A penetração dos reagentes pode também ser acelerada pela temperatura.

Por esse motivo utiliza-se de aquecimento durante o processo de cozimento.

### Modificações do processo *kraft*

Enquanto a base química da polpação alcalina e do sistema de recuperação dos compostos químicos é, praticamente, a mesma desde a sua descoberta, houve uma grande evolução em matéria de equipamentos e diversificação de matérias-primas e insumos industriais.

Consequentemente a atual indústria *Kraft* possui uma capacidade muito maior que a do início do século: opera continuamente, gera produtos de qualidade superior, produz parte da energia que consome e recupera os reagentes químicos com alta eficiência.

Assim, embora a polpação *kraft* seja o processo de produção de pasta celulósica mais empregado atualmente, apresenta uma série de deficiências, tais como:

- maior quantidade de matéria-prima consumida por tonelada de produto gerado em comparação com o processo sulfito;
- poluição da atmosfera com os compostos voláteis de enxofre;
- necessidade de tratar seus efluentes aquosos altamente poluidores, exigindo elevados investimentos;
- para atingir alvuras elevadas, as pastas *kraft* exigem vários estágios de branqueamento e adição de diversos produtos químicos;

- grande parte da carga de álcali é consumida na neutralização de compostos ácidos resultantes da degradação dos compostos lignocelulósicos.

Visando superar suas desvantagens, diversas modificações no processo têm sido estudadas, apesar da resistência da indústria a inovações:

- O processo *kraft* modificado deveria ser livre de sulfetos inorgânicos capazes de formar compostos mal cheirosos de enxofre.
- Não utilizar reagentes que degradem os compostos lignocelulósicos.
- Ser capaz de solubilizar grande parte da lignina ou modificá-la quimicamente, de modo que a lignina transformada possa contribuir para as características desejáveis da pasta.
- Não aumentar o número de estágios de cozimento, nem as condições de pressão e temperatura empregadas no processo atual.
- Utilizar um sistema de recuperação de reagentes mais simples que o empregado atualmente.
- Não causar poluição ao meio ambiente.

Dos processos sugeridos para modificar o processo *kraft*, o mais promissor é o cozimento rápido em fase vapor.

### Cozimento rápido em fase vapor

No cozimento em fase vapor os cavacos são impregnados com a quantidade de licor necessária para a digestão. Após a remoção do excesso não absorvido, o cozimento prossegue apenas com o licor introduzido no cavaco.

Nesse processo *kraft* modificado destacam-se as seguintes etapas:

- Penetração forçada do licor nos cavacos com remoção do excesso.
- Rápido aquecimento dos cavacos impregnados até a temperatura de cozimento.
- No cozimento rápido em fase vapor, os reagentes devem estar absorvidos na madeira antes do aquecimento.

Vantagens que esse processo modificado apresenta:

- Redução do consumo de reagentes.
- Redução do consumo de energia, pois o volume de reagente que deve ser aquecido é menor.
- Redução da duração do ciclo de cozimento.



Link: [www.revistaopapel.org.br](http://www.revistaopapel.org.br)

Artigo: O efeito da troca de licor negro em cozimento Kraft nas propriedades de tração de polpa Kraft de Eucalyptus urograndis. Sverker Danielsson e Mikael Lindstrom

Revista: O papel vol70, n. 04, PP 35-50, Abril 2009



## Passo 2 / Exercícios



20 min

### Orientações para a realização do exercício:

1. Divida os jovens em grupos.
2. Peça aos grupos que montem uma tabela indicando os três mais importantes processos químicos de polpação e suas características principais.
3. Solicite aos jovens que identifiquem os dois principais mecanismos de impregnação dos cavacos de madeira na polpação química e os fatores que influenciam a velocidade da polpação.

**Educador**, o texto a seguir tem como objetivo ampliar a compreensão do conteúdo.





## Tipos de celulose

### Celulose alfa

1. É o tipo usado para designar a porção da celulose que é insolúvel em uma solução de hidróxido de sódio a 17,5%, à temperatura de 20°C, em condições determinadas. Representa teor verdadeiro de celulose pura do material.
2. As celulosas que contêm um alto teor de alfa-celulose, são chamadas comercialmente em nosso país de delulose-alfa, *dissolving pulp* ou celulose para *rayon* e são usadas na fabricação de celulose, como acetato, nitrato, etc. Geralmente são fabricadas partindo da madeira ou línter de algodão, especificamente para esses fins.

### Celulose beta

É o termo usado para designar a porção da celulose que é solúvel em uma solução de hidróxido de sódio a 17,5%, à temperatura de 20°C, precipitando quando a solução é acidificada. Além da celulose, inclui quase sempre certa quantidade de hemicelulose e celulose degradada.

### Celulose cross e bevan

É nome que se dá ao teor de holocelulose do material determinado pelo método cross e bevan. Consiste essencialmente em tratar o material em estado com cloro gás durante três a quatro minutos, depois do que o material é lavado com água, SO<sub>2</sub> e uma solução de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> a 2% para a remoção de toda a lignina.

### Celulose de fibra curta

É a celulose obtida de vegetais cujo comprimento de fibra é em medida entre um e dois milímetros. Nessa classe estão as madeiras duras ou folhudas, das quais, no Brasil, o eucalipto é a mais usada, e as palhas e resíduos agrícolas, dos quais o bagaço de cana é o mais usado.

### Celulose de fibra longa

É a celulose obtida de vegetais cujo comprimento de fibra é em média acima de três milímetros. As madeiras coníferas estão nessa classe, indo o seu comprimento de fibra até cerca de cinco ou seis milímetros, e as fibras têxteis, tais como algodão, linho, sisal, caroá, rami, etc., que ultrapassam até a um centímetro. Das madeiras de fibra longa a mais usada no País é o pinheiro do Paraná.

### Celulose dura

É a celulose que se apresenta com refinação demorada e difícil.

### Celulose gama

É o termo usado para designar a porção da celulose que é solúvel em uma solução de hidróxido de sódio a 17,5%, à temperatura de 20°C, não precipitando quando a

solução é acidificada. Além da celulose, inclui geralmente certa quantidade de hemicelulose e celulose degradada.

### **Celulose mole, ou macia**

É a celulose que refina rapidamente, com relativa facilidade. São fabricadas especificamente para papéis que necessitam de elevado grau de refinição (DÚVIDA: NÃO SERIA REFINAÇÃO?).

### **Celulose semiquímica**

É o termo usado para designar a celulose onde a remoção de lignina foi apenas parcial e, conseqüentemente, as fibras não ficaram totalmente separadas. Geralmente depois do cozimento, segue-se um desfibramento mecânico. Os tipos de celulose semiquímica mais usados no País são as de processo soda e do sulfito neutro.

### **Celulose sulfato**

É a celulose produzida pelo processo sulfato. O licor de cozimento é hidróxido de sódio com sulfeto de sódio e os produtos químicos são facilmente e economicamente recuperáveis em uma instalação de recuperação (ver sistema de recuperação). As perdas são repostas geralmente pela adição de sulfato de sódio, o que originalmente deu nome ao processo. Quando este era feito visando a uma celulose de alto rendimento e resistência, chamava-se a celulose de kraft. Esse termo é hoje empregado indistintamente como equivalente da celulose sulfato. A resistência da celulose sulfato é mais elevada que a dos demais processos, porém sua cor é mais escura, o que leva ao emprego de vários estágios de branqueamento para alvejá-la sem perda de resistência. A celulose de sulfato semibranqueada é muito empregada atualmente, em substituição à celulose sulfito não branqueada.

### **Celulose sulfito**

É a celulose obtida pelo processo sulfito. O licor de cozimento é sulfito ácido de cálcio, formado pela mistura de bissulfito de cálcio com um excesso de ácido sulforoso. Pela dificuldade de obtenção desses materiais e impossibilidade de recuperação econômica dos produtos químicos envolvidos, existe uma tendência moderna de substituir o cálcio por sódio, amônia ou magnésio. O grau de cozimento varia com o tipo de celulose que se deseja. A celulose sulfito cozida lentamente a baixas temperaturas desenvolve alta resistência, com alto teor de hemicelulose, sendo especialmente adequada para papéis impermeáveis, tipo pergaminho, granado, fosco, etc., os tipos mais cozidos e de fácil alveamento em relação a outros processos. O licor é obtido pela queima de enxofre natural em forno apropriado, sendo recolhido o gás dióxido de enxofre, que depois de resfriado, é transferido para a parte inferior de uma torre onde é absorvido por pedras calcárias ou por leite de cal, onde são formados o bissulfito de cálcio e o ácido sulforoso. O licor formado, denominado ácido, é ainda fortalecido pelos gases recuperados da descarga dos cozinhadores.

### **Celulose sulfito-neutro**

É a celulose obtida pelo processo sulfito neutro, onde o licor de cozimento é sulfito de sódio com adição de carbonato de sódio para mantê-lo ligeiramente alcalino. A celulose semiquímica obtida por esse processo, chamada abreviadamente de NSSC, é muito usada para madeiras duras e em menor escala para coníferas de baixo teor de resina. Geralmente os rendimentos obtidos para essa celulose não branqueada são altos, com um teor elevado de lignina e hemicelulose, sendo necessário desfibramento mecânico logo após o cozimento. A celulose assim obtida fornece papéis com alta rigidez, adequados a produtos para papel ondulado. Sendo mais cozida é passível de branqueamento.

## Nova Aula



Nessa aula serão discutidos os fatores relacionados à madeira que influenciam o desempenho da polpação química.



### Passo 1 / Aula teórica



25 min

## Variáveis associadas com a madeira

### Espécies de madeira

A espécie de madeira empregada no processo de cozimento, mais do que qualquer outra variável do processo, é responsável pelas maiores diferenças na qualidade e nas propriedades da pasta.

O comprimento das fibras é um fator importante para as propriedades da pasta.

Do ponto de vista mecânico as folhosas apresentam fibras mais curtas do que as coníferas. O comprimento das fibras afeta a densidade e a viscosidade da pasta produzida. Quanto mais longas forem as fibras, menos densa e menos viscosa será a pasta e, portanto, menos energia será requerida pelo processo.

Do ponto de vista químico, as folhosas apresentam menor teor de lignina na madeira, exigindo menores quantidades de reagentes e energia durante sua polpação.

No caso do cozimento apenas com soda, a pasta de folhosas é obtida após de aproximadamente 3 horas a 170°C; porém, a pasta de coníferas, com teores maiores de lignina, só é obtida mediante forte degradação da celulose, em temperaturas superiores a 180°C e tempos de cozimento de até 5 horas, levando a rendimentos inferiores.

A estrutura física da madeira de folhosas apresenta mais espaços vazios (ocupados por água ou ar) do que as coníferas. Essa condição facilita a penetração e a difusão dos reagentes reduzindo os tempos de digestão e o consumo de reagentes.

## Densidade da madeira

A densidade da madeira, expressa em toneladas de madeira seca por metro cúbico de madeira, é um fator econômico muito importante para o cozimento.

A densidade afeta diretamente o fator de conversão, pois a compra da madeira geralmente é feita por volume, mas, no processamento, é utilizada a massa seca para o controle adequado da operação.

A uniformidade da densidade, dentro de uma mesma madeira, é desejável para a obtenção de uma pasta final com propriedades homogêneas.

A velocidade de impregnação da madeira pelo licor de cozimento e a velocidade de deslignificação são influenciadas fortemente pela massa específica da madeira. Espera-se uma deslignificação mais rápida das madeiras menos densas.

## Fatores de crescimento

As propriedades da madeira variam entre as estações do ano e de um ano para outro, afetando o rendimento da pasta.

Madeiras cortadas no verão apresentam tipicamente rendimento em celulose de 2 a 8% maiores do que madeiras cortadas na primavera.

A madeira de cerne fornece rendimentos de aproximadamente 2 a 3% mais baixos que a do restante do tronco, por apresentar um teor maior de substâncias outras que celulose, hemiceluloses e lignina, além de um teor de umidade menor.

A madeira do topo da árvore, composta de fibras mais curtas, apresenta rendimentos menores e maior consumo de reagentes.

Madeira juvenil, comparada com a madeira adulta, apresenta menor densidade; no caso das coníferas, o teor de lignina é maior e o de celulose menor, enquanto nas folhosas acontece o contrário.

Nas partes inferiores do tronco forma-se madeira de compressão, como resultado do aumento de peso da árvore. Por esse motivo as pastas produzidas com essa madeira apresentam propriedades de resistência inferiores às obtidas com outras partes do tronco.

## Estocagem

O intervalo de tempo entre o corte na floresta e o cozimento é considerado um fator importante para a qualidade do produto e, também, para o custo do processamento.

A partir de 1950, com o desenvolvimento de equipamentos pneumáticos para transporte de madeira, a estocagem na forma de cavacos, em vez de toras, tem sido adotada na maioria dos países produtores de celulose.

Muitos estudos demonstram que as perdas de madeira e a redução de qualidade são equivalentes na estocagem em cavacos e toras.

Embora a madeira seca seja razoavelmente estável, a madeira verde e úmida é suscetível à deterioração, principalmente em climas quentes.

Além da temperatura ambiente, a espécie de madeira é importante na deterioração dos cavacos estocados.

As perdas de madeira, devido à ação de microrganismos na pilha de cavacos ao ar livre, estão em torno de 1% ao mês.

## Dimensão dos cavacos

A redução na espessura do cavaco melhora o desempenho da polpação química porque facilita a penetração e a difusão dos reagentes na madeira.

Entretanto, a redução de cavacos tem sido pouco usada comercialmente porque os benefícios obtidos na polpação não justificam os requerimentos adicionais de energia na produção e transporte de cavacos.

O estado da arte dos picadores comerciais disponíveis no mercado permite trabalhar com cavacos de 2 a 8 mm, com maior frequência de espessura de 4 a 6 mm.

Espessuras de cavaco superiores a 4 mm acarretam formação de rejeito porque nem toda a madeira é digerida durante a polpação.



- Análise de critérios de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose *Kraft*. Jose Livio Gomide, Humberto Fantuzzi Netoll, Adair José Regazzilli.  
Rev. Árvore vol.34 no. 2 Viçosa Mar./Apr. 2010
  - Química da madeira - 3a. edição revisada - Umberto Klock, Graciela Inez Bolzon de Muñiz, José Anzaldo Hernandez, Alan Sulato de Andrade . Curitiba 2005
- Disponível em: [marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf](http://marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf)



## Passo 2 / Exercícios



30 min

**Educador**, leve os jovens até a fábrica para conhecer as faixas de operação usuais dos fatores que afetam a qualidade da polpação associados à madeira utilizada.

Estimule-os a fazerem anotações e, ao final da visita, solicite que respondam as questões disponíveis no final do caderno.



## Décima Aula

Nessa aula serão discutidos os fatores relacionados às condições de cozimento que influenciam o desempenho da polpação química.



## Passo 1 / Aula teórica



30 min

Variáveis associadas com as condições de cozimento

Efeito do álcali

O requerimento normal de álcali para o processo *kraft* com coníferas é em torno de 12 a 14% de álcali efetivo tendo como base o peso seco da madeira, enquanto que de 8 a 10% é típico para folhosas.

Em cada situação é essencial prover o álcali suficiente para promover as reações de cozimento, além de um excesso de produto químico para prevenir a deposição de material dissolvido (lignina) de volta nas fibras.

Devido ao elevado custo do álcali, a prática usual nas operações em fábrica é utilizar a carga de álcali mínima praticável e variar a temperatura de cozimento até se obter a taxa de reação desejada.

Entretanto, a aplicação de álcali também pode ser usada para ajustar a taxa de reação.

Uma carga alta de álcali causa uma leve redução na retenção de celulose e hemiceluloses.

Fábricas *Kraft* que produzem celulose de mercado não branqueada empregam usualmente uma carga relativamente alta de álcali.

Essa prática pode parecer contraditória tendo em vista a diminuição na retenção de celulose e hemiceluloses, mas a carga alta de álcali garante uma polpa com maior alvura e menor teor de rejeitos, permitindo à fábrica controlar o processo a um número kappa significativamente mais alto e, dessa forma, produzir com maior rendimento.

### Efeito da sulfidez

Comparado à polpação soda, o processo *kraft* é mais rápido e produz fibras mais resistentes.

Os efeitos positivos do uso de  $\text{Na}_2\text{S}$  são bastante acentuados até cerca de 20 a 30% de sulfidez (relação porcentual entre a quantidade de  $\text{Na}_2\text{S}$  e a soma de  $\text{NaOH}$  e  $\text{Na}_2\text{S}$  presentes no licor branco).

Entretanto uma alta sulfidez não garantirá bons resultados se a carga de álcali for insuficiente.

Uma sulfidez acima de 25% traz o inconveniente do aumento do nível de odor nos efluentes da fábrica.

Níveis de 40% constituem o máximo normalmente conseguido, geralmente, por sistemas equipados com recuperação convencional de reagentes da digestão.

## Efeito do tempo e da temperatura de cozimento

Tempo e temperatura são variáveis interdependentes, ou seja, quanto maior a temperatura da digestão, menor o tempo de cozimento.

Exceto pelo efeito na taxa de reação, a escolha da temperatura na faixa de 150 até 170°C não afeta significativamente o resultado do cozimento.

Acima de 180°C acontecem perdas significativas, tanto na resistência das fibras como no rendimento do processo, devido à degradação térmica da celulose.

Aumentos de temperatura de 10°C na polpação resultam em aumentos de velocidade de deslignificação superiores a duas vezes.

Em cozimentos descontínuos, o licor é introduzido no digestor em temperatura inferior ao ponto de ebulição da água (tipicamente de 70 a 80°C) e o conteúdo do digestor é aquecido e mantido a uma temperatura predeterminada.

A elevação da temperatura é feita o mais rápido possível, em função das limitações do equipamento e da disponibilidade de vapor; normalmente essa operação leva de 1 a 2 horas.

A escolha do tempo de cozimento depende da qualidade e da concentração de álcali, da sulfidez e da temperatura.

## Efeito da relação licor/madeira

Para penetração adequada, um volume suficiente de licor é requerido a fim de assegurar que todas as superfícies dos cavacos sejam umedecidas.

Em cozimentos descontínuos, o digestor é normalmente preenchido com aproximadamente 75% de licor no começo do cozimento. Na medida em que o cozimento prossegue, a umidade dos cavacos aumenta (penetração e difusão) e a lignina passa para a fase líquida enquanto que a massa de cavacos se reacomoda. Nesse momento o nível de líquido se eleva em relação ao nível dos cavacos dentro do digestor.

Licor branco suficiente é suprido para prover a carga de álcali especificada. O balanço do requerimento do líquido é tipicamente realizado com **licor negro**.



### Licor negro

São os reagentes de cozimento que saem do digestor carregando a lignina que foi dissolvida. Normalmente é levado para um sistema de evaporação e caldeira de recuperação com a finalidade de recuperar os produtos químicos, gerar vapor de água e evitar a poluição.

A relação licor/madeira varia entre 3 e 5. O efeito da maior diluição é a redução da concentração dos produtos químicos ativos e, dessa forma, redução da taxa de reação.

Desde que a deposição de lignina sobre as fibras possa ocorrer, sob certas circunstâncias, o fato de utilizar licor negro para ajustar o volume total de licor dentro do digestor poderia ser questionado.

A principal razão, de fato, é evitar diluição desnecessária do licor negro e a sobrecarga do sistema de evaporação.

Também existem fortes evidências de que uma concentração de sulfeto de sódio remanescente no licor negro auxilia no cozimento.

Para assegurar mínima diluição e máxima produtividade em digestores descontínuos, é necessário o emprego de métodos confiáveis na produção e seleção dos cavacos.

Um digestor com uma carga compacta de cavacos possui menos volume vazio para preencher com licor.



## Passo 2 / Exercícios



25 min

**Educador**, leve os jovens até a fábrica para conhecer as faixas de operação usuais dos fatores que afetam a qualidade da polpação associados às condições do cozimento, e solicite que respondam às seguintes questões.

Estimule-os a fazerem anotações e, ao final da visita, solicite que respondam as questões disponíveis no final do caderno.



## Décima **Primeira** Aula

Nessa aula será introduzido o conceito de fator H.



### Passo 1 / Aula teórica



15 min

### Fator H

O fator H é uma forma de se expressar o tempo e a temperatura de cozimento com uma única variável, de modo que o tempo e a temperatura de qualquer cozimento possam ser comparados com base num único fator numérico.

Cozimentos com diferentes relações de tempo e temperatura, mas tendo constantes as demais condições, devem produzir pastas com teor de lignina e rendimento semelhantes.

O fator H normalmente está em torno de 700 para folhosas e 1.500 para coníferas.

No desenvolvimento do fator H assumiu-se, de acordo com a equação de Arrhenius, que a velocidade relativa (K) de uma reação química é função da temperatura absoluta (T).

$$\ln K = B - A \div T$$

A e B são constantes para uma determinada reação química.

A = 16162 para reação de deslignificação.

B = 43,33 para reação de deslignificação.

A velocidade da reação de deslignificação a 100°C (100°C = 373°K) foi arbitrariamente definida como unidade relativa e todos os valores são calculados a partir dessa base.

A equação assume, então, a seguinte forma:

$$\ln K = 43,33 - 16162 \div T$$

Portanto:

$$K = \exp (43,33 - 16162 \div T)$$

Com essa equação pode-se construir uma tabela de velocidade de reação relativa a qualquer temperatura.

T (C)	K	T (C)	K	T (C)	K	T (C)	K
100	1,00	125	15,42	150	169,70	175	1429,10
101	1,14	126	17,07	151	185,69	176	1548,58
102	1,28	127	18,89	152	203,11	177	1677,46
103	1,44	128	20,89	153	222,06	178	1816,42
104	1,61	129	23,09	154	242,67	179	1966,19
105	1,80	130	25,51	155	265,10	180	2127,57
106	2,02	131	28,17	156	289,47	181	2301,40
107	2,26	132	31,10	157	315,96	182	2488,57
108	2,52	133	34,31	158	344,73	183	2690,05
109	2,82	134	37,83	159	375,97	184	2906,84
110	3,15	135	41,69	160	409,88	185	3140,04
111	3,51	136	45,93	161	446,66	186	3390,81
112	3,92	137	50,57	162	486,56	187	3660,38
113	4,37	138	55,66	163	529,81	188	3950,08
114	4,87	139	61,23	164	576,68	189	4261,30
115	5,42	140	67,33	165	627,46	190	4595,53
116	6,03	141	73,99	166	682,44	191	4954,37
117	6,71	142	81,29	167	741,96	192	5339,49
118	7,46	143	89,26	168	806,36	193	5752,71
119	8,29	144	97,97	169	876,02	194	6195,93
120	9,20	145	107,48	170	951,35	195	6671,18
121	10,21	146	117,86	171	1032,77	196	7180,63
122	11,33	147	129,19	172	1120,74	197	7726,56
123	12,56	148	141,55	173	1215,76	198	8311,40
124	13,92	149	155,02	174	1318,36	199	8937,76

Tabela 22

A velocidade média da reação em cada intervalo pode ser facilmente calculada da seguinte forma:

$$V (\Delta T) = [ K ( T \text{ inicial} ) + K ( T \text{ final} ) ] \div 2$$

O fator H é definido como o produto da velocidade média da reação pelo intervalo de tempo.

$$\text{Fator H} = V (\Delta T) \cdot \Delta t$$



Parâmetros de otimização no processo de fabricação de celulose e papel. Eduardo Bittencourt. Dissertação de mestrado. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004

Em: [www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/.../d392\\_0580-M.pdf](http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/.../d392_0580-M.pdf)



## Passo 2 / Exercícios



35 min

**Educador**, demonstre para os jovens o método de cálculo por meio do exercício a seguir.

Considere um cozimento no qual a elevação da temperatura de 100°C a 180°C foi realizada em 1,6 h e a polpa permaneceu à temperatura de 180°C durante 0,5 h.

- Temperatura inicial = 100°C
- Temperatura máxima = 180°C
- Tempo para atingir a temperatura = 1,6 h
- Tempo na temperatura máxima = 0,5 h

Logo o intervalo de aquecimento foi de:

$$\Delta t = 180^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C} = 80^\circ\text{C}$$

Divide-se agora arbitrariamente o intervalo de aquecimento de 80 °C em 80 partes iguais de 1°C cada.

$$\Delta t = 80 \text{ C} \div 80 = 1^\circ\text{C}$$

Na sequência divide-se também o intervalo de tempo necessário para atingir a temperatura máxima em mesmas 80 partes iguais de 0,0125 h.

$$\Delta T = 1,6 \text{ h} \div 80 = 0,02 \text{ h}$$

Pode-se agora montar a tabela a seguir utilizando as equações demonstradas anteriormente.

T (C)	V (ΔT)	ΔT	H	T (C)	V (ΔT)	ΔT	H	T (C)	V (ΔT)	ΔT	H	T (C)	V (ΔT)	ΔT	H
100	1,00	0,0000	0,00	125	14,67	0,0200	0,29	150	162,36	0,0200	3,25	175	1373,73	0,0200	27,47
101	1,07	0,0200	0,02	126	16,25	0,0200	0,32	151	177,70	0,0200	3,55	176	1488,84	0,0200	29,78
102	1,21	0,0200	0,02	127	17,98	0,0200	0,36	152	194,40	0,0200	3,89	177	1613,02	0,0200	32,26
103	1,36	0,0200	0,03	128	19,89	0,0200	0,40	153	212,58	0,0200	4,25	178	1746,94	0,0200	34,94
104	1,52	0,0200	0,03	129	21,99	0,0200	0,44	154	232,37	0,0200	4,65	179	1891,30	0,0200	37,83
105	1,71	0,0200	0,03	130	24,30	0,0200	0,49	155	253,89	0,0200	5,08	180	2046,88	0,0200	40,94
106	1,91	0,0200	0,04	131	26,84	0,0200	0,54	156	277,29	0,0200	5,55	180	2046,88	0,5000	1023,441
107	2,14	0,0200	0,04	132	29,63	0,0200	0,59	157	302,72	0,0200	6,05				
108	2,39	0,0200	0,05	133	32,70	0,0200	0,65	158	330,35	0,0200	6,61				
109	2,67	0,0200	0,05	134	36,07	0,0200	0,72	159	360,35	0,0200	7,21				
110	2,98	0,0200	0,06	135	39,76	0,0200	0,80	160	392,92	0,0200	7,86				
111	3,33	0,0200	0,07	136	43,81	0,0200	0,88	161	428,27	0,0200	8,57				
112	3,72	0,0200	0,07	137	48,25	0,0200	0,96	162	466,61	0,0200	9,33				
113	4,14	0,0200	0,08	138	53,12	0,0200	1,06	163	508,19	0,0200	10,16				
114	4,62	0,0200	0,09	139	58,44	0,0200	1,17	164	553,25	0,0200	11,06				
115	5,14	0,0200	0,10	140	64,28	0,0200	1,29	165	602,07	0,0200	12,04				
116	5,72	0,0200	0,11	141	70,66	0,0200	1,41	166	654,95	0,0200	13,10				
117	6,37	0,0200	0,13	142	77,64	0,0200	1,55	167	712,20	0,0200	14,24				
118	7,08	0,0200	0,14	143	85,27	0,0200	1,71	168	774,16	0,0200	15,48				
119	7,87	0,0200	0,16	144	93,61	0,0200	1,87	169	841,19	0,0200	16,82				
120	8,74	0,0200	0,17	145	102,73	0,0200	2,05	170	913,69	0,0200	18,27				
121	9,71	0,0200	0,19	146	112,67	0,0200	2,25	171	992,06	0,0200	19,84				
122	10,77	0,0200	0,22	147	123,53	0,0200	2,47	172	1076,75	0,0200	21,54				
123	11,95	0,0200	0,24	148	135,37	0,0200	2,71	173	1168,25	0,0200	23,37				
124	13,24	0,0200	0,26	149	148,29	0,0200	2,97	174	1267,06	0,0200	25,34				1536

Tabela 23

Portanto, o fator H desse cozimento é de aproximadamente 1536.

Faça agora a seguinte variação do exercício para demonstrar a aplicação prática do uso do fator H.

Peça aos jovens que suponham que a fábrica deseja reduzir o tempo de elevação da temperatura da pasta de 1,6 h para 0,8 h. Portanto, uma redução de 50% no tempo necessário para aquecer a pasta.

T (C)	V (ΔT)	ΔT	H	T (C)	V (ΔT)	ΔT	H	T (C)	V (ΔT)	ΔT	H	T (C)	V (ΔT)	ΔT	H
100	1,00	0,0000	0,00	125	14,67	0,0100	0,15	150	162,36	0,0100	1,62	175	1373,73	0,0100	13,74
101	1,07	0,0100	0,01	126	16,25	0,0100	0,16	151	177,70	0,0100	1,78	176	1488,84	0,0100	14,89
102	1,21	0,0100	0,01	127	17,98	0,0100	0,18	152	194,40	0,0100	1,94	177	1613,02	0,0100	16,13
103	1,36	0,0100	0,01	128	19,89	0,0100	0,20	153	212,58	0,0100	2,13	178	1746,94	0,0100	17,47
104	1,52	0,0100	0,02	129	21,99	0,0100	0,22	154	232,37	0,0100	2,32	179	1891,30	0,0100	18,91
105	1,71	0,0100	0,02	130	24,30	0,0100	0,24	155	253,89	0,0100	2,54	180	2046,88	0,0100	20,47
106	1,91	0,0100	0,02	131	26,84	0,0100	0,27	156	277,29	0,0100	2,77	180	2046,88	0,5000	1023,441
107	2,14	0,0100	0,02	132	29,63	0,0100	0,30	157	302,72	0,0100	3,03				
108	2,39	0,0100	0,02	133	32,70	0,0100	0,33	158	330,35	0,0100	3,30				
109	2,67	0,0100	0,03	134	36,07	0,0100	0,36	159	360,35	0,0100	3,60				
110	2,98	0,0100	0,03	135	39,76	0,0100	0,40	160	392,92	0,0100	3,93				
111	3,33	0,0100	0,03	136	43,81	0,0100	0,44	161	428,27	0,0100	4,28				
112	3,72	0,0100	0,04	137	48,25	0,0100	0,48	162	466,61	0,0100	4,67				
113	4,14	0,0100	0,04	138	53,12	0,0100	0,53	163	508,19	0,0100	5,08				
114	4,62	0,0100	0,05	139	58,44	0,0100	0,58	164	553,25	0,0100	5,53				
115	5,14	0,0100	0,05	140	64,28	0,0100	0,64	165	602,07	0,0100	6,02				
116	5,72	0,0100	0,06	141	70,66	0,0100	0,71	166	654,95	0,0100	6,55				
117	6,37	0,0100	0,06	142	77,64	0,0100	0,78	167	712,20	0,0100	7,12				
118	7,08	0,0100	0,07	143	85,27	0,0100	0,85	168	774,16	0,0100	7,74				
119	7,87	0,0100	0,08	144	93,61	0,0100	0,94	169	841,19	0,0100	8,41				
120	8,74	0,0100	0,09	145	102,73	0,0100	1,03	170	913,69	0,0100	9,14				
121	9,71	0,0100	0,10	146	112,67	0,0100	1,13	171	992,06	0,0100	9,92				
122	10,77	0,0100	0,11	147	123,53	0,0100	1,24	172	1076,75	0,0100	10,77				
123	11,95	0,0100	0,12	148	135,37	0,0100	1,35	173	1168,25	0,0100	11,68				
124	13,24	0,0100	0,13	149	148,29	0,0100	1,48	174	1267,06	0,0100	12,67				1280

Tabela 24

Observe que reduzindo em 50% o tempo de elevação da temperatura sem alterar o tempo de permanência da pasta na temperatura máxima o fator H seria reduzido de 1.536 para 1.280, implicando, diretamente, redução no rendimento da reação.

Qual seria então o tempo necessário de permanência da pasta na temperatura máxima que implicaria o mesmo fator H e, portanto, o mesmo rendimento da reação?

T (C)	V (ΔT)	ΔT	H	T (C)	V (ΔT)	ΔT	H	T (C)	V (ΔT)	ΔT	H	T (C)	V (ΔT)	ΔT	H
100	1,00	0,0000	0,00	125	14,67	0,0100	0,15	150	162,36	0,0100	1,62	175	1373,73	0,0100	13,74
101	1,07	0,0100	0,01	126	16,25	0,0100	0,16	151	177,70	0,0100	1,78	176	1488,84	0,0100	14,89
102	1,21	0,0100	0,01	127	17,98	0,0100	0,18	152	194,40	0,0100	1,94	177	1613,02	0,0100	16,13
103	1,36	0,0100	0,01	128	19,89	0,0100	0,20	153	212,58	0,0100	2,13	178	1746,94	0,0100	17,47
104	1,52	0,0100	0,02	129	21,99	0,0100	0,22	154	232,37	0,0100	2,32	179	1891,30	0,0100	18,91
105	1,71	0,0100	0,02	130	24,30	0,0100	0,24	155	253,89	0,0100	2,54	180	2046,88	0,0100	20,47
106	1,91	0,0100	0,02	131	26,84	0,0100	0,27	156	277,29	0,0100	2,77	180	2046,88	0,6250	1279,302
107	2,14	0,0100	0,02	132	29,63	0,0100	0,30	157	302,72	0,0100	3,03				
108	2,39	0,0100	0,02	133	32,70	0,0100	0,33	158	330,35	0,0100	3,30				
109	2,67	0,0100	0,03	134	36,07	0,0100	0,36	159	360,35	0,0100	3,60				
110	2,98	0,0100	0,03	135	39,76	0,0100	0,40	160	392,92	0,0100	3,93				
111	3,33	0,0100	0,03	136	43,81	0,0100	0,44	161	428,27	0,0100	4,28				
112	3,72	0,0100	0,04	137	48,25	0,0100	0,48	162	466,61	0,0100	4,67				
113	4,14	0,0100	0,04	138	53,12	0,0100	0,53	163	508,19	0,0100	5,08				
114	4,62	0,0100	0,05	139	58,44	0,0100	0,58	164	553,25	0,0100	5,53				
115	5,14	0,0100	0,05	140	64,28	0,0100	0,64	165	602,07	0,0100	6,02				
116	5,72	0,0100	0,06	141	70,66	0,0100	0,71	166	654,95	0,0100	6,55				
117	6,37	0,0100	0,06	142	77,64	0,0100	0,78	167	712,20	0,0100	7,12				
118	7,08	0,0100	0,07	143	85,27	0,0100	0,85	168	774,16	0,0100	7,74				
119	7,87	0,0100	0,08	144	93,61	0,0100	0,94	169	841,19	0,0100	8,41				
120	8,74	0,0100	0,09	145	102,73	0,0100	1,03	170	913,69	0,0100	9,14				
121	9,71	0,0100	0,10	146	112,67	0,0100	1,13	171	992,06	0,0100	9,92				
122	10,77	0,0100	0,11	147	123,53	0,0100	1,24	172	1076,75	0,0100	10,77				
123	11,95	0,0100	0,12	148	135,37	0,0100	1,35	173	1168,25	0,0100	11,68				
124	13,24	0,0100	0,13	149	148,29	0,0100	1,48	174	1267,06	0,0100	12,67				1536

Tabela 25

Como se pode observar, elevando-se o tempo de permanência da pasta na temperatura máxima de 0,5 h para 0,625 h obter-se-á o mesmo fator H e, portanto, um rendimento semelhante para a reação de deslignificação.

## Décima **Segunda** Aula



Nessa aula será discutido o processo mecânico de polpação.



### Passo 1 / Aula teórica



30 min

## Tipos de pasta celulósica – Processo Mecânico

O aumento vertiginoso do consumo de papel associado à escassez de matéria-prima vem motivando o desenvolvimento de processos de polpação com rendimentos superiores aos processos químicos.

### Processo Mecânico (PM)

No Processo Mecânico (PM), toras de madeira, neste caso preferencialmente coníferas, são prensadas a úmido contra um rolo giratório cuja superfície é coberta por um material abrasivo, reduzindo-as a uma pasta fibrosa denominada “**pasta mecânica**” ou *groundwood*, podendo-se alcançar um rendimento que varia de 95% a 98%.

O PM também pode utilizar desfibradores a disco, em que a madeira é prensada contra lâminas giratórias metálicas que desintegram as fibras do material.

Esse processo não permite uma separação completa das demais fibras constituintes do vegetal. A celulose obtida por meio do PM é uma pasta relativamente barata, de aplicação limitada, pois o papel produzido tende a escurecer com certa rapidez, mesmo depois de passar pela etapa de branqueamento, em razão da oxidação da lignina residual.

A pasta mecânica pura, ou misturada a outras pastas celulósicas, é muito usada na fabricação de papel para jornal, embrulho e toalete (toalhas de mão).



#### **Pasta mecânica**

Também chamada em menor escala por alguns de pasta de madeira, é o material obtido da madeira, por processos puramente mecânicos, em máquinas chamadas de moinhos de pasta, onde a madeira cortada em toras de tamanho adequado, descascada e limpa, é pressionada de encontro a uma pedra rotativa, geralmente de natureza sintética.

O processo mecânico se inicia com o recebimento da madeira, a qual será descascada e cortada em toretes, indo, em seguida, para o desfibramento.

No desfibrador de pedra ou rebolo (*grinder*), o desfibramento é feito forçando-se a tora sobre uma superfície abrasiva, molhada com água quente.

A pasta produzida cai numa cuba, de onde é enviada para peneiramento.

Os rejeitos das peneiras, tipicamente palitos e feixes de fibras, são enviados para desfibradores de disco e reincorporados à massa da pasta depurada.

Essa pasta depois de passar por depuradores centrífugos a fim de eliminar sujeiras e rejeitos é enviada aos diferentes pontos de consumo.)

Os principais tipos de desfibradores usados para produção de pasta mecânica são:

1. desfibrador de pedra com alimentação simples;
2. desfibrador com alimentação múltipla;
3. desfibrador com acionamento por corrente;
4. desfibrador tipo hydra;
5. desfibrador em anel;
6. desfibrador rotativo;
7. desfibrador de disco.

O desfibrador de pedra com alimentação simples, em geral alimentado manualmente com madeira, representa a concepção mais antiga de fábricas para produção de pasta convencional.

Esse equipamento permite produzir até 20 t de pasta de celulose por dia.

O processo é descontínuo porque, na medida em que a madeira carregada na máquina é totalmente consumida, o operador precisa abrir a câmara de alimentação e carregar mais madeira.

O desfibrador com alimentação múltipla possui mais de uma câmara de alimentação.

O processo é praticamente contínuo, pois enquanto a madeira contida em uma das câmaras é desfibrada, carrega-se com madeira a outra câmara.

Esse equipamento permite produzir até 80 t de pasta de celulose por dia.

No desfibrador com alimentação por corrente as toras de madeira são pressionadas contra a pedra abrasiva por

correntes com sapatas, que se movem lentamente ao longo das paredes do alimentador.

Esse equipamento foi o primeiro desfibrador a dispensar a força hidráulica para prensar as toras contra a superfície abrasiva.

A vantagem desse equipamento em comparação com os desfibradores anteriores é que exige um espaço significativamente menor para sua instalação, pois não possui pistões hidráulicos.

Devido a essa particularidade é considerado um equipamento que demanda relativamente menor manutenção.

No desfibrador tipo hydra as toras de madeira são pressionadas contra a pedra abrasiva por sapatas que se movem lentamente ao longo das paredes do alimentador.

A diferença em comparação com o desfibrador por corrente é que esse modelo utiliza pressão hidráulica, e não corrente, para acionar as sapatas.

Embora julgado um equipamento de alto rendimento, seu consumo de energia é relativamente o mais elevado entre os desfibradores.

O desfibrador em anel possui uma configuração completamente diferente da configuração dos equipamentos citados anteriormente.

Não possui cuba ou câmara de alimentação e a pedra abrasiva gira excentricamente dentro de um anel; este, por sua vez, gira no mesmo sentido, porém com velocidade menor.

A superfície interna do anel é coberta de dentes que servem para forçar a madeira contra a superfície abrasiva.

A velocidade do anel é controlada de modo que a pressão exercida pelas toras sobre o abrasivo seja praticamente constante.

As fibras são arrancadas da madeira, integradas à pasta e deixam o equipamento por fendas existentes no anel.

O desfibrador rotativo também difere completamente dos demais modelos.

Esse equipamento usa uma série de engrenagens que produzem, na tora, um movimento simultâneo de rotação e translação, ao mesmo tempo em que um disco rotativo vai desfibrando a sua parte externa.

A desvantagem no uso desse equipamento é a necessidade de utilização de toras pré-torneadas.

A produção de pasta mecânica por meio do processamento de madeira em desfibradores de disco, também denominada inadequadamente em nosso idioma pasta de refinador, só começou a ser empregada na década de 70.

Esse processo teve uma aceitação rápida pelos fabricantes porque:

1. possui alta flexibilidade com relação à matéria-prima, podendo processar praticamente todo tipo de madeira além de resíduos de serraria;
2. a mão-de-obra utilizada nas instalações com desfibradores de disco é menor que a utilizada naquelas com outros desfibradores;
3. a pasta produzida é mais resistente que aquela produzida em outros desfibradores, permitindo reduzir a quantidade de pasta química adicionada na confecção de papéis de qualidade superior;
4. o controle do processo é mais fácil que nos demais desfibradores, resultando numa pasta mais uniforme quanto às suas propriedades;
5. a unidade industrial é mais compacta, necessitando menos espaço que aquelas que utilizam outros tipos de desfibrador.



**Educador**, se possível levar os jovens para uma visita à fábrica onde eles tenham a oportunidade de conhecer os equipamentos para polpação mecânica em funcionamento.



## Passo 2 / Exercícios



20 min

### Orientações para a realização do exercício:

1. Divida os jovens em grupo.
2. Peça aos grupos que criem uma tabela comparativa das diferentes tecnologias de polpação mecânica, indicando as principais características de cada uma.

## Décima **Terceira** Aula



Nessa aula será discutido o processo quimimecânico, termomecânico e semiquímico de polpação.



### Passo 1 / Aula teórica



30 min

## Tipos de pasta celulósica - Quimimecânico

O aumento vertiginoso do consumo de papel associado à escassez de matéria-prima vem motivando o desenvolvimento de processos de polpação com rendimentos superiores aos processos químicos.

### Processo Quimimecânico (PQM)

No Processo Quimimecânico (PQM), toras de madeira são pré-tratadas em contato com licor à base de hidróxido de sódio antes de serem desintegradas em rolos giratórios ou desfibradores a disco. O rendimento observado para os processos PQM é da ordem de 65% a 85%.

Os melhores resultados obtidos em PQM foram alcançados com o pré-tratamento químico da madeira em contato com hidróxido de sódio 0,3%, carbonato de sódio 2% e cloreto de sódio 5%.

Esses tratamentos deram melhor resultado com as madeiras de folhosas devido à facilidade de penetração do licor nelas.

Outra vantagem na utilização de folhosas em PQM é que sua madeira é mais barata que as coníferas, balanceando o acréscimo de custos de operação decorrentes da utilização de reagentes químicos.

Nesse processo a madeira pode ser confinada a vácuo no reator onde os reagentes penetram no material ou pode ser deixada em tanques abertos onde o licor penetra no material por difusão.

Após a impregnação, as toras são conduzidas ao desfibramento contra superfícies abrasivas umedecidas com água quente.



**Pasta quimimecânica** – Processo de separação das fibras de celulose da madeira no qual os cavacos são impregnados com sulfito de sódio aquecidos em alta temperatura num digestor para sulfonação da lignina, produzindo um material fisicamente resistente, mas com baixa opacidade. Polpa de materiais lignocelulósicos previamente tratados com reagentes químicos obtida por desfibramento em pressão atmosférica

### Processo Termomecânico (PTM)

No Processo Termomecânico (PTM) cavacos de madeira são submetidos a um aquecimento a uma temperatura de 120 a 140°C, provocando a transição do estado rígido para o estado plástico, seguindo para o processo de desfibramento em desfibrador a disco ou facas.

O processo PTM apresenta rendimento ligeiramente inferior ao do processo PM, variando de 85% a 95%, mas resulta numa celulose de melhor qualidade, que pode ser utilizada para fabricação de papéis com maior resistência mecânica e imprimibilidade.

O PTM convencional compõe-se, geralmente, de dois estágios.

No primeiro os cavacos são aquecidos com vapor saturado durante 1 a 3 min numa faixa de temperatura que varia de 120 a 140°C. Em seguida os cavacos são descarregados em desfibradores, tipicamente do tipo disco giratório, que operam sob pressão.

No segundo estágio, que opera por pressão atmosférica, a pasta alimenta um novo grupo de desfibradores que finaliza a produção da polpa.

Devido às características desse processo, algumas variáveis influenciam fortemente a qualidade da polpa produzida: granulometria dos cavacos, temperatura do vapor, tempo de aquecimento, umidade da matéria-prima e características dos desfibradores.



**Pasta termomecânica** - É a polpa obtida por tratamento de cavacos de madeira, pré-aquecidos com vapor saturado em refinador de disco, sob pressão. Polpa termomecânica.

## Processo Semiquímico (PSQ)

No Processo Semiquímico (PSQ), na realidade uma variante do processo PTM, produtos químicos são acrescentados durante o desfibramento para facilitar a separação da lignina. Os processos PSQ apresentam rendimento típico entre 65% e 90%.

No processo PQTm podem ser adicionados sulfito de sódio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), sulfito de amônio ( $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_3$ ), sulfeto de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) e hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ).

A fabricação de PSQ ocorre em dois estágios. No primeiro estágio os cavacos são tratados quimicamente de modo a remover parcialmente a lignina e hemicelulose. No segundo, os cavacos ligeiramente amolecidos são submetidos a um tratamento mecânico para separação das fibras.

O principal objetivo para o seu desenvolvimento foi o de encontrar meios adequados para o processamento de madeira de folhosas e obtenção de rendimentos maiores, visando, principalmente, à produção de pastas baratas para papelão corrugado.



### Pasta mecanoquímica

É a pasta mecânica obtida por processos convencionais, onde as toras de madeira receberam previamente uma impregnação com um produto químico, geralmente soda cáustica, carbonato de sódio, sulfito de sódio. A impregnação é quase sempre feita em pressões elevadas, às vezes com auxílio de temperatura. O processo é empregado especialmente para madeiras duras, resultando numa pasta que substitui a pasta mecânica convencional de coníferas, em suas aplicações. Em alguns casos procede-se a um pequeno alvejamento para melhoria da cor.



**Pasta semiquímica** – Polpa produzida por cozimento químico brando dos cavacos de madeira, a fim de amolecer e remover parcialmente a lignina, atingindo o número de permanganato (TAPPI) de 50 a 140, seguido de desfibramento mecânico, derivando uma pasta de alto rendimento, usada na produção de cartão enrugado, tubetes de bobina. Termos alternativos: **pasta mecanoquímica**, polpa semiquímica.



## Passo 2 / Exercícios



20 min

### Orientações para a realização do exercício:

1. Divida os jovens em grupo.
2. Peça aos grupos que criem uma tabela comparativa das diferentes tecnologias de polpação estudadas nessa aula, indicando as principais características de cada uma.



## Décima **Quarta** Aula

Nessa aula será apresentado o fluxograma do processo da produção de polpa *kraft*.



### Passo 1 / Aula teórica



25 min

### Fluxo do processo de produção de polpa

Cavacos de madeira alimentam o digestor *Kraft*, juntamente com licor branco forte (solução de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio), pela parte superior do equipamento.

Na medida em que a massa se desloca da parte superior para a parte central do digestor, os cavacos vão sendo saturados com o licor de cozimento e a lignina é transferida da madeira para a mistura de reagentes formando o licor negro.

Na parte central do digestor a mistura de pasta celulósica e licor negro são separados.

A pasta celulósica continua descendo até a parte inferior do digestor.

Na parte inferior do digestor é adicionada água em contracorrente ao deslocamento da pasta de celulose, a fim de promover a primeira etapa de lavagem da pasta de celulose.

A água sobe da parte inferior até a parte central do digestor onde é extraída do equipamento juntamente com o licor negro.

A pasta celulósica deixa o digestor pela parte inferior do equipamento e é despejada nos tanques de descarga.

Ao sair do digestor a pasta de celulose, também chamada nessa fase de polpa marrom (*brown stock*), ainda contém licor negro e fibras impregnadas com lignina e precisa ser submetida a um processo de lavagem.

Nos lavadores a polpa marrom é misturada à água limpa e filtrada sucessivamente em filtros rotativos.

A polpa obtida é então enviada para branqueamento e secagem.

A água dos lavadores é misturada ao licor negro extraído do digestor e a mistura alimenta evaporadores.

Nos evaporadores a água é removida até que a concentração de sólidos no licor negro atinja a especificação necessária para ser utilizada como combustível de caldeira.

O licor negro alimenta caldeiras de recuperação, onde é queimado como combustível liberando o calor necessário para produção de vapor de alta pressão (40–90 kgf/cm<sup>2</sup>).

Vapor de alta pressão aciona turbinas que movimentam geradores de eletricidade.

Vapor de baixa pressão (1,5 – 6,5 kgf/cm<sup>2</sup>) é extraído das turbinas e utilizado como fonte de aquecimento ao longo de todo o processo de produção da celulose.

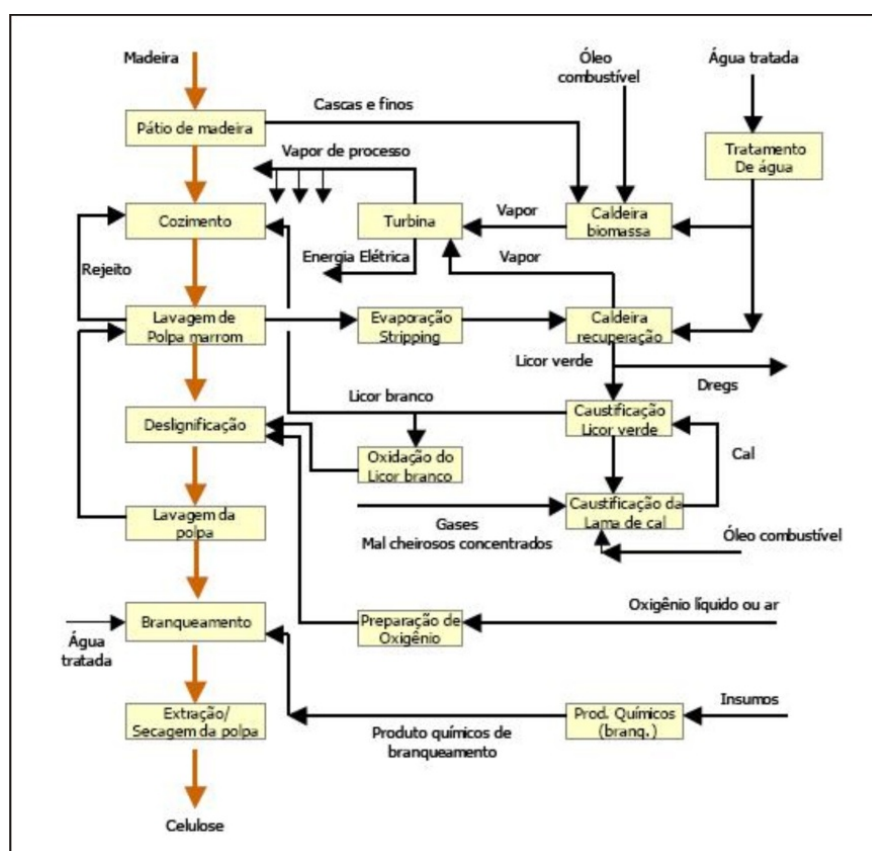


Figura 103 – Fluxo do processo de produção de polpa



Efeito dos sólidos dissolvidos da madeira no desempenho do processo *Kraft*.

Dalton Longue Júnior, Jorge Luiz Colodette, Fernando José Borges Gomes e Marcela Freitas Andrade

Sci. For., Piracicaba, V.37, n.84, p.405-413 Dez.2009



**Flash-drying** – É o nome do processo desenvolvido modernamente para secar a celulose. Esta, depois de prensada mecanicamente até uma consistência de 45 a 50%, é desfibrada e atravessada por correntes de gases quentes em um ou mais estágios, sendo finalmente prensada. A evaporação da água das fibras é função da área exposta, temperatura diferencial entre o gás e as fibras, velocidade do gás, pressão e coeficiente de transferência de calor da película.



## Passo 2 / Exercícios



25 min

### Orientações para a realização do exercício:

1. Divida os jovens em grupos.
2. Peça aos grupos que coletem, na fábrica, as seguintes informações relativas a cada fase do processo de polpação *kraft* descrito nessa aula:
  - Vazão de alimentação de cada fase.
  - Temperatura de operação de cada fase.
  - Pressão de operação de cada fase.
  - Outras informações de processo relevantes a cada fase.



## Décima Quinta Aula

Nessa aula será discutido o funcionamento do digestor *Kraft*.



## Passo 1 / Aula Teórica



25 min

### Funcionamento do digestor *Kraft*

O digestor é o vaso de pressão onde ocorre o contato do licor branco forte (solução aquosa de hidróxido de sódio e sulfeto de sódio) com os cavacos de madeira.

Reagentes	Concentração (g/L Na <sub>2</sub> O)
NaOH	80 - 120
Na <sub>2</sub> S	30 - 40
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	10 - 45
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	2 - 7
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4 - 18

Tabela 26 – Composição típica do licor branco

A digestão pode ser uma operação descontínua ou contínua.

No cozimento descontínuo ou em batelada o digestor é preenchido com cavacos e licor branco forte suficiente é adicionado até que os cavacos sejam cobertos.

O conteúdo é aquecido de acordo com programa preestabelecido, usualmente por circulação forçada do licor de cozimento por meio de trocadores externos de calor.

O ar e outros gases não condensáveis são removidos por válvula de controle de pressão no topo do digestor.

A temperatura máxima é atingida tipicamente após 1 – 1,5 h, o que permite ao licor de cozimento impregnar-se totalmente aos cavacos.

O cozimento é então mantido à temperatura máxima (usualmente em torno de 170 °C) por aproximadamente 1 - 2 h para completar as reações de cozimento.

Após o cozimento, o conteúdo é descarregado sob pressão em tanques, onde os cavacos amolecidos são desintegrados em fibras, e os vapores resultantes são condensados em trocadores de calor.

O produto final da digestão em batelada é uma mistura de polpa (fibras de celulose) e licor negro (licor branco forte usado no cozimento mais lignina dissociada da madeira) que sofre separação por intermédio de etapas posteriores de lavagem (sucessivas impregnações com água seguidas de filtração).

Já na digestão contínua, a formação da mistura de polpa (fibras de celulose) e licor negro ocorre na metade superior do digestor enquanto que, na metade inferior do equipamento, ocorre uma primeira etapa de lavagem da polpa com água em contracorrente.

O digestor contínuo, com altura aproximada de 50 a 60 m, é alimentado com cavacos e licor branco forte continuamente pela parte superior.

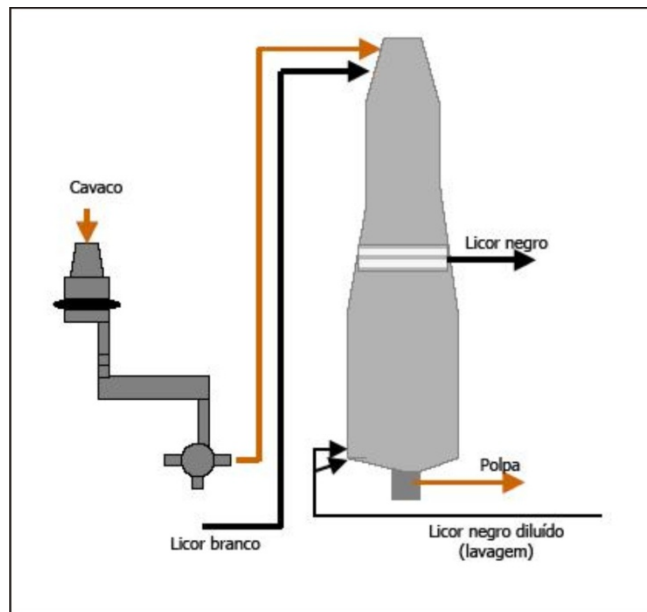


Figura 104 – Alimentação do reator *Kraft*

A massa atravessa zonas de temperatura crescente até atingir a zona de cozimento, onde a temperatura é mantida constante.

O tempo total do cozimento da madeira varia de 30 a 180 minutos e realiza-se do topo até o centro do digestor.

A digestão ocorre entre 110°C e 170°C e sob uma pressão entre 8,0 e 10,0 kgf/cm<sup>2</sup>.

Do centro até a parte inferior, realiza-se uma operação preliminar de lavagem, a fim de se retirar a solução residual – o licor negro (licor branco forte usado no cozimento mais lignina dissociada da madeira), que será utilizado como combustível na **caldeira de recuperação**.

Dentro do digestor, em sua metade inferior, ocorre adição de água no sentido contrário ao do escoamento da pasta, a fim de promover o processo de lavagem da celulose.

A água sai como resíduo, juntamente com o licor negro, na região central do digestor.



**Caldeira de recuperação** é a caldeira com um forno de tipo especial para queimar a lixívia preta concentrada, obtida após o cozimento nos processos que permitem tal operação. Três fatores importantes acontecem na caldeira de recuperação: a água restante na lixívia é evaporada, o material sólido é decomposto em carbono, sais inorgânicos e gases voláteis, que são queimados, e o carbono é queimado na presença do ar.



Figura 105 – Reator contínuo *Kraft*

## Vantagens e desvantagens do processo *kraft*

Principais vantagens do processo *kraft* sobre os demais processos de polpação:

- Grande flexibilidade quanto às espécies de madeira processadas.
- Ciclos de cozimento mais curtos que processos sulfito.
- A pasta pode ser branqueada a elevados níveis de alvura.
- Pode ser utilizado para madeiras resinosas.
- Pasta celulósica produzida composta por fibras de alta resistência.
- Recuperação economicamente viável dos reagentes empregados.

Principais desvantagens do processo *kraft* comparado aos demais processo de polpação:

- Elevado custo de investimento na construção da fábrica.
- Problemas de odor associados aos gases produzidos.
- Baixa alvura da pasta não branqueada.
- Baixo rendimento da polpação.
- Elevado custo de branqueamento da celulose.

## Balanço material processo *kraft*

Na figura abaixo pode-se observar o balanço de massa típico para o processo *kraft*.

A produção de 1.000 unidades de polpa consome 2.185 unidades de madeira, 460 unidades de reagentes de cozimento e gera 1.500 unidades de licor negro.

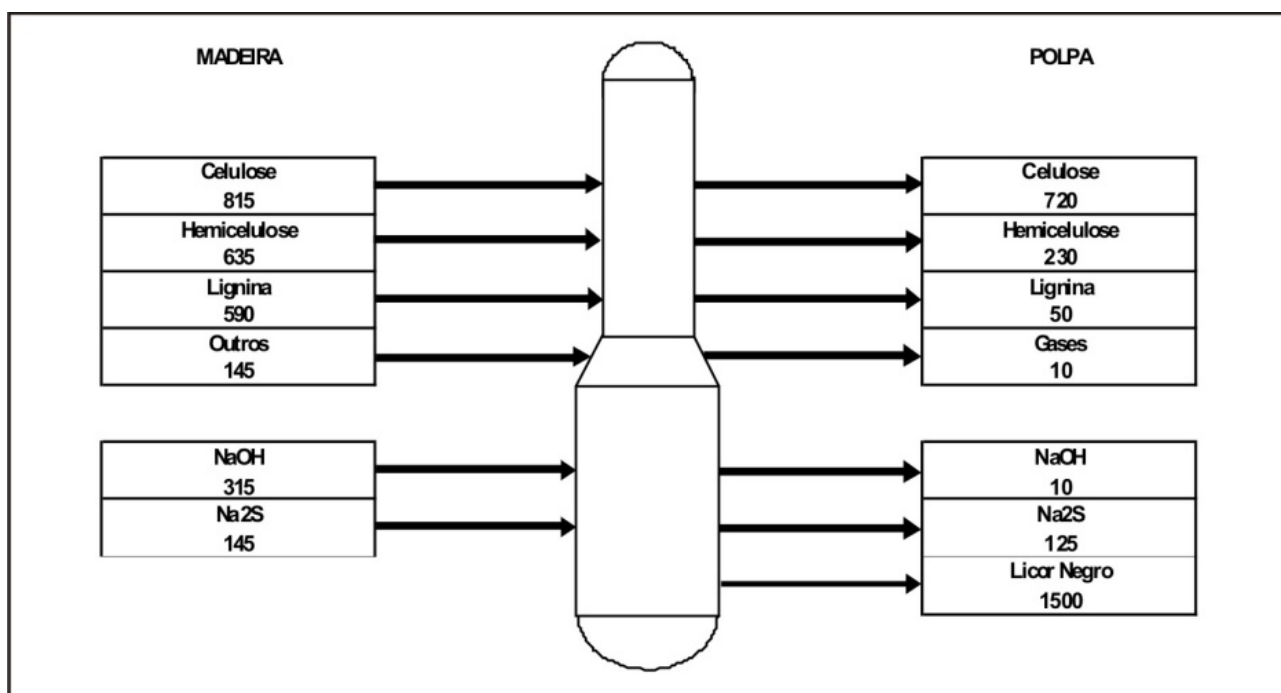


Figura 106 – Balanço material sobre o digestor *Kraft*



## Passo 2 / Exercícios



25 min

**Educador**, a próxima aula será destinada à realização de uma visita guiada ao digestor *Kraft* e à sala de controle.

Utilize o tempo desse exercício para preparar a visita.

1. Divida os jovens em grupos.
2. Peça aos grupos que, com base nas informações discutidas nessa aula, preparem uma lista de pontos a serem verificados e discutidos durante a próxima visita.
3. Peça aos jovens que levem o documento preparado na visita.



## Décima Sexta Aula

Nessa aula serão apresentadas as etapas do tratamento do licor negro e as reações envolvidas no processo de regeneração de reagentes.



### Passo 1 / Aula teórica



25 min

### Recuperação de insumos químicos

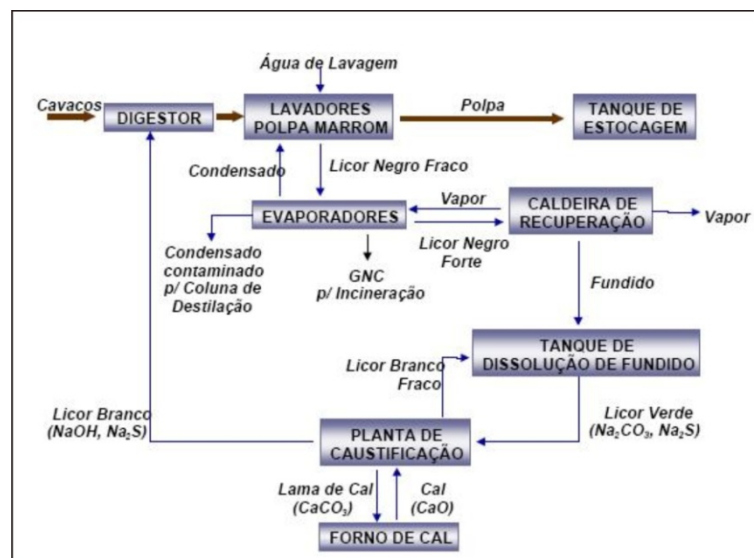


Figura 107 – Fluxograma do tratamento do licor negro

Licor negro é o produto da reação do licor branco (hidróxido de sódio e sulfeto de sódio) com a lignina da madeira.

O licor negro é extremamente rico em material orgânico de alto poder calorífico (contém aproximadamente metade da massa da madeira utilizada no processo) o que torna viável sua utilização como insumo energético.

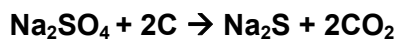
O licor negro alimenta evaporadores em série, aquecidos com vapor, que elevam a concentração de sólidos de 15% para 80%.

Quando a concentração de sólidos no licor negro atinge 80%, o licor é bombeado para os queimadores da caldeira de recuperação, a qual produz vapor de alta pressão.

Vapor de alta pressão pode ser utilizado para cogeração de energia elétrica, ou seja, para movimentação de turbinas que acionam geradores de eletricidade.

Sob ação da alta temperatura das fornalhas das caldeiras os compostos de sódio presentes no licor negro são transformados em carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ).

O carbonato de sódio então reage com carbono livre formando sulfeto de sódio ( $\text{Na}_2\text{S}$ ), um dos componentes básicos do licor branco. A equação dessa reação é descrita abaixo:



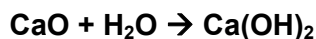
O  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  e o  $\text{Na}_2\text{S}$ , após a queima do licor negro, são recolhidos do fundo da caldeira formando o chamado *smelt*.

O *smelt* é dissolvido em licor branco fraco ou água quente, formando uma solução de licor branco de baixa concentração chamada de licor verde, que segue para a etapa de caustificação.

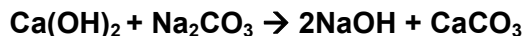
A caustificação é a etapa que consiste em tratar o licor verde com óxido de cálcio.

O licor verde alimenta clarificadores onde os sólidos insolúveis, basicamente cinzas e outras impurezas chamadas de *dregs*, são separados.

O licor verde clarificado segue para os caustificadores onde é tratado com óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ) que, ao reagir com água, forma hidróxido de cálcio ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). A equação dessa reação é descrita abaixo:



O  $\text{Ca(OH)}_2$  converte o carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ), presente no licor verde, em hidróxido de sódio ( $\text{NaOH}$ ), recuperando assim o  $\text{NaOH}$ , um dos componentes básicos do licor branco. A equação dessa reação é descrita abaixo:



A lama gerada na caustificação é composta basicamente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ).

Esse composto é levado para o forno de cal onde, sob efeito da temperatura, é convertido em cal virgem ( $\text{CaO}$ ).



Finalmente a cal ( $\text{CaO}$ ) volta ao processo de tratamento do licor verde, fechando o ciclo de caustificação.

A cogeração de eletricidade e recuperação dos insumos químicos a partir da queima do licor negro em caldeiras de alta pressão é um dos subprocessos mais importantes do processo kraft, mas, ao mesmo tempo, é uma das fontes mais significativas de emissões atmosféricas na forma de materiais particulados e compostos de enxofre, exigindo tratamento adequado dos gases das chaminés.



Figura 108 – Caldeira de recuperação.



## Passo 2 / Exercícios



25 min

**Educador**, a próxima aula será destinada à realização de uma visita guiada à seção de recuperação de licor negro e regeneração de reagentes. Utilize o tempo deste exercício para preparar a visita.

1. Divida os jovens em grupos.
2. Peça aos grupos que, com base nas informações discutidas nesta aula, preparem uma lista de pontos a serem verificados e discutidos durante as próximas visitas.
3. Peça aos jovens que levem o documento preparado nas visitas.



Sugestão de avaliação extraclasse

Montar um fluxograma das etapas analisadas durante a visita.

## Décima **Sétima** Aula



Nessa aula será discutido o processo de produção de vapor na caldeira de recuperação do sistema de tratamento de licor negro.



### Passo 1 / Aula teórica



25 min

### Caldeira de recuperação

O núcleo do processo de tratamento do licor negro é a caldeira de recuperação.

A caldeira de recuperação tem três funções básicas:

1. recuperar os reagentes inorgânicos de forma que possam ser recuperados;
2. recuperar a energia na forma de vapor;
3. abater ou eliminar a poluição, tanto do ar como das águas industriais.

Embora a recuperação de reagentes seja a função mais importante da unidade, a produção de vapor vem adquirindo importância cada vez maior, em função da escassez de recursos e da elevação dos preços dos combustíveis.

As unidades de recuperação modernas consistem em uma fornalha vertical completamente resfriada à água por feixes tubulares ligados ao sistema de circulação de água.

O fundo da unidade, na maioria das vezes, é revestido com material refratário especial, de alta resistência ao álcali fundido.

O licor negro concentrado para queima apresenta cerca de 50% da massa de toda a madeira seca usada no processo de polpação.

Deste modo, para cada 1000 kg de celulose produzida encontram-se, no licor, 1.000 kg de material orgânico (basicamente lignina) que, somados aos reagentes químicos utilizados, perfazem cerca de 1.300 kg de sólidos no caso de folhosas e 1.400 kg no caso de coníferas.

O poder calorífico dos sólidos no licor do eucalipto gira em torno de 2.900 kcal/kg, em comparação a 3.700 kcal/kg no licor de coníferas.

Estes números classificam o licor concentrado como combustível pobre, quando comparado ao óleo combustível derivado do petróleo (10.000 kcal/kg) e ao gás natural (12.000 kcal/kg). Estes valores são, entretanto, suficientes para sustentar a combustão nas condições de operação da caldeira de recuperação.

O processo de recuperação de energia inicia no bombeamento do licor negro concentrado a 45-55% de sólidos, do último estágio do concentrador de múltiplos-efeitos, até o tanque de armazenamento da caldeira.

O licor negro concentrado é então bombeado do tanque de estocagem para o concentrador de contato. Neste equipamento os gases quentes da combustão entram em contato direto com o licor promovendo a evaporação de mais água e o aumento da concentração de sólidos.

O licor negro concentrado, ao deixar o concentrador de contato, apresenta concentração de sólidos tipicamente superior a 65%.

O concentrado é então aquecido em trocadores de calor, que utilizam vapor como fonte de aquecimento, até uma temperatura próxima de 100°C.

O licor aquecido alimenta o tanque de mistura, onde se adiciona também sulfato de sódio em forma sólida, tipicamente utilizando-se uma rosca transportadora.

A quantidade de sulfato de sódio adicionado varia de 20 a 150 kg por tonelada de celulose produzida, conforme as perdas no processo de fabricação.

Do tanque de mistura, o licor segue para um aquecedor secundário, um trocador de calor que utiliza vapor como fonte de aquecimento, até uma temperatura próxima de 115°C.

O licor então é bombeado, utilizando-se bombas de alta pressão, até o pulverizador da fornalha.

Os bicos pulverizadores de licor podem ser localizados:

1. em um lado da fornalha e oscilar mecanicamente para lançar a névoa de licor por toda a câmara de combustão;
2. em diversos pontos da fornalha promovendo uma distribuição uniforme da névoa por toda a câmara de combustão.

Ar de combustão (fonte de oxigênio para a chama) é tipicamente pré-aquecido em trocadores de calor utilizando gases quentes de exaustão da fornalha até uma temperatura de até 180°C.

Os gases de combustão do licor negro deixam o topo da fornalha a aproximadamente 1.000°C. Estes gases podem ser aproveitados para:

1. concentrar o licor negro;
2. aquecer o ar de combustão;
3. produzir vapor d'água para utilização industrial.

Os materiais fundidos derretidos na fornalha fluem por uma bica resfriada com água e alimentam tanques de dissolução equipados com agitador e cheios com licor fraco produzido na área de caustificação.

Em algumas fábricas pode ser vantajoso converter parte do calor do sistema de recuperação em energia elétrica.

Para isso, gera-se vapor de alta pressão, tipicamente superior a 40 atm. O vapor de alta pressão movimentando turbogeradores.

Turbogeradores são turbinas movidas a vapor. O vapor de alta pressão é injetado numa roda da turbina, se expande e faz a turbina girar.

O vapor expandido na primeira turbina alimenta uma segunda turbina, onde novamente se expande, fazendo a turbina girar.

O turbogerador pode ser construído com diversas turbinas, até que a pressão do vapor extraído da última turbina atinja a pressão desejada pela fábrica.

Ao girar, as turbinas movimentam um eixo que, por sua vez, aciona um gerador de eletricidade.

A energia elétrica produzida alimenta transformadores que elevam sua tensão até o nível desejado pela fábrica. Esta energia pode ser consumida internamente ou vendida para uma companhia de distribuição externa.

Finalmente os gases de exaustão da fornalha precisam ser adequadamente tratados antes de serem enviados para a atmosfera.

Por motivos econômicos e ambientais deve-se instalar um equipamento para coleta e recuperação de material particulado arrastado por estes gases.

O precipitador eletrostático é o equipamento mais amplamente utilizado para este fim.

A precipitação das partículas ocorre sobre um eletrodo carregado negativamente, instalado próximo a outro eletrodo positivo, ligado à terra.

Entre os dois eletrodos, que podem ser construídos no formato de placas, aplica-se uma diferença de potencial de 50.000 a 100.000 volts.

A precipitação eletrostática é feita em quatro etapas:

1. Fornecimento de carga negativa às partículas arrastadas pelo gás por meio de íons gasosos formados entre as placas.
2. Transporte das partículas carregadas pelo gás até o eletrodo positivo ligado à terra.
3. Descarga das partículas.
4. Remoção do material sólido precipitado.



**Sistema de recuperação** – É o conjunto de operações usadas em uma fábrica de celulose para a recuperação dos produtos químicos empregados no cozimento. O sistema de recuperação normal é largamente empregado no processo alcalino, isto é, soda e sulfato. Ultimamente, foram desenvolvidas técnicas para recuperar também os produtos químicos do processo sulfato. Neste caso, substitui-se no licor de cozimento, o cálcio por sódio, amônio ou magnésio. No Brasil o único processo onde a recuperação é usada, é o processo sulfato; para simplificar adotaremos a descrição das diversas operações de recuperação, apenas para este processo. Assim, começa o ciclo de recuperação na lavagem, onde a lixívia negra do cozimento é extraída, indo para a evaporação, a fim de ser concentrada de modo a ser possível sua queima na caldeira de recuperação. A lixívia verde extraída da fornalha da caldeira é clarificada e vai para a caustificação, formando-se então, a lixívia branca, que depois de clarificada é armazenada para ser novamente usada no cozimento. As perdas, no caso do processo sulfato, são recompostas pela adição de sulfato de sódio à lixívia negra concentrada antes da queima na caldeira. Lá o sulfato é reduzido pelo carbono, formando o sulfato de sódio e gás carbônico.

**Sistema de caustificação** – É a operação no processo sulfato, de reagir cal com a lixívia verde clarificada, para formar soda e carbonato de cálcio. Uma instalação completa de caustificação abrange não só a conversão do carbonato de sódio em hidróxido de sódio, mas ainda a clarificação da lixívia branca obtida e a recuperação da cal por calcinação da lama de cal (carbonato de cálcio). Isto é feito nos *slakers*, clarificadores, e forno de cal.



## Passo 2 / Exercícios



25 min

**Educador**, a próxima aula será destinada à realização de uma visita guiada à caldeira de recuperação. Utilize o tempo deste exercício para preparar a visita.

1. Divida os jovens em grupos.
2. Peça aos grupos que, com base nas informações discutidas nesta aula, preparem uma lista de pontos a serem verificados e discutidos durante as próximas visitas.
3. Peça aos jovens que levem o documento preparado nas visitas.



## Décima Oitava Aula

Nessa aula serão discutidos os processos de lavagem, depuração, pré-branqueamento e branqueamento da celulose.



### Passo 1 / Aula Teórica



25 min



#### Depuração

É a fase do processo de fabricação da celulose entre a lavagem e o branqueamento onde as impurezas tais como palitos são separadas da celulose nos depuradores, geralmente rotativos, e a areia, separada em separadores centrífugos.

### Lavagem da polpa

Ao sair do reator a pasta de celulose, também chamada nesta fase de polpa marrom (*brown stock*), ainda contém licor negro e fibras impregnadas com lignina.

Por isso a pasta de celulose ainda deve ser submetida a uma lavagem em difusores com água quente antes de ser enviada para a **depuração**.

A operação de lavagem da pasta, isto é, a separação do líquido das fibras e a lavagem destas últimas com água

limpa, merecem atenção especial, desde o projeto da instalação até a rotina de operação, cujos objetivos são:

- Remover o licor residual que poderia contaminar a pasta durante as etapas subsequentes do processo.
- Recuperar o máximo de reagentes químicos.
- Recuperar os constituintes da madeira dissolvidos no licor e utilizá-los como combustível.

O volume de água adicionado ao sistema deve ser o menor possível, uma vez que o filtrado final (licor negro diluído) deve ser concentrado por meio de evaporação e incinerado na caldeira de recuperação.

Um excesso de água exigiria um gasto adicional importante de energia no processo de concentração.

Entretanto, uma lavagem insuficiente acarretaria excessiva perda de licor impregnado na celulose, afetando o balanço térmico e químico na seção de recuperação de reagentes, além de exigir um consumo adicional de cloro na seção de branqueamento da polpa.

Na saída do digestor, a mistura de polpa (fibras) e licor negro é separada por meio de operações sucessivas de lavagem.

Numa unidade convencional, que opera a digestão em batelada, a etapa de lavagem geralmente emprega diversos lavadores rotativos a tambor operando a vácuo.

Numa unidade moderna, que opera a digestão em contínuo, a etapa de lavagem emprega menor número de equipamentos porque grande parte do licor negro foi extraída na parte central do digestor.

Mesmo para unidades que operam com digestão contínua a pasta celulósica ainda deve ser lavada porque ainda há licor negro misturado à polpa.



Figura 109 – Lavador rotativo

Figura 110 – Lavadores rotativos em série.



### Depuração da polpa

Durante a lavagem as impurezas solúveis são removidas, mas, para obter uma celulose de alta qualidade, deve-se remover também possíveis impurezas sólidas.

As impurezas sólidas podem ser de dois tipos:

- De natureza vegetal, como pequenos fragmentos, nós, cavacos não cozidos, fragmentos de casca e finos.
- De natureza estranha, como areia, pedras, fragmentos de metal ou plástico.

O principal equipamento utilizado na depuração é a peneira.

O funcionamento da peneira baseia-se no princípio de que as fibras de celulose tendem a estar completamente hidratadas e têm massa específica semelhante a da água.

Deste modo, quando a suspensão passa pela peneira, as fibras alinham-se na direção do fluxo predominante, pelos furos circulares do equipamento.

### Pré-branqueamento da polpa

O pré-branqueamento tem sido empregado nas unidades mais modernas, independente do tipo de digestor

empregado, como meio de reduzir a quantidade de produtos alvejantes durante a fase de branqueamento.

Nas plantas modernas, é comum a adoção de uma etapa intermediária de desdesignificação entre a lavagem e o branqueamento, utilizando-se oxigênio puro em meio alcalino.

De forma a manter o meio alcalino necessário ao processo, normalmente adiciona-se licor branco fraco à mistura.

Nestas condições o NaOH mantém o pH suficientemente alto e o sulfeto de sódio vai a tiosulfato.

Também se pode adicionar sulfato de magnésio ( $MgSO_4$ ) para manter a integridade da pasta celulósica.

Devido à baixa solubilidade do oxigênio na mistura o reator trabalha pressurizado e aquecido aproximadamente a  $100^\circ C$ .

A matéria orgânica solubilizada nesta etapa pode ser encaminhada diretamente para a fase de recuperação química sem que haja necessidade de modificação do processo.



- Tecnologias avançadas para pré-branqueamento de polpa kraft de eucalipto.

Marcos Sousa Rabelo

Tese de doutorado

Viçosa, UFV, 2006

- Pré- branqueamento enzimático de polpa kraft de eucalipto: efeito na biotratabilidade dos efluentes e na qualidade da polpa.

Maria Tereza Borges, *et al.*

43º congresso e exposição internacional de celulose e papel

04-06, Outubro 2010



Link do arquivo citado acima: <http://www.abtcp.org.br>

## Branqueamento da polpa

Após a depuração e pré-branqueamento, a celulose, agora livre de impurezas, é submetida a um processo de branqueamento, que consiste em tratá-la com produtos químicos alvejantes.

A etapa de branqueamento nem sempre faz parte do processo de produção de celulose e é geralmente empregada quando se pretende produzir papel branco para impressão, papéis brilhantes e papel para higiene pessoal (lenços de papel).

O emprego da etapa de branqueamento e a escolha do processo e dos agentes químicos empregados dependerão do produto final desejado.

O branqueamento pode ser definido como um tratamento físico-químico que tem por objetivo melhorar as propriedades da pasta celulósica, como cor, alvura, limpeza e pureza química.



Figura 111 – Equipamento de branqueamento.

### Tipos de branqueamento

Há basicamente três tipos de branqueamento de celulose: os que utilizam cloro molecular, os que utilizam agentes químicos livres de cloro molecular, e os que são totalmente livres do uso de cloro.

Cloro gasoso, em função dos altos riscos ocupacionais e ambientais ligados ao seu emprego, como por exemplo, a formação de produtos organoclorados, está sendo gradualmente banido da indústria da celulose.

A tendência atual é de utilização de processos de branqueamento livre de cloro molecular (*elemental chlorine free – ECF*) ou aqueles totalmente livres do uso de cloro (*totally chlorine free – TCF*).

Os processos ECF utilizam como agente alvejante o dióxido de cloro e hipoclorito de sódio.

Os processos TCF utilizam como agente alvejante o oxigênio, ozônio e peróxido de hidrogênio.

De uma maneira geral os processos ECF, dado seu maior poder reativo, possibilitam atingir um número Kappa menor, ou seja, uma concentração residual de lignina menor na massa celulósica final.



- Nova tecnologia de branqueamento de celulose adaptada ao fechamento do circuito de água. Marcelo Moreira Costa, Jorge Luiz Colodette, Alexandre Landim, Claudio Mudado da Silva e Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

R. Árvore, Viçosa – MG, v.30, n. 1, p.129-139, 2006

- Branqueamento ECF e TCF de celulose de fibras secundárias.

Gustavo Ventorim, Jorge Luiz Colodette, Marcelo Moreira Costa e Ana Campos de Brito

Rev. Ciência Florestal, Santa Maria, v.9, n.2, p41-54, 1999



## Passo 2 / Exercícios



25 min

**Educador**, a próxima aula será destinada à realização de uma visita guiada à seção de lavagem e depuração da celulose.

1. Divida os jovens em grupos.
2. Peça aos grupos que, com base nas informações discutidas nesta aula, preparem uma lista de pontos a serem verificados e discutidos durante a visita.
3. Peça aos jovens que levem o documento preparado na visita.

**Educador**, as referências dos artigos citados podem ser usadas.

**Educador**, orientar o jovem a ler um trabalho relacionado e comparar com o processo ou procedimento feito na fábrica.

A leitura do artigo bem como a discussão do conteúdo podem ser usados como avaliação.

## Décima Nona Aula



Nessa aula serão discutidos os diferentes processos químicos e equipamentos usados no branqueamento da celulose.



### Passo 1 / Aula teórica



25 min

## Processos químicos usados no branqueamento

O cloro gasoso ( $\text{Cl}_2$ ) e o hipoclorito de sódio ( $\text{NaOCl}$ ) estão rapidamente deixando de ser utilizados e, na maior parte dos casos, estão sendo substituídos pelo dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ).

A cloração é, geralmente, o primeiro estágio das sequências de branqueamento, sendo sua função principal a deslignificação da pasta celulósica e não a redução de cor.

O cloro reage rapidamente com a lignina formando clorolignina, uma substância colorida, parcialmente solúvel em água e facilmente removível por extração com álcali.

O cloro é um elemento químico encontrado na natureza, em temperatura ambiente, na forma gasosa.

É um gás amarelo esverdeado, 2,5 vezes mais pesado que o ar, não encontrado naturalmente em estado puro.

O cloro é obtido principalmente (mais de 95% da produção) a partir da eletrólise do cloreto de sódio,  $\text{NaCl}$ , em solução aquosa, denominado processo de cloro-álcali.

Pode ser detectado no ar pelo seu odor característico a partir de 3,5 ppm, sendo letal a partir de 1.000 ppm.

No estado gasoso o cloro provoca grave irritação no sistema respiratório e ofende as mucosas, e no estado líquido queima gravemente a pele. Uma exposição aguda a altas concentrações de cloro (porém não letais) pode provocar edema pulmonar (acúmulo de líquido nos pulmões). Uma exposição crônica abaixo do nível letal debilita os pulmões, aumentando a susceptibilidade a outras enfermidades pulmonares.

Em muitos países é fixado o limite de exposição no trabalho em 0,5 ppm (média de 6 horas diárias, 40 horas semanais).

Hipoclorito de sódio é uma substância produzida pela reação do cloro com o hidróxido de sódio. A equação é descrita abaixo:



A oxidação com hipoclorito foi, inicialmente, usada como estágio único de branqueamento.

Com a introdução do branqueamento com cloro, o tratamento único com hipoclorito deixou de ser empregado.

O hipoclorito, atualmente, é usado em estágios intermediários ou finais do branqueamento.

O hipoclorito de sódio é um oxidante forte, e os produtos da oxidação são corrosivos e podem queimar a pele e causar lesões nos olhos, especialmente quando usado nas suas formas concentradas.

O hipoclorito, em contato com materiais orgânicos, pode reagir formando substâncias carcinogênicas (trihalometanos).

O dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ) é um gás verde-amarelado que solidifica na forma de cristais alaranjados a  $-59^\circ\text{C}$ . Ele é utilizado no processo de branqueamento na forma de solução aquosa.

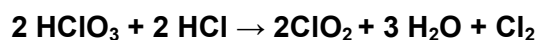
O dióxido de cloro teve seu emprego generalizado para a maioria das pastas celulósicas em que alvura elevada e boas propriedades mecânicas são exigidas.

O dióxido de cloro nas condições ambiente é um gás de odor penetrante, muito corrosivo e tóxico.

O gás puro se decompõe acima de  $30^\circ\text{C}$  e explode acima de  $50^\circ\text{C}$ .

Assim como o ozônio o dióxido de cloro precisa ser gerado na própria unidade industrial onde será consumido.

Em escala industrial é produzido com alta eficiência por redução do clorato de sódio em um ácido forte com um agente redutor tal como o ácido clorídrico. A reação do clorato de sódio com o ácido clorídrico ocorre em um reator via os seguintes passos:



Trata-se de um gás explosivo em concentrações maiores do que 12% em mistura com o ar, altamente corrosivo e tóxico para o ser humano.

A deslignificação ou pré-branqueamento com oxigênio teve seu desenvolvimento, principalmente, ao controle ambiental rigoroso a partir da década de 70.

Quando se remove cerca de 50% da lignina em um estágio com oxigênio, há uma redução importante da carga de poluentes, indicada, principalmente, pela diminuição da cor e menor **demanda bioquímica de oxigênio (DBO)**.



#### **Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)**

É a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica. Quanto menor o nível de DBO, menos poluente é o efluente.



**DBO** – Sigla para Demanda Biológica (ou Bioquímica) de Oxigênio. É a medida que calcula a quantidade do oxigênio dissolvido num corpo d'água, consumido pela atividade bacteriana. A DBO é proporcional ao tempo, ou seja, quanto maior o tempo mais matéria orgânica biodegradável é decomposta pela atividade aeróbica das bactérias. Usam-se 5 dias como tempo padrão nas medidas de DBO de uma água ou efluente.

Este índice é um bom indicador de quão poluída está uma água, pois quanto mais matéria orgânica tiver maior será seu DBO, isto é sua Demanda Bioquímica por Oxigênio. No caso de efluentes, o valor da DBO dirá quanto de oxigênio este consumirá ao ser lançado num corpo d'água, sendo, portanto, uma medida do impacto negativo. Se a DBO for muito alta, o oxigênio da água é rapidamente consumido, ficando redutor e tendo início a decomposição anaeróbica da matéria orgânica. Este tipo de decomposição é responsável pela produção de subprodutos poluidores e que degradam a qualidade da água. Dentre estes produtos podemos citar: metano ( $\text{CH}_4$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ) e gás ( $\text{H}_2\text{S}$ ), responsáveis por um grande mau cheiro. O ácido sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) em especial é muito conhecido devido ao forte cheiro de ovo podre.

Um efluente com alto DBO, ao ser lançado num corpo com água, provocará o total consumo do oxigênio dissolvido, levando à morte todos os organismos dependentes do oxigênio dissolvido na água.

Os valores de DBO são dados em mg/l (miligramas por litro). Assim, dizer que uma água servida tem  $\text{DBO}_5=20$ , significa que são necessários 20 mg/l de  $\text{O}_2$ , para degradar, em cinco dias, a matéria orgânica presente.

O material orgânico dissolvido no tratamento com oxigênio pode ser enviado para o ciclo de regeneração de reagentes químicos, onde se transforma em energia em vez de poluente.

Ainda, sob o ponto de vista energético, a produção de oxigênio requer apenas a oitava parte da energia requerida na produção de quantidade equivalente de cloro, o que torna o oxigênio um reagente mais barato do que os compostos clorados.

Na sua forma molecular,  $\text{O}_2$ , o oxigênio é um gás à temperatura ambiente, incolor (azul em estado líquido e sólido), insípido, inodoro, comburente, não combustível e pouco solúvel em água.

O ozônio ( $\text{O}_3$ ) é provavelmente o agente oxidante mais poderoso empregado na indústria da celulose.

Os mesmos benefícios ambientais mencionados para o oxigênio se estendem para o ozônio.



### Radiação ultravioleta (UV)

É a radiação eletromagnética ou raios ultravioleta com um comprimento de onda menor que o da luz visível e maior que o dos raios X, de 380 nm a 1 nm. O nome significa mais alta que (além do) violeta (do latim ultra), pelo fato de que violeta é a cor visível com comprimento de onda mais curto e maior frequência. A radiação UV pode ser subdividida em UV próximo (comprimento de onda de 380 até 200 nm – mais próximo da luz visível), UV distante (de 200 até 10 nm) e UV extremo (de 1 a 31 nm).

O ozônio se forma quando as moléculas de oxigênio ( $O_2$ ) se rompem devido à **radiação ultravioleta**, e os átomos separados combinam-se individualmente com outras moléculas de oxigênio.

O ozônio é um gás à temperatura ambiente, instável, altamente reativo e oxidante, que se liquefaz à temperatura de  $-112^\circ C$ .

O peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), em solução aquosa, é conhecido comercialmente como água oxigenada. Trata-se de um líquido incolor, viscoso, de sabor amargo e poderoso agente oxidante.

O peróxido de hidrogênio é instável e quando perturbado, rapidamente se decompõe em oxigênio e água com liberação de calor



## Passo 2 / Exercícios



25 min

Orientação para a realização do exercício:

1. Peça aos jovens que preparem uma tabela-resumo descrevendo os principais processos de branqueamento, os reagentes químicos envolvidos em cada processo e as reações químicas respectivas.
2. Peça aos jovens que utilizem esta tabela como suporte durante a próxima visita à área de branqueamento da fábrica.

## Vigésima Aula



Nessa aula serão introduzidos os conceitos de ecologia e meio ambiente.



### Passo 1 / Aula teórica



25 min

### Ecologia e meio ambiente

A Terra é formada por três camadas principais: a atmosfera (ar), a hidrosfera (água) e a litosfera (solo).

A união destas três camadas resulta na ecosfera, que é o nosso sistema de suporte à vida.



**Comprimento de onda** é a distância entre valores repetidos num padrão de onda. É usualmente representado pela letra grega lambda ( $\lambda$ ). O comprimento de onda é igual à velocidade da onda dividida pela sua frequência.

#### Raio gama

É uma radiação eletromagnética penetrante de curto comprimento de onda e alta frequência. Radiação gama ou raio gama ( $\gamma$ ) é um tipo de radiação eletromagnética produzida geralmente por elementos radioativos, processos subatômicos como a aniquilação de um par pósitron-elétron.

**Raios X** são emissões eletromagnéticas de natureza semelhante à luz visível. Seu comprimento de onda vai de 0,05 *ångström* (5 pm) até centenas de *ångströms* (1nm). Os raios X propagam-se à velocidade da luz, e como qualquer radiação eletromagnética estão sujeitos aos fenômenos de refração, difração, reflexão, polarização, interferência e atenuação. Sua penetrância nos materiais é relevante, pois todas as substâncias são transparentes aos raios X em maior ou menor grau.

A ecosfera consiste em uma camada de aproximadamente 12 km de atmosfera com capacidade de sustentação de vida, um suprimento limitado de água doce, formando rios, lagos, geleiras e lençóis freáticos; e, finalmente, uma crosta sólida de solo, minerais e rochas.

Todas as formas de vida e todos os suprimentos da Terra, tais como água, minerais, oxigênio, nitrogênio, carbono, fósforo e outros necessários para a manutenção da vida, são encontrados dentro da ecosfera.

Tudo na ecosfera é interconectado e interdependente: o ar ajuda a purificar a água; a água, por sua vez, mantém as plantas e os animais vivos; as plantas mantêm os animais vivos e ajudam a renovar o ar, e assim por diante.

Devido ao simples fato de vivermos num sistema fechado, a ecosfera, tudo é reciclado de uma forma ou de outra.

A fonte de energia que sustenta a vida é o Sol. Ele aquece a Terra e fornece a energia para as plantas realizarem fotossíntese, e estas, por sua vez, fornecem o alimento necessário à sustentação da vida no planeta.

A porção de energia do espectro solar usada para manter a vida é a de uma faixa estreita do visível, que é capturada e usada unicamente pelas plantas que contêm clorofila.

Os raios de **comprimento de onda** menores e, portanto, de maior energia (**raios gama**, **raios x** e ultravioleta) são prejudiciais à vida. Felizmente várias moléculas presentes em nossa atmosfera absorvem estes raios quase que totalmente, impedindo, assim, que eles alcancem a superfície da Terra.

**Educador**, os textos a seguir tem como objetivo ampliar a compreensão do conteúdo.



## Radiação Eletromagnética

- O raio gama é uma radiação eletromagnética. Isto é, transmite energia pelo espaço na forma de ondas, com emissão de partículas ou componentes magnéticos. São como os raios X e de luz, com pequena diferença. "A radiação gama vem sempre de um material radioativo – como cobalto 60 ou urânio – e os raios X, de uma máquina elétrica. O raio X é desligado; a radiação gama, não", afirma Dirceu Martins Vizeu, diretor científico da Embrarad (Empresa Brasileira de Radiações). Há também diferença no comprimento das ondas e na quantidade de energia emitida. Quanto menor o comprimento, mais energia é irradiada. Isso faz o gama a fonte mais potente do espectro eletromagnético. Sua partícula, por exemplo, transporta 10 mil vezes mais energia que a partícula de luz. E sua radiação consegue atravessar camadas e mais camadas de concreto pelos espaços reais que existem entre os átomos e moléculas. A radiação gama funciona provocando ionizações. Ao encontrar um elétron, ela o retira da órbita, obrigando o restante do átomo a se rearranjar. Esse processo gera fótons de radiação gama. Provoca, assim, uma reação em cadeia, que pode afetar a estrutura química das células do corpo. Uma exposição muito prolongada traria, então, muitos problemas: de dores de cabeça, passando por mutações nos órgãos e membros, até chegar à morte.
- No que se refere aos efeitos à saúde humana e ao meio ambiente, classifica-se como UVA (400 – 320 nm, também chamada de "luz negra" ou onda longa), UVB (320–280 nm, também chamada de onda média) e UVC (280 - 100 nm, também chamada de UV curta ou "germicida"). A maior parte da radiação UV emitida pelo sol é absorvida pela atmosfera terrestre. A quase totalidade (99%) dos raios ultravioleta que efetivamente chegam à superfície da Terra são do tipo UV-A. A radiação UV-B é parcialmente absorvida pelo ozônio da atmosfera e sua parcela que chega à Terra é responsável por danos à pele. Já a radiação UV-C é totalmente absorvida pelo oxigênio e o ozônio da atmosfera. As faixas de radiação não são exatas. Como exemplos: o UVA começa em torno de 410 nm e termina em 315 nm. O UVB começa 330 nm e termina em 270 aproximadamente. Os picos das faixas estão em suas médias. Seu efeito bactericida faz com que seja utilizada em dispositivos com o objetivo de manter a assepsia de certos estabelecimentos comerciais. Outro uso é a aceleração da polimerização de certos compostos. Muitas substâncias, ao serem expostas à radiação UV, se comportam de modo diferente de quando expostas à luz visível, tornando-se fluorescente. Este fenômeno se dá pela excitação dos elétrons nos átomos e moléculas dessa substância ao absorver a energia da luz invisível. E ao retornarem aos seus níveis normais (níveis de energia), o excesso de energia é reemitido sob a forma de luz visível.
- A luz visível, compreendendo o intervalo entre violeta e o roxo, pode ser obtida por meio da decomposição da luz branca mediante um prisma de quartzo. Além dessa região visível estão as radiações ultravioleta, raios fortemente actínios, utilizados, sobretudo em reações fotoquímicas, cuja intensidade pode ser determinada mediante a ionização que provocam. Apesar da sua absorção pela maioria das substâncias, todavia não ultrapassam o ar que contém umidade. Quando os raios

ultravioleta atuam sobre a pele ou sobre o ergosterol nas plantas, ocorre a produção de vitamina D. Os raios ultravioleta encontram várias aplicações terapêuticas, sobretudo no combate a certos tipos de bactérias. As radiações ultravioleta são emitidas por numerosas fontes naturais (Sol, estrelas) ou artificiais, por meio das transições dos elétrons situados nas camadas externas dos átomos. As fontes artificiais são lâmpadas de vapor de mercúrio, lâmpadas de descarga e a radiação síncroton, fornecida pelos aceleradores de partículas. A detecção do ultravioleta é facilitada por sua grande atividade fotoquímica e fotoelétrica. Suas principais aplicações são a iluminação, e reprografia, a microscopia e diversas técnicas de espectrometria. Os raios ultravioleta têm um considerável poder bactericida, sendo por isso utilizados na esterilização da água.

Se isso não acontecesse, todas as formas de vida de nosso planeta seriam destruídas.

A adição de substâncias na atmosfera pode gerar, dependendo de sua natureza, tanto um aquecimento, como um resfriamento gradual da atmosfera, ambos com consequências catastróficas para a vida no planeta.

Ecologia é o estudo científico do relacionamento dos organismos vivos entre si e destes com seu meio ambiente, e se preocupa, principalmente, com a integração entre apenas cinco dos níveis de organização da matéria: organismo, população, comunidade, ecossistema e ecosfera.

Organismo é qualquer ser vivo organizado que habita a ecosfera.

População é um grupo de organismos individuais da mesma espécie.

Comunidade é cada diferente grupo de organismos vivendo juntos em uma área particular.

Ecossistema é o conjunto da população ou comunidade, ambiente biótico e ambiente abiótico. Ambiente abiótico é a parte sem vida do ambiente em que vive a população ou comunidade. Ambiente biótico é a parte com vida do ambiente em que vive a população ou comunidade.

O ecossistema pode ser, portanto, um planeta, uma floresta, uma cidade, enfim, qualquer área limitada por uma fronteira, por meios da qual a entrada e saída de material e energia podem ser medidas.

Ecosfera é a somatória de todos os ecossistemas do planeta.

A ecosfera pode, assim, ser visualizada como uma vasta combinação de diversos ecossistemas, todos intimamente interconectados.

Estas conexões ajudam a manter a estabilidade global de um ecossistema. A ruptura ou pressão em dado ponto de um ecossistema pode ter efeito complexo, frequentemente imprevisível e, às vezes, em outro ecossistema.



## Passo 2 / Exercício



25 min

### Orientações para a realização do exercício:

1. Divida os jovens em grupos.
2. Peça aos grupos que desenhem o ecossistema da fábrica, identificando todos os elementos que o compõe e indicando todas as entradas e saídas de material e energia.



## Vigésima **Primeira** Aula

Nesta aula será introduzido o conceito de poluição.



## Passo 1 / Aula teórica



30 min

### Poluição

Os tipos de poluição podem ser divididos em: do ar, da água, do solo e sonora.

Embora nas fábricas de celulose e papel encontrem-se exemplos de poluição para cada tipo, as poluições do ar e das águas são as que apresentam maior impacto ambiental.

A poluição sonora pode ser de certa maneira, facilmente controlada com:

1. O desenvolvimento de projetos que contemplem o controle de ruídos na fonte geradora.
2. A implementação de técnicas e equipamentos de controle de ruídos.
3. A utilização de equipamentos de proteção individual.

A poluição do solo ocorre, principalmente, como consequência da precipitação de poluentes atmosféricos, da irrigação do solo com efluente contendo alta

salinidade e do despejo de resíduos sólidos em locais impróprios.

Portanto o tratamento adequado das emissões atmosféricas e das águas industriais tende a eliminar ou minimizar as demais formas de poluição provocadas pela indústria da celulose.

### Poluição do ar

O termo ar é usado para definir a mistura de gases que compõe uma camada relativamente fina em volta da Terra chamada atmosfera.

A poluição do ar pode ser definida como a presença de contaminantes, descarregados pela natureza ou pelo homem na atmosfera.

Os principais poluentes atmosféricos podem ser classificados em:

- Gases e partículas.
- Compostos orgânicos e inorgânicos.
- Poluentes primários, presentes na atmosfera na forma em que foram emitidos, e poluentes secundários, produzidos pela reação de um ou mais poluentes primários ou componentes da atmosfera.

### Poluição da água

Os principais usos da água são para consumo humano, recreação humana, consumo animal, consumo agrícola e consumo industrial.

Qualquer substância ou fator que impeça a água de ser usada para um desses fins constitui um poluente.

Tudo o que venha mudar as propriedades dos rios, lagos ou mares, de maneira a modificar significativamente o equilíbrio existente, causa poluição.

Os principais poluentes da água podem ser classificados em:

- Substâncias que causam demanda de oxigênio.
- Sólidos.
- Substâncias que dão cor à água.
- Substâncias que alteram o pH da água.
- Substâncias tóxicas.
- Calor.

## Substâncias que causam demanda de oxigênio

As águas dos rios, lagos e mares possuem uma determinada quantidade de oxigênio dissolvido, a qual varia de acordo com as condições climáticas da região.

O oxigênio dissolvido nas águas é um indicador da qualidade da vida.

A concentração adequada de oxigênio nas águas é essencial não apenas para manter os organismos vivos, mas também para garantir a reprodução de espécies aquáticas.

Concentrações baixas de oxigênio nas águas interferem com a população de peixes pelo aumento do período de incubação dos ovos; reduzem o tamanho dos embriões; reproduzem deformidades nos filhotes; interfere com a digestão dos alimentos; levam à formação de coágulos no sangue; diminuem a tolerância a substâncias tóxicas; reduzem a velocidade de crescimento dos seres vivos e reduzem a velocidade do nado dos peixes, entre outros.

O consumo do oxigênio das águas pode ocorrer por duas razões distintas:

1. Há substâncias químicas que consomem imediatamente o oxigênio da água por meio de diversas reações químicas.
2. Há substâncias químicas que servem de alimento para microrganismos aquáticos. Estes microrganismos se proliferam, fazendo uso de todo o oxigênio dissolvido na água, para suas atividades respiratórias naturais.

**Educador**, os textos a seguir tem como objetivo ampliar a compreensão do conteúdo.



## Demanda Química e Bioquímica de Oxigênio

- Também conhecida pela sigla DBO, a Demanda Bioquímica de Oxigênio corresponde à quantidade de oxigênio necessária para ocorrer a oxidação da matéria orgânica biodegradável sob condições aeróbicas. Essa unidade de medida avalia a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) em miligramas (mg), equivalente à quantidade que será consumida pelos organismos aeróbicos ao degradarem a matéria orgânica.

Entende-se por biodegradável a matéria que pode ser consumida como alimento, ela vai alimentar e ser fonte de energia aos microrganismos que existem na água. Sendo assim, a DBO pode ser considerada como um parâmetro para avaliar a qualidade da água.

O processo ocorre da seguinte forma: inicialmente os microrganismos utilizam o oxigênio dissolvido (OD) para transformar o carbono em  $\text{CO}_2$  e depois para transformar os compostos nitrogenados em nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) e nitritos ( $\text{NO}_2^-$ ). Essas transformações são essenciais na determinação da DBO, que se divide em demanda carbonácea (presença de  $\text{CO}_2$ ) e demanda nitrogenada (nitratos e nitritos).

O valor da Demanda Bioquímica de Oxigênio é usado para estimar a carga orgânica dos efluentes e dos recursos hídricos, e com esses valores é possível calcular qual a necessidade de aeração (oxigenação) para degradar essa matéria orgânica nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).

- A Demanda Química de Oxigênio (DQO), identificada pela sigla DQO, avalia a quantidade de oxigênio dissolvido (OD) consumido em meio ácido que leva à degradação de matéria orgânica, sendo essa biodegradável ou não. É neste ponto que ela se diferencia da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), onde é medida a quantidade de oxigênio necessária para ocorrer a oxidação da matéria orgânica biodegradável. A resistência de substâncias aos ataques biológicos levou à necessidade de fazer uso de produtos químicos, sendo a matéria orgânica nesse caso oxidada mediante um oxidante químico. Esse método é mais rápido que o da DBO, tem duração de 2 a 3 horas enquanto que o outro equivale ao tempo de cinco dias.

Em geral, é usado nesse método o bicromato de potássio a quente, e para águas destinadas ao abastecimento público utiliza-se o permanganato de potássio.





Determinação de demanda bioquímica de oxigênio por teores  $\leq 5\text{mg/l-1 O}_2$

Leonardo da Silva e Lima, Hécio José Izário Filho e Francisco José Morteira Chaves.

Revista Analytica. n. 25. Outubro/Novembro 2006

No link: [www.revistaanalytica.com.br/ed\\_anteriores/25/art01.pdf](http://www.revistaanalytica.com.br/ed_anteriores/25/art01.pdf)

## Sólidos

Os sólidos podem ser de natureza orgânica e inorgânica e, quanto ao estado, podem estar dissolvidos ou suspensos. Os sólidos suspensos podem ser decantáveis ou não-decantáveis.

Os sólidos decantáveis afetam a flora e a fauna do fundo do rio ou lago.

A fração orgânica destes sólidos pode ser decomposta por microrganismos aquáticos aeróbios, levando a uma demanda bioquímica elevada de oxigênio e, no limite, ao esgotamento do oxigênio dissolvido. Também pode levar a um excesso de nutrientes, causando, assim, um aumento de plantas aquáticas, afetando o equilíbrio do ecossistema aquático.

A fração inorgânica deste sólido tem impacto principalmente no acúmulo de materiais tóxicos.

A fração não decantável deste sólido causa aumento de turbidez da água, levando a uma redução da penetração da luz e impedindo a atividade fotossintética das plantas aquáticas.

## Substâncias que dão cor

A cor pode ter efeito de impedimento da transmissão da luz através da água. Pode também motivar a formação de complexos químicos que capturam os íons metálicos indispensáveis ao metabolismo dos seres aquáticos.

A cor pode ainda ter influência negativa sobre a mobilidade e reprodução dos peixes, elevação dos custos de tratamento de água para consumo humano e comprometimento do uso da água para fins recreativos ou paisagísticos.

## Substâncias que mudam o pH da água

O pH da água em rios e lagos deve estar geralmente em torno de 6 a 9.

Dependendo da concentração de íons hidrogênio, o sabor da água pode ser afetado.

Valores extremos de pH ou variações bruscas podem exceder condições limite e matar a vida aquática.

A toxicidade de algumas substâncias aumenta com a mudança de pH. Por exemplo, a amônia é mais tóxica em pH mais elevado.

## Substâncias tóxicas

A descarga de substâncias tóxicas pode afetar os organismos responsáveis pela purificação natural da água, além de afetar também peixes e organismos que fazem parte da cadeia alimentar aquática.

Substâncias tóxicas, no caso de fábricas de papel e celulose, englobam gases dissolvidos, tais como dióxido de enxofre e cloro, juntamente com ácidos resinosos provenientes da madeira e compostos diversos de enxofre.

## Calor

A temperatura é um fator físico que apresenta influência direta e indireta sobre a qualidade da água.

Diretamente, afeta a velocidade das reações químicas e causa alteração no comportamento e algumas espécies.

Indiretamente, a temperatura afeta a solubilidade do oxigênio na água, que diminui à medida que a temperatura se eleva, e afeta a solubilidade de algumas substâncias que podem estar em estado sólido e vão para o estado solúvel afetando a vida aquática.



## Passo 2 / Atividade sugerida



20 min

**Educador**, lance perguntas para os jovens e permita discussões abertas sobre os temas sugeridos abaixo.

1. O que é poluição?
2. Por que os processos industriais poluem?
3. De que forma podemos contribuir no controle da poluição?

## Vigésima Segunda Aula



Nessa aula será discutido o princípio de funcionamento do tratamento de efluentes pelo uso de lagoas de estabilização.



## Passo 1 / Aula teórica



30 min

### Lagoas de estabilização

Podem ser definidas como um corpo de água, construído pelo homem, e destinado a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica.

Seu tratamento é feito por meio de processos naturais que, sob condições controladas, transformam os compostos orgânicos em minerais e compostos orgânicos estáveis.



Figura 112 – Lagoas de estabilização

## Aspectos biológicos do processo

As lagoas de estabilização são habitadas por vários tipos de organismos vivos, entre eles as bactérias, algas e protozoários.

Nesta comunidade os seres vivos dependem uns dos outros para sobreviver, além de estarem sujeitos às condições ambientais de natureza física, como temperatura, radiação solar, efeito dos ventos, etc.

As bactérias são as principais responsáveis pela decomposição da matéria orgânica numa lagoa de estabilização.

Bactérias aeróbias vivem e se reproduzem em meio que contém oxigênio dissolvido.

Outro grupo, as bactérias anaeróbias não necessitam de oxigênio para sobreviver.

As bactérias decompõem as substâncias orgânicas complexas em matéria solúvel que, ao atravessar a membrana celular, pode ser convertida em energia ou em novas células (reprodução).

A solubilização da matéria é possível graças à ação das enzimas, substâncias produzidas e liberadas pelas próprias bactérias.

As algas constituem um grupo de organismos aquáticos dotados de pigmento denominado clorofila.

Por meio da clorofila, elas têm a capacidade de produzir oxigênio, absorvendo a energia solar e convertendo-a em calor e energia química.

Sua principal função numa lagoa de estabilização é fornecer oxigênio para a atividade aeróbia de estabilização da matéria realizada pelas bactérias.

Outro papel importante das algas numa lagoa de estabilização é a remoção de nutrientes com fósforo e nitrogênio.

Outro efeito indireto da presença das algas numa lagoa é o consumo de dióxido de carbono produzido pelas bactérias durante a estabilização da matéria orgânica.

Durante o dia, quando a atividade fotossintética das algas é mais intensa, ocorre grande consumo de dióxido de carbono e elevação do pH da lagoa.

Durante a noite, quando a atividade fotossintética é interrompida, ocorre acúmulo de dióxido de carbono e redução do pH da lagoa.

## Processos que ocorrem em lagoas de estabilização

A matéria orgânica que entra numa lagoa de estabilização constitui-se de sólidos sedimentáveis e não sedimentáveis.

A matéria sedimentável decanta no fundo da lagoa e é destruída pelas bactérias anaeróbias decompositoras em ambiente anaeróbio (isento de oxigênio).

Durante este processo são liberados subprodutos de decomposição, como gases e matéria orgânica solúvel.

Os gases atravessam a coluna de líquido da lagoa e são liberados na atmosfera. A matéria orgânica solúvel vai se somar aos sólidos não sedimentáveis que alimentam a lagoa.

A fração de matéria orgânica solúvel no meio líquido é reduzida a dióxido de carbono e água pelas bactérias aeróbias.

Estas bactérias utilizam, no processo de estabilização da matéria orgânica, o oxigênio produzido no processo de fotossíntese realizado pelas algas.

As algas presentes nas lagoas, por sua vez, utilizam o dióxido de carbono, produzido pelas bactérias aeróbias, no processo de fotossíntese.

## Tipos de lagoa de estabilização

As lagoas de estabilização podem ser classificadas em anaeróbias, aeróbias e facultativas.

Lagoas estritamente anaeróbias operam com cargas orgânicas elevadas e na ausência de oxigênio dissolvido. Nestas lagoas predomina a atividade das bactérias anaeróbias.

Embora seja obtida uma redução significativa de carga orgânica, tipicamente entre 50 e 70%, os efluentes deste tipo de lagoa geralmente precisam de um tratamento complementar para atender as limitações impostas pelas leis que controlam o lançamento de efluentes tratados nos corpos receptores.

Lagoas estreitamente aeróbias são pouco profundas (em torno de 1 m) para permitir uma boa penetração de luz solar em toda sua extensão.

Lagoas aeróbias aceleradas são projetadas para maximizar a produção de algas, fonte de oxigênio do



#### Zona fótica ou zona eufótica

É a parte de um corpo de água (oceano ou lago) que recebe luz solar suficiente para que ocorra a fotossíntese. A profundidade da zona eufótica é bastante afetada pelas variações que possam ocorrer na turbidez da água.

sistema, e geralmente apresentam de 0,3 a 0,5 m de profundidade.

Lagoas facultativas são aquelas onde ocorre estabilização aeróbia na **zona fótica** (onde a penetração da luz solar é efetiva) e uma fermentação anaeróbia na camada inferior de fundo.

Lagoas de tratamento apresentam algumas vantagens quando comparadas a outras tecnologias de tratamento de efluentes:

1. dispensam a necessidade de remoção de sólidos não solúveis;
2. dispensam a necessidade de instalação de adensadores de lodo;
3. podem produzir quantidades significativas de biogás, uma mistura de dióxido de carbono e metano, um combustível que pode substituir combustíveis fósseis em equipamentos industriais ou produzir eletricidade em sistemas de geração;
4. dispensam a necessidade de sistemas de desaguamento de lodo.



#### Tratamento do lodo

Adensamento do lodo (Adensadores e Flotadores)

Adensamento é o processo para aumentar o teor de sólidos do lodo e, conseqüentemente, reduzir o volume (quantidade muito grande de água). Desta forma, as unidades subsequentes, tais como a digestão, desidratação e secagem, beneficiam-se desta redução. Dentre os métodos mais comuns, tem-se o adensamento por gravidade e por flotação. O adensamento por gravidade do lodo tem por princípio de funcionamento a sedimentação por zona, o sistema é similar aos decantadores convencionais. O lodo adensado é retirado do fundo do tanque. No adensamento por flotação, o ar é introduzido na solução por meio de uma câmara de alta pressão. Quando a solução é despressurizada, o ar dissolvido forma microbolhas que se dirigem para cima, arrastando consigo os flocos de lodo que são removidos na superfície.

#### Produção de biogás

Lagoas anaeróbias são usualmente dimensionadas para receber elevadas cargas orgânicas.

Durante o processo, biogás é produzido: uma mistura de dióxido de carbono e metano.

Este gás pode ser coletado e utilizado para substituir combustíveis fósseis utilizados em caldeiras e fornalhas, ou pode ser utilizado como combustível em sistemas de geração de eletricidade.

## Fatores que afetam o funcionamento das lagoas

As condições hidráulicas e biológicas que tomam parte no processo de tratamento dos esgotos por meio de tratamento em lagoas de estabilização podem ser afetadas por uma série de fatores.

Alguns deles são levados em consideração durante o projeto e outros, em função de sua natureza incontrolável, devem, na medida do possível, ser criteriosamente considerados, de modo a serem minimizadas suas interferências no funcionamento das lagoas.

Os parâmetros ou fatores não controláveis pelo homem estão representados pelos fenômenos meteorológicos.

Em lagoas de estabilização de grande porte, a formação de ondas pela ação dos ventos pode provocar erosão dos taludes internos.

A turbulência provocada pelas ondas pode, também, perturbar o fluxo hidráulico do efluente dentro da lagoa.

As bactérias aeróbias e as algas da zona fótica podem ser deslocados para o fundo da lagoa. Nestas condições, sem oxigênio nem luz solar, elas podem reduzir sua atividade ou mesmo morrer.

O material sedimentável no fundo da lagoa pode ser revolvido pela turbulência causada pelas ondas e chegar à superfície da lagoa, causando problemas de emissão de odores e emissão de materiais não sedimentáveis para o corpo receptor.

A temperatura constitui um parâmetro incontrolável de grande importância para o bom funcionamento das lagoas, pois se relaciona com a velocidade das reações que ocorrem durante a depuração do efluente.

A atividade biológica decresce à medida que a temperatura cai. Pode-se esperar uma queda de até 50% na eficiência de remoção de carga orgânica em função de uma redução de 10°C na temperatura do efluente.

Além disto a atividade de fermentação não ocorre significativamente em temperaturas inferiores a 17°C.

A precipitação de água de chuva sobre o espelho de água da lagoa não causa efeitos duradouros ou prejuízos mensuráveis ao tratamento de efluentes.

Entretanto, a admissão da água de chuva pode reduzir o tempo de retenção hidráulico da lagoa, pode causar mudanças súbitas de temperatura no efluente e causar o arraste de algas e bactérias para fora do sistema.

Durante chuvas fortes de verão pode-se esperar precipitações de até 150 mm durante 1 hora. Para uma lagoa com 100.000 m<sup>2</sup> de superfície, a quantidade de água de chuva capturada apenas em uma hora de chuva seria, nestas condições, da ordem de 15 milhões de litros.



## Passo 2 / Debate



20 min

**Educador**, a partir do tema a seguir promova um debate entre os jovens.

Imagine uma lagoa que opera com a mesma carga orgânica em duas situações distintas: (1) uma semana ensolarada e sem nuvens no céu e (2) uma semana com céu encoberto por nuvens densas e carregadas. Discuta os impactos desses cenários sobre a eficiência do tratamento.

### Resposta

Numa semana ensolarada e sem nuvens no céu a lagoa recebe grande quantidade de luz. Nesta condição as algas produzem, pelo processo de fotossíntese, oxigênio em abundância. As bactérias aeróbias, principais responsáveis pela degradação da matéria orgânica solúvel no efluente, em condições de abundância de oxigênio, destroem grande quantidade de carga poluidora e a eficiência da lagoa é alta.

Numa semana com céu encoberto por nuvens há pouca incidência de raios luminosos na lagoa. Nesta condição as algas produzem pouco oxigênio. As bactérias aeróbias, por sua vez, em condições de escassez de oxigênio, destroem pouca carga poluidora e a eficiência é baixa.

Observe que, ao operar lagoas de estabilização, não é possível garantir eficiência elevada durante todo o tempo, uma vez que não há como controlar as condições meteorológicas.

## Vigésima **Terceira** Aula



Nessa aula será discutido o princípio de funcionamento do tratamento de efluentes por meio do uso de lodos ativados.



### Passo 1 / Aula teórica



30 min

### Lançamento de efluentes em corpos receptores

Despejos orgânicos (efluentes) lançados num rio, num lago ou no mar (corpos receptores), são naturalmente decompostos por seres microscópicos aquáticos.

Estes microrganismos promovem a quebra das moléculas orgânicas em moléculas menores e mais simples (estabilização), que podem então ser utilizadas pelos próprios microrganismos como fonte de energia (subsistência da vida) ou como matéria básica para construção de novos microrganismos (reprodução).

No caso de lançamentos contínuos de efluentes orgânicos num corpo receptor a atividade dos microrganismos aeróbios, ou seja, microrganismos que utilizam o oxigênio dissolvido na água, pode levar ao consumo total do oxigênio disponível, criando condições anaeróbias.

Isto leva ao desaparecimento dos microrganismos aquáticos aeróbios e conseqüentemente à morte de peixes e vegetais que dependem daquelas espécies da cadeia alimentar.

Finalmente ocorre a proliferação de microrganismos anaeróbios decompositores, que transformam compostos orgânicos, em ausência de oxigênio, num grande número de diferentes subprodutos, entre eles algumas substâncias tóxicas.

Nestas condições a água deixa de ser apropriada para uso na agricultura, pecuária, consumo e recreação humana.

Os custos para recuperar um sistema como estes são imensos e o processo de recuperação pode demandar dezenas de anos.

Os municípios que utilizam estas águas para abastecimento de suas comunidades são forçados a buscar fontes alternativas, na grande maioria das vezes distantes.

A agricultura e a pecuária da região são severamente comprometidas.

O corpo receptor torna-se fonte de odores desagradáveis e proliferação de agentes patogênicos e vetores de doenças diversas.

## Enzimas

Numa estação de tratamento biológico o material orgânico é estabilizado, ou seja, reduzido a moléculas menores, e utilizado pela população de microrganismos como fonte de energia e matéria-prima para construção de novas células. Isto só é possível graças à ação das enzimas.

Enzimas são substâncias produzidas pelas bactérias, que promovem a ocorrência de, virtualmente, todas as reações químicas que acontecem em organismos vivos.

Enzimas extracelulares são liberadas pelo microrganismo no meio que o cerca e agem sobre as formas orgânicas presentes, promovendo sua quebra em frações orgânicas mais simples.

Enzimas intracelulares agem no interior das células, promovendo a construção de novas estruturas celulares.

As substâncias orgânicas presentes no meio podem entrar na célula de um microrganismo por simples diferença de concentração (osmose) ou são carregadas por enzimas transportadoras, para as quais a membrana celular é permeável.

Em função do tipo de substrato presente no meio e das condições do ambiente, determinado tipo de microrganismo se desenvolverá dominando o sistema, em função de sua capacidade de produzir enzimas específicas que atuem sobre aquelas formas orgânicas.

Num sistema onde houvesse degradação completa da matéria orgânica, restariam apenas sais inorgânicos, metais e microrganismos. Entretanto, a eficiência de degradação está limitada ao fato de que algumas formas orgânicas não podem ser destruídas por microrganismos.

Isto acontece simplesmente pelo fato de que no processo natural de evolução, os microrganismos não foram colocados em contato com determinadas substâncias químicas, desenvolvidas recentemente pelo homem. A

natureza não desenvolveu, ainda, enzimas específicas para quebrar as ligações químicas destas substâncias.

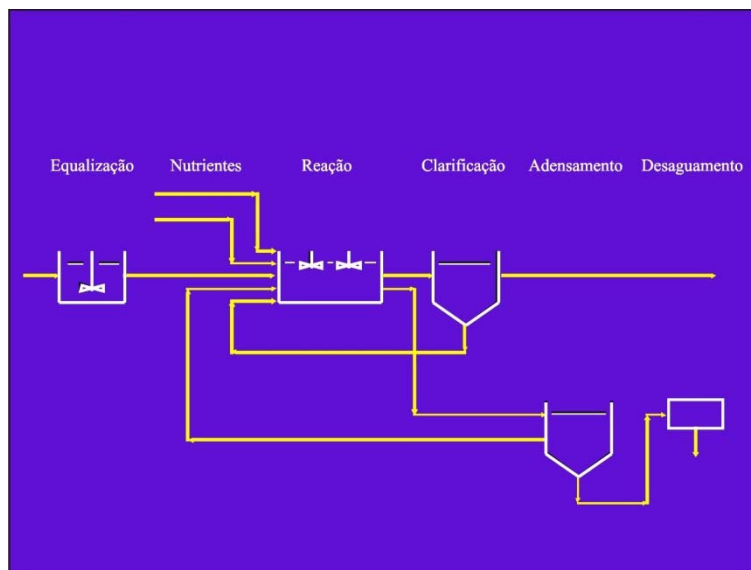


Figura 113 – Fluxograma simplificado do processo de lodo ativado

## Equalização

Muitas estações de tratamento apresentam flutuações consideráveis em seu efluente, quer seja em vazão ou composição, geralmente associados a perturbações ocorridas na unidade de fabricação (paradas, partidas, mudanças de marcha, operações de manutenção, testes, etc. ).

O papel de uma bacia de equalização é amortecer as oscilações provocadas pelo processo produtivo sobre a corrente de efluentes que alimenta a estação de tratamento, impedindo que estas oscilações prejudiquem a atividade dos microrganismos.

Excesso de efluente para os microrganismos pode ter dois efeitos nocivos: primeiro, as bactérias aumentam rapidamente o consumo de oxigênio do meio, criando condições **anóxicas** que, por fim, tendem a prejudicar a eficiência do sistema de tratamento; segundo, as bactérias não conseguem aumentar rapidamente a produção de enzimas que, em quantidade insuficiente frente ao excesso de efluente, não promovem a estabilização de toda a carga orgânica, novamente prejudicando a eficiência do sistema.

O projeto e a operação de um sistema de equalização deve prever a ocorrência de três tipos de perturbações: os picos instantâneos de carga orgânica, a condição normal de operação e a condição de chuva.



### Anóxica

É a ausência de oxigênio.

Figura 114 – Bacia de equalização



## Nutrientes

O objetivo principal de um tratamento biológico de efluentes é remover poluentes, como sólidos em suspensão, compostos orgânicos biodegradáveis, nitrogênio, fósforo ou metais pesados do efluente.

Para remover de modo eficiente estes poluentes, os microrganismos necessitam de um ambiente com nutrientes, temperatura, pH e oxigênio balanceados adequadamente.

Sem condições adequadas de crescimento a eficiência de um tratamento se deteriora rapidamente, indo de conversão incompleta de substratos orgânicos e inorgânicos até a completa inatividade dos microrganismos.

Todas as células vivas contêm nutrientes, alguns chamados de essenciais ou macronutrientes. Outros nutrientes são utilizados quando disponíveis, mas não são essenciais.

Carbono, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, fósforo, enxofre, potássio, cálcio, magnésio e ferro são utilizados em grandes quantidades por todos os seres vivos, e constituem o grupo dos nutrientes essenciais ou macronutrientes.

Alguns elementos são chamados de micronutrientes devido a sua baixa demanda. Cobalto, molibdenio, zinco, manganês e cobre constituem o grupo dos micronutrientes.

## Reator aerado ou tanque de aeração

Condição aeróbia é aquela em que os microrganismos aeróbios utilizam oxigênio dissolvido na água em seu processo de respiração celular.

No processo de lodo ativado a carga orgânica é convertida a dióxido de carbono, água e novas células, pelo consumo do oxigênio dissolvido na água pelas bactérias.

Oxigênio pode ser fornecido aos microrganismos por meio da ação de aeradores de superfície, insuflação de ar por compressores ou insuflação de oxigênio puro.

O sistema de aeração, além de fornecer oxigênio para os microrganismos aeróbios, possui a função secundária de manter agitado o reator, promovendo a suspensão do material biológico e intensificando o contato das bactérias com o efluente.



Figura 115 – Tanque de aeração com aeradores de superfície

## Clarificador ou decantador de lodo

O objetivo principal do clarificador é promover a separação do efluente tratado das bactérias. O efluente tratado pode então ser devolvido ao corpo receptor e as bactérias são recicladas para o tanque de aeração.

As bactérias aeróbias tendem a se unir formando flocos mais pesados do que a água. Esta característica possibilita uma fácil separação dos sólidos: os flocos de lodo, mais pesados do que a água, decantam na base do clarificador, enquanto que a água tratada transborda pela parte superior do clarificador.

A massa de flocos de bactérias que decanta na base do clarificador é chamada de lodo.

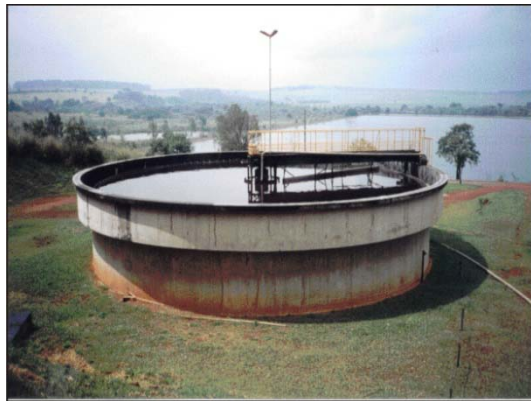


Figura 116 – Clarificador

### Adensador de lodo

Durante o processo de tratamento as bactérias utilizam parte do conteúdo orgânico do efluente para construir novas células (reprodução celular). Desta forma a população de microorganismos dentro do sistema tende a crescer continuamente, ultrapassando a quantidade necessária.

O excesso de lodo dentro do sistema causa uma série de problemas, entre eles o consumo excessivo de oxigênio dentro do tanque de aeração e o consumo excessivo de energia nos processos de bombeamento e agitação do tanque de aeração.

Na maioria das estações de lodo ativado a remoção de lodo é feita purgando-se parte da corrente de reciclo de lodo. Deste modo tira-se proveito do adensamento natural obtido na base do clarificador.

Entretanto, como a função do clarificador secundário não é adensar o lodo, mas clarificar o efluente tratado, outro equipamento tem sido cada vez mais empregado: o adensador.

O adensador não recicla lodo para o sistema, apenas adensa os flocos de bactéria decantados. Como o lodo da base do adensador será removido do sistema, não há preocupação com o tempo de permanência deste lodo em condições anaeróbias no interior do adensador.

Sendo assim pode-se obter elevadas concentrações de lodo na base do adensador otimizando a operação seguinte de desaguamento.

## Desaguamento de lodo

O lodo purgado do sistema biológico de tratamento precisa ser disposto adequadamente. Tipicamente este material é disposto em aterros químicos controlados, é incinerado ou utilizado como fertilizante agrícola.

Qualquer que seja a disposição final deste material, haverá necessidade de acondicionamento e transporte.

Os custos com acondicionamento, transporte e disposição final do lodo constituem um dos maiores custos operacionais de uma estação de tratamento.

Por esta razão o lodo purgado da estação deve ser desaguado, ou seja, tratado adequadamente em um equipamento que remova a água no material, reduzindo seu volume e, conseqüentemente, os custos envolvidos com sua disposição final.

São diversas as tecnologias empregadas no desaguamento de lodos: leitos de secagem, esteiras desaguadoras, filtros-prensa e centrifugas entre outros.



Figura 117 – Esteira desaguadora



Figura 118 – Centrifuga



**Educador**, a partir das questões a seguir promova um debate entre os jovens.

1. Por que alguns poluentes são facilmente biodegradáveis e outros, como por exemplo plásticos, precisam de centenas de anos para serem destruídos na natureza?

### Resposta

O processo biológico de estabilização de matéria é um processo enzimático; portanto, substâncias que existem na natureza há milhares ou milhões de anos são conhecidas pelas bactérias, que desenvolveram neste período enzimas capazes de degradar estes materiais. Já substâncias novas, sintetizadas recentemente pelo homem, são desconhecidas pelos microrganismos. Pode não haver na natureza, ainda, enzimas capazes de degradar estes materiais.

2. Nos processos biológicos de tratamento, não estamos apenas transformando resíduos líquidos em outras formas de resíduos, como lodo biológico?

### Resposta

Correto. O processo de tratamento não faz desaparecer os resíduos, apenas os modifica em outras formas de resíduos, alguns inofensivos como a água e o dióxido de carbono, outros que precisam de disposição adequada e controlada, como é o caso dos lodos. Portanto todo esforço deve ser feito no sentido de evitar ou minimizar a geração de resíduos.

## Vigésima Quarta Aula



Nessa aula serão discutidas as principais fontes de poluição de uma fábrica de celulose.



### Passo 1 / Aula teórica



20 min

## Fontes poluidoras em fábricas de celulose

O fluxograma abaixo mostra as emissões e resíduos do processo de produção de celulose.

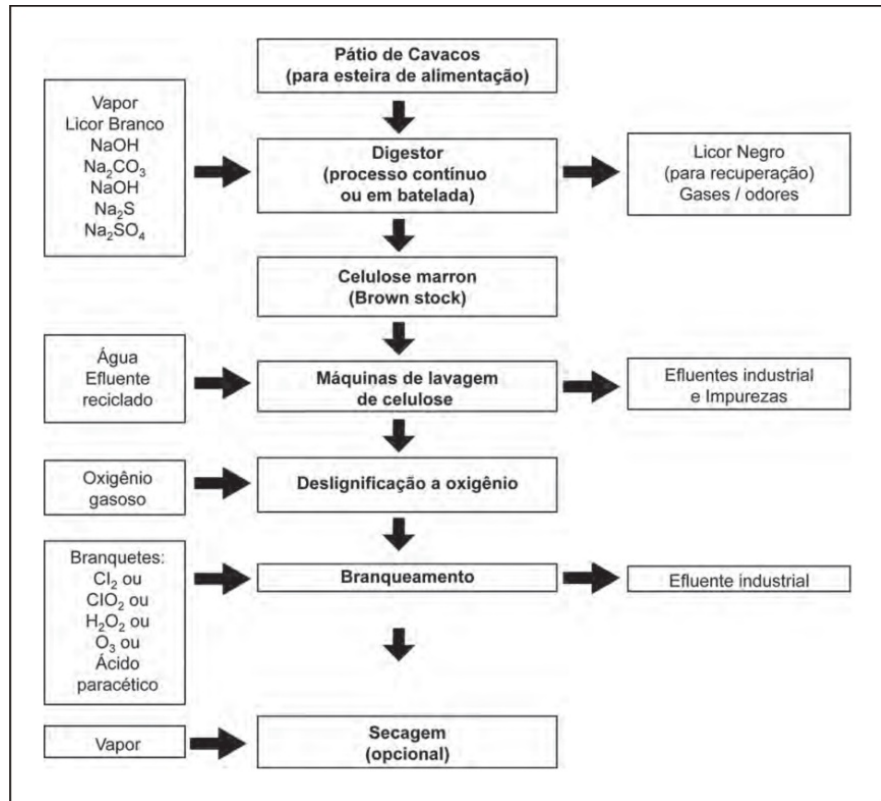


Figura 119 – Fluxograma simplificado das emissões e resíduos do processo

### Preparação da madeira

Durante a preparação da madeira, alguns fabricantes utilizam água na remoção das cascas das árvores.

Esta água arrasta sólidos dissolvidos que, dependendo da espécie da árvore de reflorestamento, podem ser altamente tóxicos, como, por exemplo, as resinas do eucalipto.

### Preparação da pasta celulósica não-branqueada

Em todos os processos de produção de pasta não-branqueada ocorre poluição atmosférica por meio da emissão de gases e materiais particulados provenientes das unidades de geração de energia e vapor.

A queima de combustíveis gera emissões de dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), óxidos nitrosos (NO<sub>x</sub>) e materiais particulados.

Grandes quantidades de água são utilizadas nesta fase do processo.

Nos efluentes líquidos pode-se encontrar substâncias orgânicas dissolvidas, e, em suspensão, fibras e partículas de madeira.

Nos processos mecânicos de obtenção de pasta os efluentes líquidos apresentam geralmente índices baixos de cor e pH próximo da neutralidade.

Nos processos químicos de obtenção de pasta os efluentes líquidos têm elevados índices de cor e apresentam grandes quantidades de sólidos suspensos e dissolvidos.

A poluição causada pelos processos dotados de recuperação de reagentes depende da eficiência do processo empregado.

Na etapa de digestão da madeira são formados compostos reduzidos de enxofre que constituem o maior problema de poluição do ar na fabricação da celulose.

Esses compostos são:

- Sulfeto de hidrogênio ( $H_2S$ ).
- Metilmercaptano ( $MeSH$ );
- Dimetilsulfeto ( $(CH_3)_2S$ ).
- Dimetildissulfeto ( $(CH_3)_2S_2$ ).

Durante o processo de regeneração do licor negro são gerados resíduos sólidos, chamados *grifs* e *dregs*, que demandam destinação final apropriada.

Os *grifs* são gerados no processo de regeneração da soda cáustica durante o processo de tratamento do licor negro. É composto por areia, pedregulho, calcário ( $CaCO_3$ ), óxido de cálcio ( $CaO$ ), hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ) e carbonato de sódio ( $Na_2CO_3$ ).

Os *dregs* são gerados no processo de clarificação do licor verde. É composto por carbonato de sódio ( $Na_2CO_3$ ) e sulfeto de sódio ( $Na_2S$ ).

### Preparação da pasta celulósica branqueada

As operações de branqueamento consistem, essencialmente, na mistura da pasta com os reagentes químicos, na permanência da mistura em reatores e na lavagem da pasta para a remoção de substâncias orgânicas e inorgânicas solubilizadas.

A água removida durante as sucessivas etapas de lavagem da polpa constituem o efluente líquido desta etapa do processo.

A tendência é de aparecimento de traços de cloro no efluente até mesmo quando o processo não utiliza

branqueamento com cloro, pois a presença de matérias-primas como celulose reciclada e aparas branqueadas com cloro é muito comum.

Metais pesados podem estar presentes em aditivos utilizados na produção de celulose. Podem promover efeitos tóxicos graves e tendem a se acumular no organismo. Estes compostos geralmente são tratados por via biológica e/ou físico-química, com resultados satisfatórios em termos de remoção de carga orgânica e toxicidade.

A utilização de compostos branqueadores à base de cloro podem gerar dioxinas e furanos. São compostos altamente tóxicos, cancerígenos e danosos ao sistema imunológico e reprodutor.



As dioxinas e os furanos são uma classe de hidrocarbonetos clorados produzidos involuntariamente em uma série de processos químicos, térmicos e biológicos. Essas substâncias estão entre as mais cancerígenas conhecidas, representando um risco muito grande à saúde e ao meio ambiente. Por isso, esses elementos estão listados na Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes, e precisam ser medidos, monitorados e reduzidos drasticamente para eliminar os riscos à população.



A segunda versão do guia para estimativa de Dioxinas e Furanos está disponível no *link* a seguir:

[http://www.pops.int/documents/guidance/toolkit/sp/Toolkit\\_2005es.pdf](http://www.pops.int/documents/guidance/toolkit/sp/Toolkit_2005es.pdf)

## Resíduos sólidos

As correntes de resíduos sólidos irão variar de acordo com as particularidades do processo. Para o kraft, as principais fontes de resíduos são:

- *Grits*, gerados no processo de apagamento da cal para produção de licor branco (soda caustica).
- *Dregs*, gerados na clarificação do licor verde (carbonato de sódio + sulfeto de sódio).
- Lama de cal, gerada nos filtros de lama de cal (carbonato de cálcio).
- Casca suja, oriunda do pátio de madeira.
- Serragem, oriunda dos picadores.
- Rejeito, oriundo da digestão da madeira.
- Cinzas, oriundas dos precipitadores eletrostáticos das caldeiras de biomassa e forno de cal.
- Lodo da estação de tratamento de efluentes.



## Passo 2 / Atividade prática



30 min

### Orientações para a realização da atividade prática:

1. Divida os jovens em grupos.
2. Peça aos jovens que agrupem as emissões em poluição do ar, das águas e do solo.

## Vigésima Quinta Aula



Nessa aula serão discutidas ações de redução das emissões poluidoras do processo de produção de celulose.



## Passo 1 / Aula teórica



30 min

### Áreas florestais

Medidas úteis ao processo e benéficas ao ambiente devem ser aplicadas desde a fase inicial de extração da madeira, nas áreas de produção florestal.

Visto que a maioria das empresas de celulose mantém propriedades privadas torna-se viável a estratégia de efetuar, logo após o corte, a etapa de descascamento das toras e separação de todas as partes inservíveis ao processo, ou seja, cascas, folhas, galhos finos e outros, antes do seu transporte para a unidade industrial.

Quando o material é transportado para a empresa, uma porção se transforma em resíduo, que se acumula no pátio e deve ser disposto em aterro.

Além do benefício com a redução dos custos do transporte e de combustível, o material orgânico deixado sobre o terreno atua como uma capa protetora contra erosão; essa também tende a se decompor com certa rapidez, proporcionando à próxima cultura uma fonte adicional de matéria orgânica e nitrogênio, minimizando a necessidade de adubação química.

Uma outra vantagem é que o processo de descascamento pode ser realizado a seco, economizando água.

### Operações de beneficiamento de madeira

O controle do tempo de estocagem de madeira e cavacos é fundamental. Esta etapa tem como objetivo principal a degradação enzimática dos extrativos.

O período ideal de permanência em estoque é de 40 dias, durante o qual a madeira atinge o ponto ótimo de maturação devido à exposição ao ambiente.

Períodos superiores são prejudiciais à qualidade da madeira, reduzindo assim o rendimento do processo.

### Descascamento da madeira a seco

O descascamento a seco reduz o consumo de água do processo e a quantidade de matéria orgânica dissolvida nas águas residuárias.

Caso se opte pelo descascamento úmido, a utilização de prensas nas operações poderá trazer um aumento do teor de sólidos na casca, o que melhorará o rendimento de sua queima na caldeira de biomassa.

### Consumo de água e Geração de efluentes industriais

Em se tratando de um dos insumos mais importantes ao processo, a água é também aquele que mais tem merecido atenção no que diz respeito a medidas de conservação.

De uma forma geral, o fechamento total do ciclo de água de uma unidade dependerá das restrições impostas pela qualidade final pretendida para o produto.

Atualmente, várias fábricas de papelão já conseguiram ou estão próximas de atingir índices de fechamento de circuito em 100%.

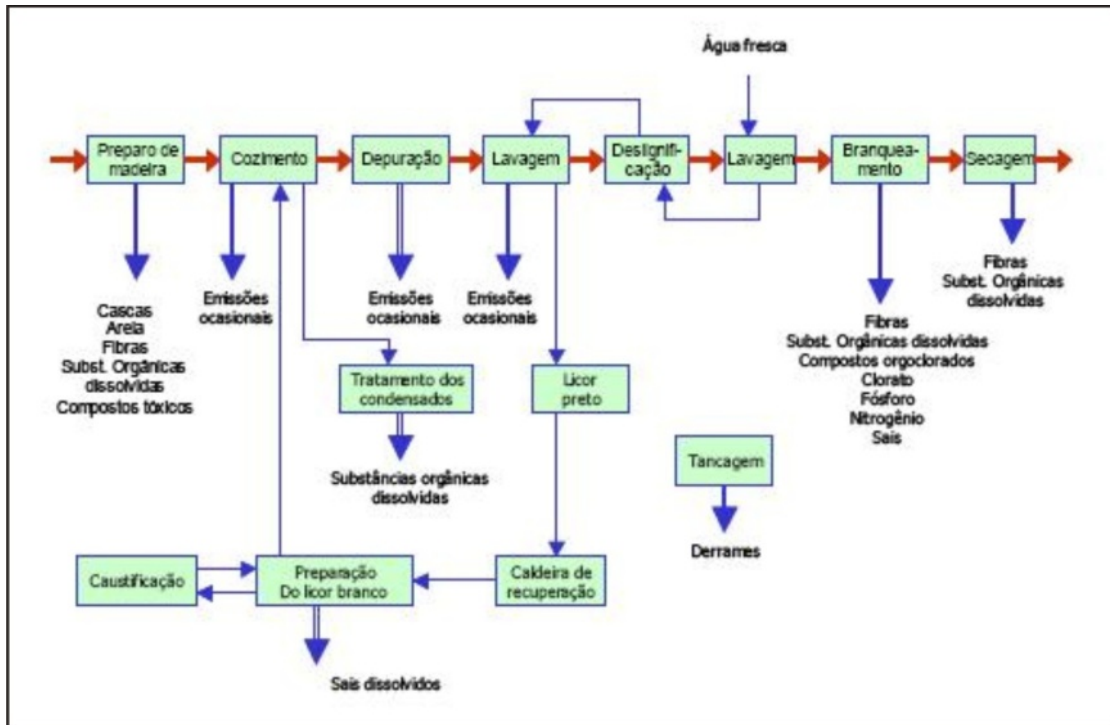


Figura 120 – Balanço hídrico das águas residuárias de uma fábrica de celulose

Algumas medidas de conservação mais utilizadas são:

1. Minimização do consumo de água pela otimização dos volumes adequados a cada etapa produtiva dos diferentes tipos de celulose/papel, aumentando a proporção de água de reuso e melhorando o gerenciamento da água de processo.
2. Melhor controle dos fatores (contaminações) que possam tornar desvantajoso o fechamento do ciclo de água, desde o beneficiamento da madeira até o emprego de insumos químicos e energéticos no processo.
3. Implantação de um sistema adequado de armazenamento e reuso de licores, do filtrado e de outros líquidos de contaminação reduzida.
4. Emprego de instalações e equipamentos de baixo consumo de água, sempre que isso se mostre praticável (em geral, isso pode ser programado quando há mudança de instalações ou troca de equipamentos).
5. Controle eficiente de vazamentos e derramamentos – É recomendado que as plantas tenham sistemas de coleta de derramamentos devido a perdas acidentais, empregando bacias de contenção, além de um sistema de recuperação e reuso das águas “limpas” de resfriamento, vazamento de gaxetas e outros, que ocorrem nas diversas etapas do processo produtivo.

6. Segregação dos efluentes das etapas “claras” (licor branco, caldeiras, máquina de papel) daqueles das etapas “escuras” (digestão da madeira, licor negro) para tratamento em separado.
7. Provisão para instalação de tanques-pulmão com capacidade suficiente a montante do sistema de tratamento, para o armazenamento dos vazamentos de licores de cozimento e de recuperação, assim como de condensados contaminados, para que se evitem descargas de pico de carga ao sistema de tratamento de águas residuárias e seus correspondentes impactos ambientais.
8. Emprego de um leque de sistemas de tratamento envolvendo as fases de tratamento primário, secundário (biológico) e/ou, em alguns casos, tratamento terciário com precipitação química (quando se implanta apenas tratamento químico, a DBO de saída tende a ser mais alta, apesar de conter matéria de biodegradabilidade mais fácil).
9. Recirculação das correntes alcalinas resultantes da etapa de branqueamento.

### Ciclo de cozimento e deslignificação

O pré-aquecimento dos cavacos com vapor, antes destes entrarem no digestor, é essencial para sua impregnação com licor de cozimento.

O rendimento do processo está diretamente ligado ao controle de temperatura, pressão, tempo de detenção, teor de álcalis e sulfidez.

O controle do cozimento se faz tendo em vista o controle do residual de lignina, ou número *kappa*.

### Lavagem e depuração

Na separação do licor das fibras e seu encaminhamento para o processo de recuperação, pode-se utilizar lavadores tipo prensa e/ou difusores, que são mais eficientes na remoção dos compostos orgânicos, sendo assim os mais utilizados antes da etapa de branqueamento.

O uso de prensas na lavagem da polpa permite a redução de aproximadamente 70% do consumo de água nesta etapa, o que aumenta o teor de sólido da massa a ser queimada na caldeira de recuperação.

## Processos de branqueamento

Juntamente com a digestão, esta é a etapa mais crítica no que diz respeito a impactos ambientais.

Como já foi mencionada, a melhor alternativa em termos de produção limpa é o branqueamento da massa por meio de processos livres de cloro elementar (ECF) ou, preferivelmente, os totalmente livres de cloro (TCF).

Ou, quando cabível, não se utilizar qualquer etapa de branqueamento no processo (apesar deste fator depender de fatores de mercado e do uso pretendido para o produto final).

Hoje em dia, o maior grau de conscientização dos consumidores já permite a aceitação de produtos “menos brancos” em troca de suas correspondentes vantagens ambientais.

Algumas medidas para redução do impacto do branqueamento seriam:

1. Aumento da eficiência de deslignificação antes da etapa de branqueamento, por meio da extensão ou modificação da etapa de cozimento, além da inserção de etapas adicionais de deslignificação com oxigênio.
2. Aumento da eficiência de lavagem da massa digerida não branqueada (*brown stock*).
3. Adicionalmente, os gestores do processo deverão prestar atenção à possível futura viabilização de processos alternativos de branqueamento de celulose que hoje se encontram em fase experimental, como o que utiliza ácido peracético e agentes quelantes.

## Otimização da linha de licor negro

O licor negro resultante da etapa de deslignificação geralmente apresenta um teor de sólidos entre 14 e 18% em massa.

O projeto da planta de evaporação de licor negro deverá garantir sua capacidade de absorver cargas adicionais de licores e produzir licor para queima com maior concentração possível, elevando-o a aproximadamente 70%, a fim de garantir a eficiência de queima.

A energia adicional obtida com a queima dos licores deverá ser utilizada para co- geração de calor/energia, sempre que a relação calor/ potência assim o permita.

## Elevação da temperatura na fornalha da caldeira de recuperação

Propiciará o aumento do teor de sólidos do licor para 75%, melhorando as condições de queima e reduzindo a emissão de compostos de enxofre em até 80%.

As emissões de enxofre total da caldeira de recuperação podem ser controladas por meio de um controle eficiente da combustão e monitoramento da concentração de monóxido de carbono nos gases.

## Controle do fornecimento de ar de combustão

As emissões de NOx são dependentes do conteúdo de nitrogênio no licor negro e do controle do excesso de ar na combustão.

O controle do fornecimento de ar (ou seja, cuidar para que haja uma adequada mistura ar/combustível no queimador da caldeira) e a otimização das condições de queima têm impacto direto na redução dessas emissões.

## Captação e incineração dos gases odoríferos

Os gases mais concentrados podem ser queimados na caldeira de recuperação, no forno de cal ou numa caldeira de baixa emissão de NOx.

A formação de gás sulfídrico nos gases de combustão é um indicador de que a mistura ou o fornecimento de oxigênio estão abaixo dos valores corretos.

Os compostos de enxofre deverão ser captados e encaminhados para queima.

Gases odoríferos menos concentrados também devem ser captados e incinerados, e o efluente gasoso resultante, tratado para remoção de SOX.

## Forno de cal

As emissões de compostos de enxofre no forno de cal podem ser reduzidas pela lavagem da lama de cal, visando reduzir a contaminação por sulfeto.

Além disso, é necessário instalar lavadores de gases e controlar o teor de enxofre dos combustíveis.

## Uso de precipitadores eletrostáticos

É considerado essencial no controle de emissão de material particulado, tanto no forno de cal como na caldeira de recuperação e caldeiras auxiliares.

O problema das emissões de SOX das caldeiras auxiliares pode ser contornado pela substituição do óleo combustível por lenha, gás natural, óleo, ou mesmo pela instalação de lavadores.

## Caldeiras de biomassa

Para essas caldeiras, que apresentam temperaturas de operação relativamente baixas, quando comparadas às caldeiras de recuperação, a emissão de NOx pode ser controlada pelo controle do excesso de ar.



### Passo 2 / Exercício



20 min

**Educador**, faça aos jovens as perguntas a seguir.

1. Do ponto de vista do negócio, por que devemos trabalhar na identificação e redução das emissões e resíduos do processo?
2. Do ponto de vista ambiental, por que devemos trabalhar na identificação e redução das emissões e resíduos do processo?



## 4 Produção de Produto Final

A partir da análise do fluxo produtivo do(s) produto(s) da empresa e visita aos respectivos setores de produção, os jovens deverão relacionar em forma de painel gráfico-descritivo ou maquete os tipos e as características das operações/processo unitárias e dos equipamentos envolvidos. Serão apresentados conceitos relacionados a sistemas de produção contínua com ênfase nos equipamentos e operações unitárias.

### Objetivos

- Caracterização (identificação/funcionamento/função) dos principais equipamentos de processamento químico-industrial.
- Auxiliar na operação e controle de equipamentos de apoio à produção em processos contínuos/químicos.
- Reconhecer os processos químico-físicos de transformação de materiais em produtos.
- Identificar as características de uma planta de produção de processo contínuo, como fluxo da produção e etapas produtivas.
- Relacionar os itens de automação aplicados a processos contínuos e as suas principais características.



# Primeira Aula



Nessa aula serão discutidos conceitos de química básica que permitem o melhor entendimento de um processo de produção contínua, dado que em grande parte desses processos ocorrem transformações químicas de seus elementos, e os **insumos** são produtos ou componentes químicos.



Passo 1 / Aula Teórica



50 min

## Equipamentos utilizados em processos de produção contínua

### Conceitos fundamentais de Química

Quando discutimos processos produtivos, precisamos ter muito claro que o que se produz são materiais e todos os materiais são compostos de moléculas e essas moléculas são formadas por elementos químicos.

Já estudamos nas séries do ensino fundamental que toda matéria é composta de átomos. Átomos são os menores elementos de uma matéria que ainda mantêm as características químicas que a definem. Isso quer dizer que se quebrarmos/cortarmos um material incessantemente chegaremos a um ponto em que tudo o que restará serão partículas de cargas elétricas positivas, negativas ou neutras.

Na natureza há cerca de uma centena de átomos diferentes entre si. Tais átomos, ou elementos químicos, podem agrupar-se de várias maneiras para formarem as mais diferentes espécies de substâncias.

No início do século XX acreditava-se que os átomos eram as menores partículas do Universo e que não poderiam ser subdivididos. Porém, hoje já sabemos que o átomo é um minúsculo sistema descontínuo, formado por um núcleo e uma eletrosfera com imenso espaço vazio relativo entre ambos. No núcleo encontramos o próton e o nêutron, e na eletrosfera o elétron.



#### **Insumo**

É um termo técnico, usado geralmente em Economia, para designar um bem de consumo que é utilizado na produção de um outro bem. Esse termo, por vezes, é substituído, imprecisamente, pelo termo matéria-prima.

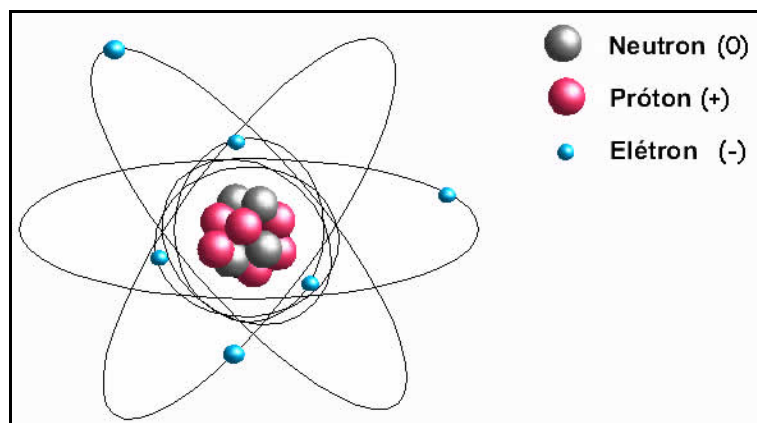


Fig. 1 – Estrutura do átomo.

Os elementos químicos conhecidos encontram-se catalogados em uma tabela conhecida pelo nome de tabela periódica.

É importante saber as seguintes informações constantes da tabela:

- 1 Os elementos estão alinhados em sete períodos (fileiras horizontais) na ordem crescente de seus números atômicos.
- 2 Os elementos estão alinhados em dezoito colunas chamadas grupos ou famílias, onde estão colocados os elementos cujas propriedades químicas são bastante semelhantes entre si.
- 3 Em cada quadrícula encontramos:
  - O símbolo do elemento, na parte central.
  - A distribuição eletrônica, à direita do símbolo.
  - O número atômico, acima do símbolo.
  - O nome do elemento, à esquerda do símbolo.
  - A massa atômica, abaixo do símbolo.

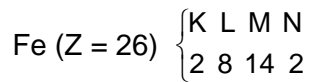
Símbolo	9	Nº atômico - (Z)
Nome do elemento	FLÚOR	Distribuição eletrônica
	F	2
		7
	18,9984	Massa atômica - (A)

Fig. 2 – Legenda do elemento químico flúor na tabela periódica.

- 4 Na coluna 0 encontram-se os **gases nobres**: He, Ne, Ar, Kr, Xe e Rn.

- 5 Na coluna 1A estão os **metais alcalinos**: Li, Na, K, Rb, Cs e Fr.
- 6 Na coluna 2A estão os **metais alcalino-terrosos**: Be, Mg, Ca, Sr, Ba e Ra.
- 7 Em negrito estão os **semimetais**: B, Si, Ge, As, Sb, Te e Po.
- 8 Entre os semimetais e os gases nobres estão os **não-metais**: C, N, O, F, P, S, Se, Br, I e At.
- 9 Do elemento escândio ( $Z = 21$ ) ao elemento Hânio ( $Z = 105$ ), tem-se os **elementos de transição**.

**Observação:** O nome de transição deve-se ao fato de os átomos desses elementos apresentarem nos níveis internos um número de elétrons diferente de 8 ou 18:



- 10 A maioria dos elementos contidos na tabela é caracterizada como metal.
- 11 Considerados sob pressão normal e a 25°C, os elementos apresentam-se nos seguintes estados físicos:
  - **Gasoso** – Flúor, cloro, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio e os gases nobres.
  - **Líquido** – Bromo e mercúrio.
  - **Sólido** – Os demais elementos.

### Estados da matéria e transformações físicas:

A matéria pode apresentar-se no Universo em três estados físicos, a saber: sólido, líquido ou gasoso.

Muitas substâncias podem passar de um estado físico para outro, o que vai depender da temperatura e da pressão em que se encontram.

As mudanças de estado físico, ou transformações físicas, da matéria podem ser classificadas como:

- 1 **Fusão** – É a passagem de uma substância do estado sólido para o líquido. Exemplo: chumbo derretendo.
- 2 **Solidificação** – É a passagem de uma substância do estado líquido para o sólido. Exemplo: endurecimento da solda.
- 3 **Sublimação** – É a passagem de uma substância do estado sólido para o gasoso, e vice-versa, de modo direto. Na sublimação a substância não passa pelo

estado líquido. Exemplo: gelo seco que se transforma em gás carbônico e vice-versa.

- 4 **Vaporização** – É a passagem de uma substância do estado líquido para o gasoso. Segundo o processo, a vaporização recebe três nomes: evaporação, ebulição e calefação:
  - a **Evaporação** – É a vaporização lenta que se processa apenas na superfície do líquido em qualquer temperatura. Exemplo: água que se evapora de um lago.
  - b **Ebulição** – É a vaporização tumultuosa que se processa a uma dada temperatura. Isso ocorre em toda a massa líquida e é acompanhada de abundante formação de bolhas. Exemplo: água que ferve numa panela.
  - c **Calefação** – É a vaporização que se processa quando se aplica um líquido a uma superfície aquecida cuja temperatura é superior à temperatura de ebulição do líquido. Durante a calefação o líquido divide-se em pequenos esferóides. Esses executam um movimento rápido e desordenado à proporção que diminuem de volume e emitem um chiado característico. Exemplo: gotas de água sobre uma chapa de ferro aquecida ao rubro.
- 5 **Condensação** – É a passagem de uma substância do estado gasoso (vapor) para o estado líquido. Exemplo: vapor de água que se condensa para formar nuvens.
- 6 **Liquefação** – É a passagem de uma substância do estado gasoso (gás) para o estado líquido. Exemplo: hidrogênio liquefeito.



Como sugestão, peça aos jovens para complementarem a leitura sobre a importância da química em nossas vidas acessando o seguinte endereço eletrônico: <http://www.abiquim.org.br/vceaquim/vida.html>

# Segunda Aula



Nessa aula serão discutidos os princípios relacionados às reações químicas, como elas ocorrem e os tipos principais.



Passo 1 / Aula Teórica



50 min

## Reações químicas

Chama-se reação química o fenômeno onde moléculas são desmontadas e os átomos são reaproveitados para formar novas moléculas. É o que acontece, por exemplo, quando o hidrogênio reage com o oxigênio para formar água.

Representamos esse fenômeno através de um esquema:

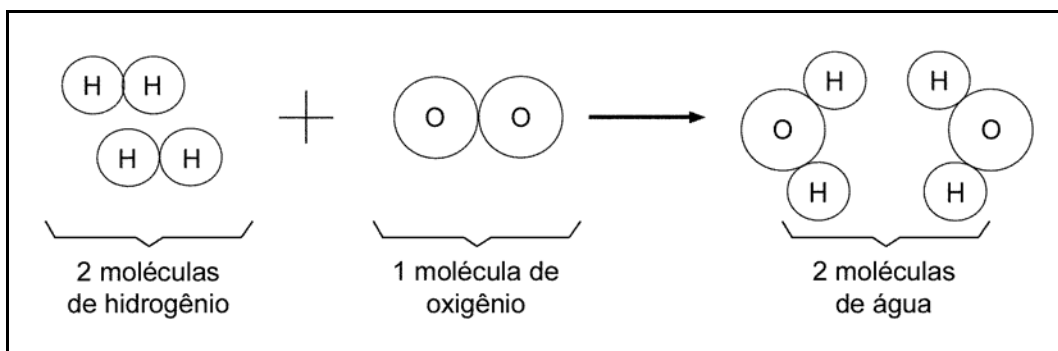
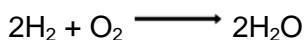
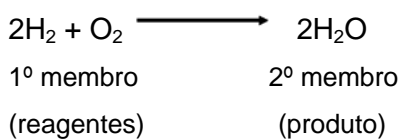


Fig.3 – Reação de hidrogênio com oxigênio para formar água.

Pode-se representar essa reação de uma forma gráfica e abreviada por meio de uma **equação química**:



À esquerda da seta (chamado 1º membro), escrevemos as fórmulas das substâncias envolvidas na reação, que recebem o nome de **reagentes**. À direita da seta (2º membro), escrevemos a fórmula da substância formada na reação, que recebe o nome de produto.



Uma equação química indica também a quantidade de moléculas envolvidas na reação ou a proporção em que



- **Reações inorgânicas** – São aquelas que ocorrem entre as substâncias da natureza que não possuem o carbono coordenado em cadeias como parte de sua estrutura. Como exemplos dessas substâncias podemos destacar os ácidos, bases, sais e óxidos. As substâncias inorgânicas correspondem a cerca de 95% das substâncias existentes no nosso planeta.
- **Reações orgânicas** – São aquelas que ocorrem entre compostos que possuem carbono em sua estrutura e estão presentes em sua grande maioria nos organismos vivos. Podemos citar como exemplos dessas reações a fotossíntese, a digestão, a fermentação, etc.

No que se refere às reações inorgânicas podemos ainda classificá-las como:

1 **Reação de simples troca ou de deslocamento** – É a reação na qual uma substância simples reage com uma substância composta e desloca dessa última uma nova substância simples. Exemplos:



2 **Reação de dupla troca** – É a reação na qual dois compostos reagem trocando entre si alguns elementos e dando origem a dois novos compostos. Exemplos:

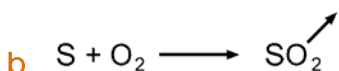
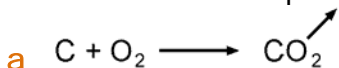


↓

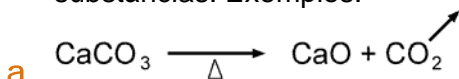


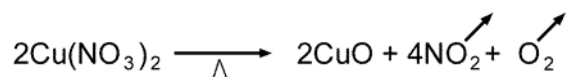
A seta (↓) indica um precipitado.

3 **Reação de síntese** – É a reação na qual duas ou mais substâncias reagem produzindo uma só substância. Exemplos:



4 **Reação de análise** – É a reação na qual uma substância se decompõe em duas ou mais substâncias. Exemplos:





O símbolo  $\Delta$  significa **aquecimento**.



## Terceira Aula

Nessa aula serão discutidos conceitos relacionados com a velocidade das reações, como a concentração dos reagentes, temperatura e pressão influem nessa velocidade e o papel dos catalisadores.



### Passo 1 / Aula Teórica



50 min

## Velocidade das reações químicas

No nosso cotidiano e na natureza podemos encontrar reações químicas ocorrendo nas mais diversas velocidades. Por exemplo: uma dinamite explode em frações de segundos; a digestão de alimentos em nosso organismo leva horas; a formação do petróleo demorou séculos para acontecer. A área da química que estuda a velocidade das reações é conhecida como **cinética química**.

Para uma indústria química, a velocidade das reações é uma variável de grande interesse, pois se ela conseguir “acelerar” o ritmo das reações, o tempo total para obter o produto final será reduzido e o processo como um todo será mais econômico.

De uma maneira geral, para medirmos a velocidade de uma reação química podemos medir a quantidade de reagente que desaparece ou a quantidade de produto que se forma, por unidade de tempo. Tomemos por exemplo a reação:



Podemos medir sua velocidade medindo as quantidades de **CO** ou de **NO<sub>2</sub>** que desaparecem ou as quantidades de **CO<sub>2</sub>** ou de **NO** que se formam por segundo, por minuto, por hora, etc. E essa medida pode ser feita por meio de processos físicos ou químicos.

Nos processos físicos a velocidade é medida indiretamente, medindo-se a variação de alguma

grandeza física, tal como: cor, condutividade elétrica, etc. Por exemplo, na reação citada acima todas as substâncias, exceto o  $\text{NO}_2$ , são gases incolores. O  $\text{NO}_2$  é um gás avermelhado, portanto, se medirmos com um fotômetro o nível de vermelho da reação, o mesmo diminuirá com o tempo à medida que o  $\text{NO}_2$  se esgotar. Logo a velocidade de desaparecimento do  $\text{NO}_2$  (cor vermelha) corresponderá à velocidade da reação.

Nos processos químicos a velocidade é medida tomando-se amostras dos reagentes e misturando com outras substâncias em que a reação é instantânea. A velocidade da segunda reação será proporcional à concentração do reagente na 1ª.

### Fatores que influenciam a velocidade das reações químicas

O mecanismo básico pelo qual ocorrem as reações químicas está fundamentado nas colisões entre as moléculas dos reagentes que se quebram e se unem formando novas substâncias.

A velocidade com que isso acontece vai depender basicamente de três fatores:

- A frequência dos choques entre as moléculas que é proporcional ao nível de agitação das mesmas.
- A energia com que esses choques acontecem, ou seja, quanto maior a energia melhor a chance de a quebra e a recombinação ocorrerem. A energia mínima para isso acontecer é chamada de **energia de ativação**.
- A orientação adequada das moléculas no momento do choque que depende também do tamanho e do formato das moléculas.

Tais fatores podem ser afetados pelas seguintes condições:

- Luz** – A luz e outras radiações eletromagnéticas fornecem energia às moléculas que ao atingirem o nível da energia de ativação iniciam a reação. Em alguns casos esta reação é tão violenta que podem ocorrer explosões. Por outro lado há reações que não ocorrem na ausência de luz. Reações desse tipo são chamadas de reações fotoquímicas. Exemplos: **fotossíntese** (obtem-se moléculas maiores) e **fotólise** (obtem-se moléculas menores).
- Calor** – O aumento da temperatura acelera as moléculas aumentando seu grau de agitação e isso favorece as reações. Por outro lado, a diminuição da



#### Fotossíntese

Processo através do qual plantas, seres autotróficos (seres que produzem seu próprio alimento) e alguns outros organismos transformam energia luminosa em energia química sintetizando o dióxido de carbono, água e minerais em compostos orgânicos e liberando oxigênio.

#### Fotólise

Processo de dissociação de moléculas orgânicas complexas por efeito da radiação eletromagnética fornecida pela luz. É o processo que está na base da fotossíntese.

temperatura desacelera as reações. Exemplo: cozimento de alimentos.

- c **Eletricidade** – Uma fagulha elétrica pode fornecer energia aos reagentes de modo a iniciar um processo de reação em cadeia. Exemplo: motor a combustão.
- d **Concentração dos reagentes** – Quanto maior a concentração dos reagentes ( $n^\circ$  de moléculas por unidade de volume) maior será a probabilidade de as moléculas se chocarem e as reações ocorrerem e conseqüentemente maior será a velocidade da reação. Se estiverem diluídos, a velocidade tende a diminuir.
- e **Pressão sobre o sistema em reação** – Aumentar a pressão sobre o sistema faz com que as moléculas se aproximem mais aumentando a concentração por unidade de volume. Assim como no caso anterior a probabilidade de as colisões ocorrerem aumenta proporcionalmente.
- f **Presença de catalisadores** – São substâncias que aumentam a velocidade de uma reação, mas sem serem consumidas no processo. O seu oposto são os inibidores. Alguns exemplos de **catalisadores** são:
  - Metais
  - Óxidos metálicos
  - Ácidos
  - Bases
  - Enzimas
- g **Estado físico dos reagentes** – As reações entre gases são mais rápidas do que as que ocorrem entre reagentes líquidos ou entre reagentes sólidos. Isso se deve ao grau de agitação das moléculas. Também o grau de solubilidade influencia na velocidade da reação, ou seja, substâncias **imiscíveis** tendem a demorar mais para reagir, daí a necessidade de usarmos agitadores mecânicos. Eles forçam a mistura entre os reagentes e aumentam a probabilidade de as moléculas se chocarem.



#### **Catalisador**

É tudo aquilo que facilita ou acelera reações químicas sem nelas participar, ou seja, saem do processo inalterada. Por exemplo: enzimas, sais minerais, alguns tipos de metais, etc.

#### **Imiscível**

Líquido que não se mistura com outro líquido, ou seja, forma uma mistura heterogênea. Por exemplo, a água é imiscível no azeite.

# Quarta Aula



Nessa aula serão discutidos conceitos de balanço de massa e energia em reações químicas.



Passo 1 / Aula Teórica



50 min

## Introdução

A maior diferença entre uma reação química obtida no âmbito de um laboratório e aquela obtida ao nível industrial reside no volume das substâncias envolvidas no processo. Pois no nível molecular os processos que ocorrem são os mesmos.

O químico de laboratório, ao produzir uma nova molécula de interesse comercial, estuda as reações, as quantidades de reagentes e as condições necessárias para se produzir uma pequena quantidade da substância desejada. Posteriormente, o engenheiro químico industrial procura dimensionar o maquinário para obter as mesmas reações em grande escala.

Este dimensionamento depende de vários fatores que envolvem desde a disponibilidade de equipamentos adequados até a análise de viabilidade técnica e econômica da produção em grande escala.

Pode-se citar como principais fatores a serem analisados:

- A disponibilidade de matérias-primas em quantidade suficiente e a baixo custo.
- As condições físico-químicas necessárias para se obter uma boa taxa de conversão das matérias-primas em produto final.
- Se há a possibilidade de a reação escolhida gerar um produto final altamente puro ou, em caso contrário, se a purificação necessária é economicamente viável.
- Parâmetros que influenciam na cinética química de modo a minimizar o tempo de reação necessário.
- A possibilidade de minimizar solventes de modo a reduzir o tamanho dos reatores e evitar os desperdício de matéria-prima diluída desnecessariamente.
- Se são gerados subprodutos indesejáveis e com toxicidade mínima de modo a não encarecer

demasiadamente o maquinário por conta de tratamentos posteriores.

- Se os subprodutos e a matéria-prima são pouco ou muito corrosivos para o maquinário.
- Se o tratamento de efluentes sólidos, líquidos ou gasosos não encarece demasiadamente o processo.

## Planejamento de linha e balanço de massas

O planejamento da linha de produção pode começar com um diagrama em blocos representativo das etapas do processo, onde são indicados os balanços de massa de cada etapa de reação.

As linhas que interligam os blocos representam o transporte de substâncias de uma etapa produtiva para outra.

O balanço de massas consiste na determinação das quantidades de cada elemento químico que entram e saem de uma etapa específica de produção. Como a matéria não se cria, mas se transforma, o que sai deve ser equivalente ao que entra. Ou em outras palavras, o número de átomos dentro de uma determinada etapa produtiva não sofre aumento nem redução. A parte da química que cuida desses cálculos é a estequiometria.

Podemos representar esta afirmação da seguinte forma:

$$R_{\text{Total}} = R_1 + R_2 = R_3 + R_4$$

Sendo

$R_1$  – quantidade de reagente necessária para se obter a reação desejada

$R_2$  – quantidade de reagente excedente

$R_3$  – quantidade de reagente efetivamente convertida em produto final

$R_4$  – quantidade de reagente que não é convertida em produto final

$R_{\text{total}}$  – quantidade total de reagente antes e depois da reação

Eis algumas propriedades importantes:

- $R_3 \leq R_1$
- Do ponto de vista estequiométrico, o reagente em menor quantidade em relação aos outros é chamado reagente limitante. Este pode ser usado para estimar

o grau de conversão em matéria final, usando-se para isso o quociente:  $R_3 / R_{total}$

- Para um reagente limitante, se temos  $R_2 = 0$ , então  $R_3 / R_{total} = R_3 / R_1$
- O grau de conversão em relação a um reagente não limitante é dado por:  $R_3 / R_{total}$
- A proporção de reagente que não foi convertida em produto final é dada por:  $R_4 / R_{total}$
- Porcentagem de excesso é calculada como a razão entre  $R_2$  e  $R_1$ , ou seja:  $R_2 / R_1$

### Balanço de energias

O balanço de energias consiste em se determinar a quantidade necessária de energia a se fornecer ou a se retirar de cada etapa de processo ao longo de uma linha de produção.

Em processos que envolvam operações físicas de mudança de estado e reações químicas, a lei básica de conservação de energia se aplica. Porém em vários casos haverá dissipação de energia (muitas vezes na forma de calor) ou absorção de energia em forma de luz, calor ou eletricidade.

No entanto, a soma total de energias que entra e sai do sistema permanece em equilíbrio. Tal conservação de energias é caracterizada pelas chamadas variáveis de estado, que podem ser monitoradas por meio de sensores adequados. São elas: temperatura, pressão, volume, nº de moléculas de cada reagente.

Se uma ou mais dessas variáveis sofrer alguma alteração, todo o sistema será afetado. Dessa forma pode-se medir o nível de energia do sistema por meio de sua temperatura que corresponde à energia cinética acumulada nas moléculas dos reagentes.

Quando se quer retirar energia do sistema usam-se arrefecedores e quando se quer introduzir energia no sistema usamos aquecedores ou fontes de luz ou energia elétrica.



## Quinta Aula

Nessa aula serão apresentadas aos jovens as características básicas dos fluidos, como base para entendimento dos princípios de funcionamento das bombas.



### Passo 1 / Aula Teórica



50 min

## Características dos fluidos

Na indústria química e de processos podemos encontrar uma grande variedade de materiais que precisam ser transportados de um local para outro de modo a alimentar os sistemas de produção. Tais materiais podem ser encontrados nos mais diversos estados, indo desde estados semi-sólidos até fluidos gasosos.

Para cada um desses estados há características físicas peculiares que precisam ser tratadas de maneira adequada de modo a não comprometer as propriedades do material, pois isso implicaria o comprometimento de todo o processo produtivo.

Materiais em estado sólido muitas vezes podem ser transportados por meio de esteiras e contêineres, mas no caso de substâncias pastosas, líquidas ou gasosas o modo usual de transporte é por meio de tubulações apropriadas.

Para mover tais substâncias através das tubulações é necessário criar uma diferença de pressão entre dois pontos distintos de modo que surja uma força que impulsionará o conteúdo através da tubulação. Um dos fatores mais importantes neste contexto é a viscosidade da substância que está sendo impulsionada, pois quanto menor o índice de **viscosidade** mais fluida será a substância e, em contrapartida, quanto maior este índice, mais pastosa ela tenderá a ser.

Duas formas de se gerar a pressão necessária são por gravidade e por bombeamento. Para materiais líquidos, que fluem com mais facilidade, consegue-se o efeito de gravidade dispendo-se os reservatórios em pontos mais elevados do que a tubulação. No entanto, quando a tubulação é muito longa ou oferece grande restrição ao fluxo, só a gravidade não será suficiente para mover a matéria com a vazão necessária. Nestes casos usamos as bombas.



#### Viscosidade

É a propriedade dos fluidos originada pelo atrito interno entre suas moléculas, que é surge devido às forças de coesão entre as mesmas. Quanto maior a viscosidade, menor a velocidade em que o fluido se movimenta.

As bombas também são usadas para impulsionar substâncias pastosas ao longo da tubulação, e quando tais substâncias estão no estado gasoso, como é o caso do vapor de água usado em alguns processos, usamos compressores.

### Pressão, vazão e viscosidade

Quando se impulsiona fluidos ao longo de uma tubulação, uma das variáveis mais importantes para o dimensionamento de projetos é a pressão que atuará nos circuitos.

A pressão é igual à força dividida pela área onde esta força atua. Para determinarmos a relação entre essas três grandezas usamos a seguinte fórmula:

$$\text{Pressão} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}}$$

Onde :

- Pressão é dada em Kgf/cm<sup>2</sup>
- Força é dada em Kgf
- Área é dada em cm<sup>2</sup>

Dessa relação também podemos tirar a seguinte conclusão: **a força é proporcional à pressão e à área**, ou seja:

$$\text{Força} = \text{Pressão} \times \text{Área}$$

Por exemplo, suponhamos que uma tubulação está recebendo vapor de água a uma pressão de 5Kgf/cm<sup>2</sup> e que a área de sua secção transversal é de 2 cm<sup>2</sup>. Neste caso então teremos que:

$$\text{Força} = 5\text{Kgf/cm}^2 \times 2 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Força} = 10 \text{ Kgf}$$

Países diferentes podem usar unidades de medida diferentes para a pressão. A tabela a seguir mostra os fatores de conversão para unidades de pressão:

1 atm	1,0333 kgf/cm <sup>2</sup>	1 bar	0,9867 atm
1 atm	1,0134 bar	1 bar	1,0196 kgf/cm <sup>2</sup>
1 atm	14,697 psi (lbf/pol <sup>2</sup> )	1 bar	14,503 psi (lbf/pol <sup>2</sup> )
1 atm	760 mmHg	1 bar	759 mmHg
1 kgf/cm <sup>2</sup>	0,9677 atm	1 psi	0,0680 atm
1 kgf/cm <sup>2</sup>	0,9807 bar	1 psi	0,0703 kgf/cm <sup>2</sup>
1 kgf/cm <sup>2</sup>	14,223 psi (lbf/pol <sup>2</sup> )	1 psi	0,0689 bar
1 kgf/cm <sup>2</sup>	736 mmHg	1 psi	51,719 mmHg

Tabela 1.

Outra grandeza importante, tanto em circuitos pneumáticos quanto em hidráulicos, é a velocidade do fluido, e está diretamente relacionada à vazão do sistema. A fórmula a seguir nos permite determinar a velocidade com base na vazão e na área da secção transversal da tubulação. Note que a velocidade é inversamente proporcional à área, ou seja, quanto menor for o diâmetro da tubulação maior será a velocidade do fluido e vice-versa:

$$Velocidade = \frac{Vazão}{Área}$$

Onde :

- Velocidade é dada em dm/min
- Vazão é dada em litro/min (ou dm<sup>3</sup>/min)
- Área é dada em dm<sup>2</sup>

Uma 3ª grandeza importante a se considerar é a viscosidade, que pode ser definida como a medida da resistência de um fluido ao deslocamento sobre si mesmo. É geralmente percebida como a "grossura", ou resistência ao escoamento. Está diretamente relacionada a um coeficiente interno de atrito entre as várias camadas que compõem um fluido.

Seu valor não tem relação direta com a densidade, pois fluidos diferentes com a mesma densidade não têm necessariamente a mesma viscosidade. No entanto, ela sofre forte alteração quando a temperatura aumenta ou diminui.

Fluidos com menor densidade tendem a se deslocar com mais facilidade ao longo das tubulações.

## Sexta Aula



Nessa aula serão apresentadas aos jovens as características, aplicações e princípios de funcionamento das bombas. Serão discutidos também os cuidados na aplicação e operação das mesmas.



Passo 1 / Aula Teórica



40 min

### Descrição dos equipamentos

Bomba é um equipamento que é responsável por gerar uma diferença de pressão em um sistema de tubulação com o objetivo de provocar o movimento de um líquido ou fluido numa determinada direção.

Em diversos casos, os sistemas de produção são compostos por tubulações que interligam reservatórios ou estações de processamento que estão em alturas diferentes, e o fluido não teria “força” para ser deslocado de um reservatório para outro, somente pela ação da gravidade. A bomba é responsável por dar esta mãozinha, gerando a diferença de pressão que assegura o deslocamento do fluido.

A produção de fluido pressurizado é feita por meio de bombas ou compressores que fazem a admissão do fluido a partir de um tanque ou reservatório e o impulsionam pela tubulação com uma determinada pressão e velocidade. A bomba é o componente básico de qualquer sistema hidráulico, enquanto o compressor lida com fluidos gasosos. Eles são responsáveis por produzir o fluido sob pressão que será usado para alimentar reatores e trocadores de calor. O fluido que entra na bomba é empurrado por um sistema de cilindros, parafusos ou palhetas por meio de um sistema de tubos onde será direcionado para os mais diversos fins.

A figura a seguir ilustra o princípio de funcionamento de uma bomba do tipo parafuso:

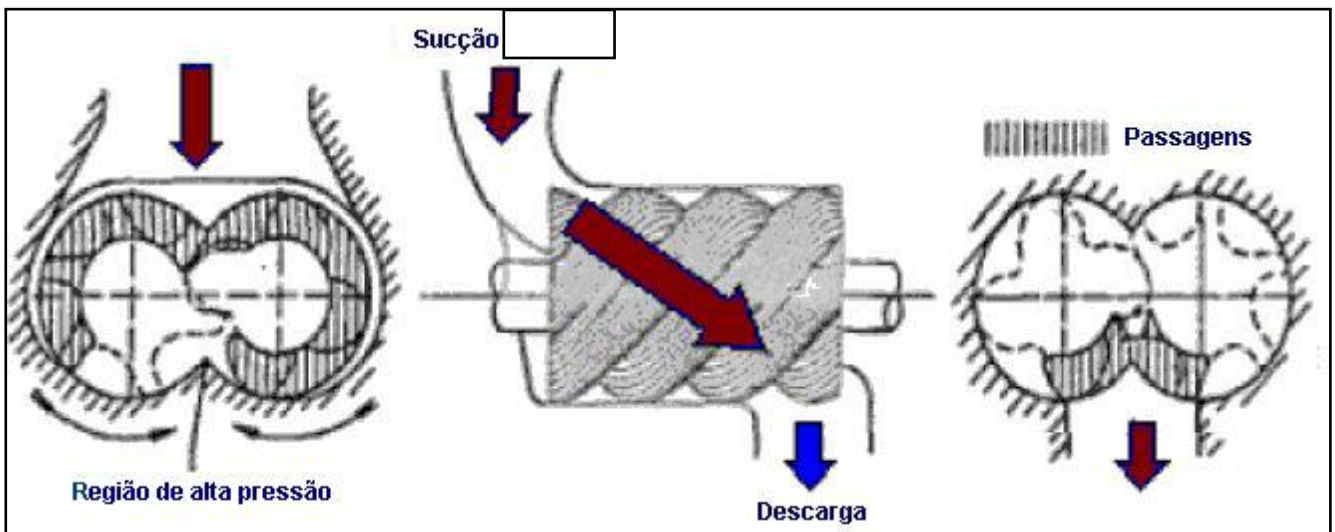


Fig.4 - Bomba tipo parafuso.

A capacidade de vazão de uma bomba é escolhida de acordo com o tamanho do circuito que ela deverá alimentar. A pressão deve ser uniforme ao longo de toda a linha. O fluido que sai da bomba passa por um sistema que regula sua pressão de acordo com as necessidades da linha de distribuição e elementos de controle.

Os símbolos utilizados para representar uma bomba em um sistema, de acordo com a sua característica, são os seguintes:

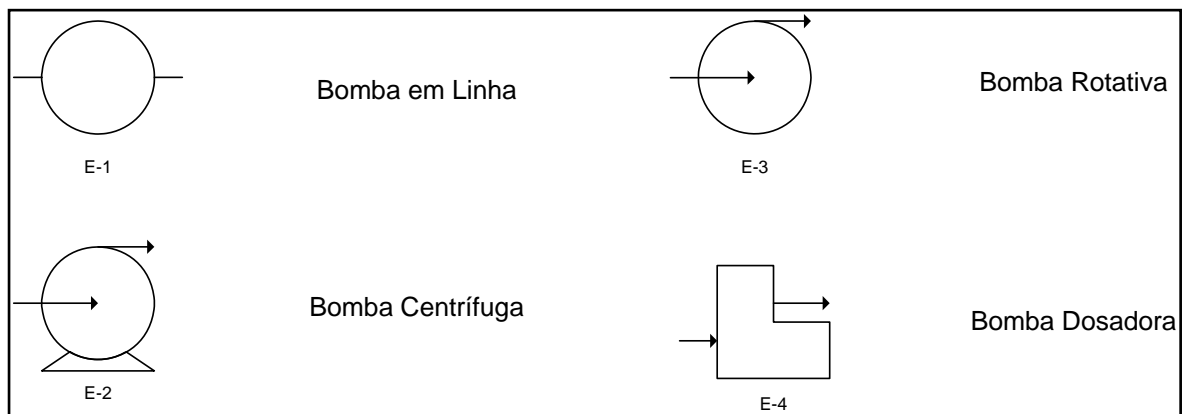


Fig.5 – Simbologia para bombas.

Como pode-se observar, há muitos tipos de bombas e conforme sua maneira de funcionar elas podem ser classificadas como:

- **Em linha** – Que possui as saídas dispostas em linha e a colocação dos tubos de pressão é seqüencial.
- **Rotativas** – Que podem usar princípio de engrenagens ou fusos para impulsionar o fluido.
- **Centrífugas** – Que têm umas palhetas que giram, impulsionando o fluido.

- **Dosadoras ou volumétricas** – Que usam um pistão para encher e esvaziar, alternadamente, um recipiente.

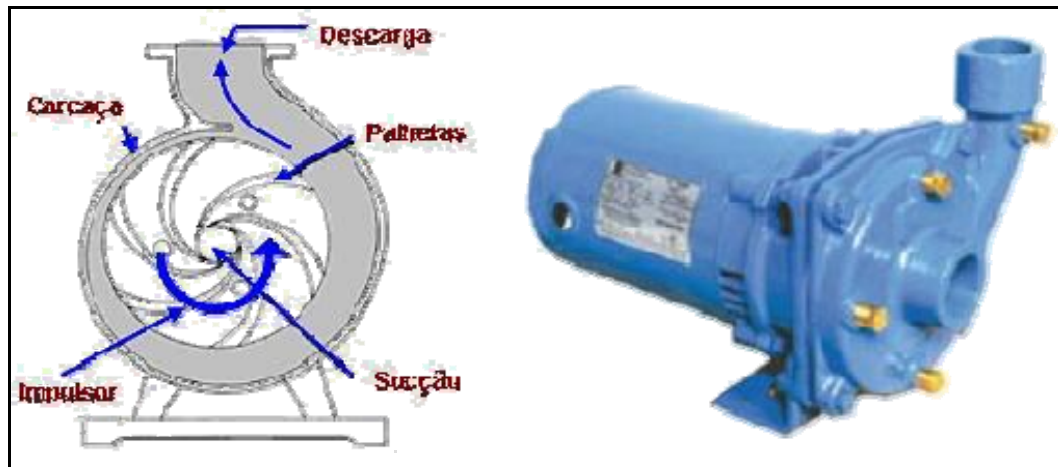


Fig. 6 - Exemplo de bomba tipo centrífuga.

## Sétima Aula



Nessa aula serão discutidos os principais cuidados na aplicação e operação das bombas.



Passo 1 / Aula Teórica



40 min

### Principais cuidados na operação das bombas

Por serem equipamentos mecânicos, as bombas estão sujeitas a problemas operacionais que podem variar desde uma simples redução de vazão até uma falha generalizada ou colapso total. Ainda que tenha sido bem projetada, instalada e operada corretamente, não se pode evitar os desgastes físicos e mecânicos que ocorrem com o passar do tempo.

Tais problemas podem se originar de imperfeições no acoplamento e alinhamento entre motor e bomba, lubrificação malfeita, insuficiente ou com fluido de má qualidade, localização e instalação inadequada do equipamento, mal dimensionamento das tubulações de sucção e recalque, etc.

Nas fases iniciais da operação de bombeamento também podem ocorrer situações às quais devemos ficar atentos,



### **Cavitação**

Fenômeno de vaporização de um líquido pela redução da pressão, durante seu movimento a uma temperatura constante.

### **Contaminação**

Introdução no meio ambiente de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou outros elementos, em concentrações que possam afetar a saúde humana. É um caso particular de poluição.

tais como: entradas indevidas de ar, sentido incorreto de rotação do rotor e entrada de sólidos no interior da bomba que podem danificar as partes móveis e causar vazamentos ou o travamento da bomba.

Um cuidado especial na aplicação de bombas em sistemas é evitar que ocorra um fenômeno denominado **cavitação**. A cavitação é decorrente da evaporação do fluido quando este é acelerado, o que ocorre na operação da bomba. Esta evaporação gera bolhas de ar diminuindo a lubrificação na superfície interna da bomba, o que desgasta as partes mecânicas móveis. A manutenção das bombas exige uma atenção especial a este fato.

Os principais requisitos para que uma bomba funcione corretamente e tenha um desempenho satisfatório são: a correta instalação da mesma, procedimentos de operação cuidadosa e uma manutenção adequada.

Mas mesmo tomando-se estes cuidados com a operação e manutenção, problemas de falhas no sistema de bombeamento podem surgir eventualmente, tais como a incapacidade para produzir a vazão ou a pressão desejada ao longo da linha. Esta é uma das causas mais freqüentes de substituição das bombas.

Por outro lado, ainda que a bomba não apresente nenhuma perda de fluxo, ou carga, é possível que seja considerada defeituosa por outras razões tais como:

- falhas no acionamento (motor ou turbina);
- problemas de vedação e vazamentos na carcaça;
- falha de lubrificação;
- refrigeração insuficiente;
- **contaminação** por óleo ou outras impurezas;
- ruído anormal e/ou vibração elevada, etc.

A lista de sintomas acima não é completa e os mesmos podem surgir combinados. Muitas vezes, apesar de os sintomas serem diferentes, a causa do problema em si pode não ser a mesma.

O mais recomendado é que quando os primeiros sintomas de um problema aparecerem, para proteger a bomba de defeitos permanentes, as ações de manutenção preventiva deverão ser intensificadas. Em situações como esta, o passo mais importante é descobrir se houve alguma falha mecânica da bomba, se a deficiência é do processo, ou ambos.

## Ações de manutenção preventiva

Um bom plano de manutenção preventiva contempla inspeções diárias, mensais, semestrais e anuais, em todas as instalações mecânicas e eletromecânicas. Apesar de tal acompanhamento sistemático não garantir que situações emergenciais deixarão de acontecer, ainda assim é capaz de torná-las mais raras.

A seguir estão enumeradas algumas ações a serem tomadas de acordo com período específico de manutenção:

- **Verificações diárias** – Oscilações na rede elétrica do acionamento da bomba, temperatura de mancais e rolamentos, ocorrência de vibração e ruídos estranhos. Tais sintomas podem indicar a necessidade imediata de ações corretivas.
- **Verificações mensais** – Alinhamento do conjunto motor-bomba, lubrificação das **gaxetas**, temperatura dos mancais e correção do nível de óleo lubrificante, caso necessário.
- **Verificações semestrais** – Substituir gaxetas e buchas de acordo com o nível de desgaste, verificar o estado do eixo e examinar o alinhamento e nivelamento do conjunto motor-bomba, verificar as tubulações de sucção ou de recalque e medir as pressões na entrada e na saída das bombas.
- **Verificações anuais** – Revisão geral de todas as partes móveis e giratórias do conjunto motor-bomba, medição do espaçamento entre anéis, medição da folga de acoplamento, trocar o óleo e relubrificar os mancais.



### Gaxeta

Junta de material compressível para ser colocada entre duas superfícies metálicas, a fim de vedar a junção contra vazamento de gases ou de líquidos.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a pensar e identificar os diversos tipos de bombas com que se deparam diariamente e também identificar as características discutidas nessa aula.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a lembrar dos processos do dia-a-dia e onde se encontram os equipamentos discutidos nessa aula. Muitos dos processos do dia-a-dia correspondem a processos que se encontram nos sistemas de produção mais complexos.



## Oitava Aula

Nessa aula serão apresentadas aos jovens as características, aplicações e princípios de funcionamento das válvulas.



### Passo 1 / Aula Teórica



40 min

## Válvulas industriais

Para controlarmos a movimentação de substâncias ao longo da tubulação, bem como para restringir e dosar quantidades de material, usamos as válvulas.

Válvulas podem ser dispositivos mecânicos, eletromecânicos ou eletrônicos que regulam o fluxo de gases, pastas, líquidos ou fluidos em geral, abrindo, fechando, regulando ou parcialmente obstruindo a passagem em uma tubulação.

As válvulas são usadas em uma variedade de aplicações científicas, industriais, militares, comerciais, e residenciais.

No grupo das válvulas industriais podemos distinguir os seguintes tipos de válvulas: válvula de gaveta, válvula de globo, válvula de retenção, válvula de segurança, válvula de alívio, válvula de controle, válvula tudo-nada, válvula de amostra, válvula de agulha, e válvula de esfera.

Os símbolos utilizados para representar válvulas em um sistema, de acordo com as suas características, são os seguintes:

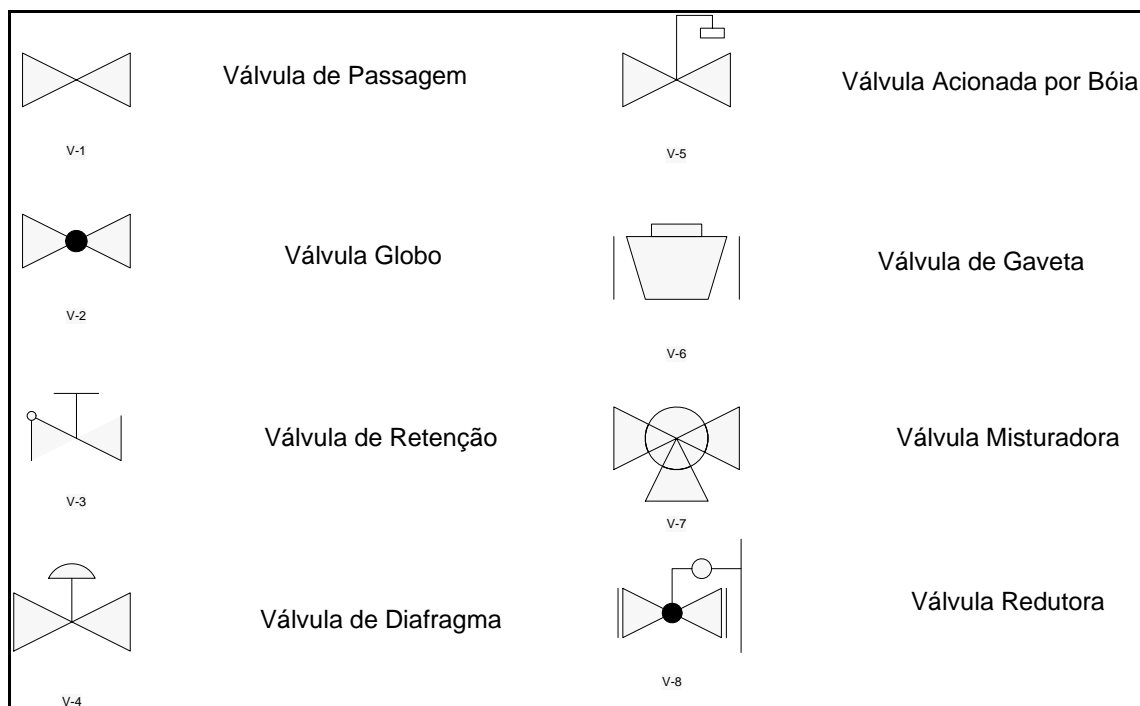


Fig. 7 – Simbologia para válvulas.

## Tipos de válvulas industriais

Como citado acima há vários tipos de válvulas. A seguir estão descritas as características básicas de algumas delas.

- **Válvula de passagem** – Usada para controlar a passagem de líquidos e fluidos, geralmente tem o diâmetro similar ao da tubulação onde está instalada, de modo a evitar gargalos.
- **Válvula globo** – Sua função é controlar a passagem do fluxo. Pode trabalhar não apenas em posição aberta e fechada, como em qualquer posição intermediária de fechamento e funciona tanto com gases quanto com líquidos.
- **Válvula de retenção** – São instaladas visando a proteger as instalações hidráulicas do refluxo de fluido, sobretudo líquidos quando da paralisação das bombas. Permitem que o fluido passe em somente uma direção bloqueando-o no sentido contrário.
- **Válvula de diafragma** – O acionamento da válvula é feito por meio de um diafragma que se movimenta de acordo com a passagem de fluido.
- **Válvula de gaveta** – É o tipo de válvula mais importante e de uso mais generalizado. Sua função basicamente é bloquear líquidos por completo. O bloqueio do líquido é feito lentamente, de modo a

evitar os efeitos indesejáveis de uma paralisação repentina.

- **Válvula acionada por bóia** – Usada principalmente para controle de nível em tanques e reservatórios.
- **Válvula misturadora** – Usada na alimentação de reatores e misturadores.
- **Válvula redutora** – Usada para controlar a pressão da linha e ao longo da tubulação.

Procure relacionar o funcionamento de uma válvula com o de uma torneira, o que facilita enormemente o entendimento dos jovens, por ser a torneira um dispositivo de acesso diário e de intuitivo entendimento. É interessante mostrar como funciona internamente a abertura e fechamento da torneira, para que seja entendido o controle analógico do fluxo.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a pensar e identificar os diversos tipos de válvulas com que se deparam diariamente e também identificar as características discutidas nessa aula.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a lembrar dos processos do dia-a-dia e onde se encontram os equipamentos discutidos nessa aula. Muitos dos processos do dia-a-dia correspondem a processos que se encontram nos sistemas de produção mais complexos.



## Nona Aula

Nessa aula serão discutidos os cuidados na aplicação e operação das válvulas.



## Principais cuidados na operação dos equipamentos

O dimensionamento é baseado nas condições mínimas, médias e extremas do processo e tem como objetivo principal aprimorar a *performance* de funcionamento das válvulas de controle. Busca-se com isso também uma redução de custos de produção devido à ocorrência de menos perdas.

Usando-se *software* de dimensionamento adequado é possível realizar simulações com base na engenharia de aplicação para avaliação das condições do processo como um todo e não apenas da válvula como um equipamento isolado.

Exemplos de dados de processo que podem ser simulados incluem a determinação do diâmetro da tubulação, avaliação dos materiais da válvula, quanto a resistência mecânica e corrosiva, tipo de fluido, temperatura, vazão, pressão, etc.

Na aplicação de **válvulas** é muito importante que a sua operação seja monitorada para que sejam evitados desgastes das partes mecânicas, que podem gerar fluxo indevido do fluido, caso uma das partes se desgaste e não se movimente aumentando ou diminuindo a abertura indevidamente.

Outro cuidado especial no uso destes dispositivos é verificar se não existem resíduos que podem se depositar nas aberturas das válvulas e com isso interromper totalmente ou parcialmente o fluxo, inutilizando o controle feito pelo dispositivo.

As válvulas são elementos essenciais no controle da vazão dos fluidos e na dosagem adequada de matérias-primas e devem ter seu funcionamento supervisionado constantemente.

Algumas válvulas dentro do sistema podem assumir papel mais crítico do que outras. As válvulas de controle menos críticas podem ser submetidas a inspeções meramente visuais e a testes de *performance off-line*, visando à manutenção preventiva. Por meio de testes e diagnósticos apropriados é possível se avaliar a condição de operação de válvulas de controle. A calibração dos controles de acionamento é efetuada a fim de se assegurar o melhor desempenho possível e a precisão do sistema de controle das válvulas.

Já as válvulas de controle mais críticas precisam ser submetidas a testes rigorosos de modo a averiguar sua plena confiabilidade. Alguns dos testes mais importantes estão enumerados a seguir:

- Existência de cavitação e ruído
- Vibração
- Vazamentos diversos
- Estado físico das conexões elétricas
- Estado físico das partes móveis mecânicas
- Corrosão externa
- Ângulo ou porcentual de abertura

Em caso de válvulas com acionamento por solenóide, antes de instalar a válvula é importante verificar se os dados contidos na placa de identificação, tais como pressão, conexão, temperatura, fluido, voltagem e frequência, atendem à aplicação.

Instale na tubulação de acordo com a conexão indicada na válvula, respeitando marcação de (in) na entrada e (out) na saída.

Utilizar fita veda-rosca, aplicando-a somente na rosca macho, no sentido de rotação da mesma, mas tomando-se o cuidado de evitar que fragmentos entrem na válvula, pois podem ocasionar mau funcionamento.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a pensar e a identificar os diversos tipos de válvulas com que se deparam diariamente, e também a identificar os tipos de problemas mais encontrados freqüentemente.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a lembrar dos processos do dia-a-dia e onde se encontram os equipamentos discutidos nessa aula. Muitos dos processos do dia-a-dia correspondem a processos que se encontram nos sistemas de produção mais complexos.

# Décima Aula



Nessa aula serão apresentadas aos jovens as características básicas e aplicações dos principais tipos de tubulações.



Passo 1 / Aula Teórica



40 min

## Tubulações

Para levar as substâncias não sólidas de um lugar a outro da planta produtiva usamos tubulações apropriadas, com características construtivas e acabamento interno e externo específicos para o tipo de material a ser transportado.

Tubulações correspondem aos conjuntos de dutos, tubos, canais de passagem dos fluidos que interligam os diversos processos unitários de um sistema de produção. É pelos dutos que escoam os fluidos que fazem parte do processo produtivo.

Estes elementos não apresentam simbologia especial, sendo representados por linhas, onde a “grossura” do traçado simboliza o diâmetro do duto que deve ser expresso no diagrama do processo.

Alguns diagramas de processos utilizam código de cores para indicar o tipo de fluido que escoar pelo duto, como exemplo temos amarelo para gás e verde para água.

Dependendo do tipo de indústria (química, farmacêutica, alimentícia, petrolífera, etc.) o custo das tubulações pode representar 70% do custo dos equipamentos ou até mesmo 25% do custo total da instalação.

Podemos classificar as tubulações da seguinte forma:

### Usadas dentro de instalações industriais

- Tubulações de processo
- Tubulações de drenagem
- Tubulações de utilidades
- Tubulações de instrumentação

### Usadas fora de instalações industriais

- Tubulações de transporte

- Tubulações de distribuição

O tipo de material usado para construir os tubos pode variar enormemente dependendo da aplicação final. Eis alguns exemplos:

- **Metálicos:**

- **Ferrosos** – Aços (carbono, liga, inoxidável) e ferros em geral (forjado, fundido, nodular).
- **Não-ferrosos** – Cobre, latão, níquel e ligas, chumbo, titânio, etc.

- **Não metálicos:**

- **Materiais plásticos** – PVC (cloreto de polivinil), acrílicos, epóxi, poliésteres, etc.
- **Outros materiais** – Cimento-amianto, barro vidrado, borracha, vidro, cerâmica, etc.

Há vários fatores a serem considerados na hora da escolha do tipo adequado de tubulação, o que torna o processo de decisão um tanto complicado. Dentre tais fatores podemos destacar os mais comuns:

- **Tipo de fluido conduzido** – pH; velocidade; toxidez; resistência à corrosão.
- **Condições de trabalho** – Temperatura e pressão de serviço.
- **Nível de tensões do material transportado** – Pressão do fluido, pesos, reações de dilatações térmicas.
- **Esforços mecânicos** – Tração; compressão; flexão.
- **Sistema de ligações** – De acordo com o tipo de material e o tipo de montagem.
- **Custo dos materiais** – Tempo de vida e os conseqüentes custos de reposição ou paralisação do sistema.
- **Segurança** – Resistência mecânica e o tempo de vida.

A escolha dos materiais das tubulações é uma das etapas mais importantes no processo de construção da rede e envolve três passos básicos.

- a Identificar os materiais disponíveis na prática e suas limitações físicas e de fabricação.
- b Escolher o grupo mais adequado para o caso tendo em vista as condições de trabalho, corrosão, nível de tensão, etc.



**pH**

É uma grandeza físico-química que mede o “potencial hidrogeniônico” de uma substância, ou em outras palavras, é um índice que indica o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da mesma.

- c Comparar economicamente os diversos materiais selecionados, levando em conta todos os fatores de custo.

Na comparação de custos dos materiais devem ainda ser levados em consideração os seguintes fatores:

- Resistência à corrosão
- Maior ou menor dificuldade de solda
- Maior ou menor facilidade de conformação e de trabalho
- Necessidade ou não de alívio de tensões



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a pensar e identificar os diversos tipos de tubulações com que se deparam diariamente e também identificar os tipos de problemas mais encontrados freqüentemente.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a lembrar dos processos do dia-a-dia e onde se encontram os equipamentos discutidos nessa aula. Muitos dos processos do dia-a-dia correspondem a processos que se encontram nos sistemas de produção mais complexos.

## Décima Primeira Aula



Nessa aula serão apresentadas aos jovens as características e aplicações dos principais tipos de tubulações. Serão discutidos também os cuidados na aplicação e operação das mesmas.



## Principais cuidados na operação dos equipamentos

No uso de **tubulações** o cuidado principal é o de selecionar dutos com diâmetro adequado ao fluxo e a densidade do fluido em deslocamento, para evitar desgaste dos outros equipamentos. É importante também verificar as características do revestimento interno do duto, parte da tubulação que tem contato com o fluido, que não pode se desgastar com este contato e nem sofrer corrosão. O desgaste da tubulação pode gerar resíduos que se deslocarão até outros equipamentos e atrapalhar o funcionamento correto dos mesmos.



São adotadas as cores fundamentais estabelecidas na NBR 6493 (norma brasileira) na identificação das tubulações. O emprego das cores fundamentais de identificação deve ser feito conforme estabelecido na tabela a seguir:

São adotadas as cores fundamentais estabelecidas na NBR 6493 (norma brasileira) na identificação das tubulações. O emprego das cores fundamentais de identificação deve ser feito conforme estabelecido na tabela a seguir:

CONTEÚDO DAS TUBULAÇÕES	CORES
Ácidos	Alaranjado
Água	Verde
Álcalis	Lilás
Ar Comprimido	Azul
Combustíveis de alta viscosidade	Preto
Combustíveis de média viscosidade	Creme
Eletrodutos	Cinza Escuro
Gases liquefeitos, inflamáveis e combustíveis de baixa viscosidade	Alumínio
Gases não liquefeitos	Amarelo
Sistemas de lubrificação e sistemas de óleos	Marrom
Sistemas de combate a incêndio	Vermelho
Vácuo	Cinza-claro
Vapor	Branco

Tabela 2 – Código de cores para tubulações.

Boa parte das ações de manutenção em tubulações industriais se resume ao controle e monitoração de vazamentos e da integridade física dos materiais.

É importante lembrar que a escolha adequada das características da tubulação de acordo com o tipo de produto que será transportado é um fator-chave na prevenção de problemas e prolongamento da vida útil do sistema.

Sobretudo no que diz respeito às junções e emendas, é imprescindível que haja o devido cuidado na vedação. Testes periódicos de ultra-som para verificar e localizar microfissuras também fazem parte das rotinas preventivas.

Os principais fatores de desgaste estão relacionados à acidez das substâncias transportadas, à pressão interna nas paredes das tubulações e de emendas, à viscosidade e principalmente às temperaturas atingidas pelos fluidos que estão sendo transportados.

A vibração ocasionada por má fixação também deve ser levada em conta por causar a fadiga do material com o tempo.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a pensar e identificar os diversos tipos de problemas e rotina de manutenção com que se deparam diariamente e também identificar as características discutidas nessa aula.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a lembrar dos processos do dia-a-dia e onde se encontram os equipamentos discutidos nessa aula. Muitos dos processos do dia-a-dia correspondem a processos que se encontram nos sistemas de produção mais complexos.



## Décima Segunda Aula

Nessa aula serão apresentados aos jovens as características, aplicações e princípios de funcionamento dos componentes de uma planta de produção contínua denominados caldeiras. Serão discutidos também os cuidados na aplicação e operação.



### Passo 1 / Aula Teórica



40 min

### O papel do vapor de água

No ambiente industrial o vapor de água tem diversas aplicações e vem sendo usado desde os primórdios da indústria, tanto como meio de geração e transporte de energia quanto como fonte de calor para uma variedade de processos químicos. A água na forma de vapor tem alto grau de energia por unidade de massa e volume.

A indústria de processo químico usa o vapor como principal fonte de aquecimento em reatores químicos, trocadores de calor, evaporadores e secadores, dentre vários outros processos. Vapor saturado tem a grande vantagem de manter uma temperatura constante quando sofre condensação a uma determinada pressão. Dessa forma, a pressão de condensação do vapor saturado controla indiretamente a temperatura dos processos, onde o mesmo é utilizado. Para se produzir vapor em plantas de processos industriais, usa-se um equipamento chamado caldeira.

### Descrição dos equipamentos

A Caldeira consiste de um recipiente metálico cuja função fundamental é produzir vapor por meio do aquecimento da água. As caldeiras, em geral, são empregadas para alimentar máquinas térmicas, equipamentos de esterilização, aquecimento de ambientes ou estruturas. A caldeira pode ser considerada uma grande panela de pressão de cozinha, que tem como princípio fundamental manter um grande volume de fluido em aquecimento a temperatura constante. As caldeiras estão classificadas entre os equipamentos responsáveis por troca de calor.

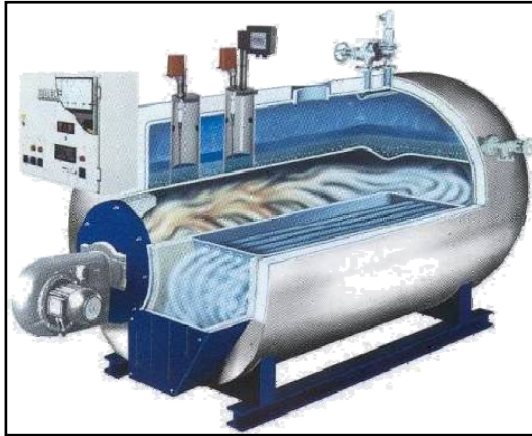


Fig.8 – Vista em corte de uma caldeira industrial.

O símbolo utilizado para representar uma caldeira em um sistema, de acordo com a sua característica, é o seguinte:

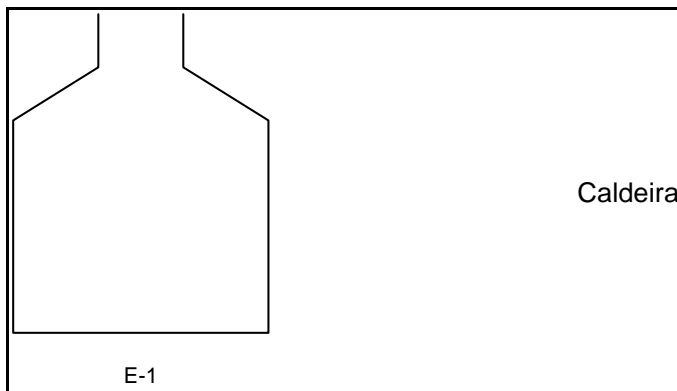


Fig.9 – Simbologia para caldeiras.

Diversos produtos são obtidos por meio de reações químicas, como exemplo citamos o álcool combustível, plásticos, sabões, detergentes, antibióticos, etc.

### Principais cuidados na operação dos equipamentos

A caldeira pela sua característica operacional é um equipamento bastante grande e de operação e manutenção muito complexa. Por ser responsável pelo aquecimento de um grande volume de água, o tempo de aquecimento e resfriamento até uma temperatura ideal é muito grande e implica a parada temporária de um processo inteiro. Assim, uma caldeira deve ser mantida em funcionamento em temperatura ideal a maior parte do tempo, e quando entra em manutenção todo o processo ao qual está conectada também é interrompido.

Os objetivos do aquecimento da água são diversos, destacando-se a criação de vapor para o desenvolvimento de movimentos em partes móveis de outros equipamentos, com moedores e trituradores.

A água aquecida na caldeira também pode ser utilizada para esterilização de materiais diversos. Não é o foco do conteúdo dessa aula, mas a qualidade da água utilizada na caldeira é muito importante.

É necessário remover as impurezas da água antes de submetê-la à caldeira, pois tais impurezas podem causar depósitos ou corrosão nas superfícies internas da mesma. Além disso, a purificação prévia da água permite uma melhor qualidade do vapor produzido, operações mais seguras (confiáveis), maior eficiência e aumento da vida útil.

Se a água utilizada na caldeira estiver impregnada de impurezas, estas impurezas ficam depositadas nos dutos de água internos da caldeira e com o tempo atacam o revestimento dos tubos, fazendo com que mais e mais materiais se soltem e afetem o movimento da água, bloqueando passagens de válvulas, entre outros problemas. Assim, a troca e a manutenção da água em uma caldeira é um dos processos que exigem mais atenção e cuidado.

A qualidade do material de revestimento do reservatório da caldeira é muito importante, também, para que não ocorra troca de calor desnecessária com o meio, causando um baixo rendimento do equipamento.



Educador, caso considere interessante fazer um estudo mais detalhado sobre o princípio de funcionamento de uma caldeira sugerimos o acesso ao endereço eletrônico:  
<http://www.adorofisica.com.br/trabalhos/fis/equipos/maquinasavapor/maquinavapor.html>



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a pensar e identificar no dia-a-dia onde encontramos aplicações para uma caldeira.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a lembrar dos processos do dia-a-dia. Muitos dos processos do dia-a-dia correspondem a processos que se encontram nos sistemas de produção mais complexos.

## Décima Terceira Aula



Nessa aula serão apresentados aos jovens as características, aplicações e princípios de funcionamento dos componentes de uma planta de produção contínua denominados reatores químicos



Passo 1 / Aula Teórica



40 min

### O controle das reações químicas

O **reator químico** é um recipiente controlado em que ocorre transformações da matéria tanto do ponto de vista físico quanto do químico. Em seu interior ocorrem mudanças qualitativas na composição química de uma ou mais substâncias reagentes, resultando em um ou mais produtos finais. Um dos reatores mais utilizados é o reator catalítico, que utiliza um catalisador para controle da reação química em processo.

A figura a seguir ilustra um reator químico em corte, com alguns dos seus componentes em detalhe.



Fig.10 – Vista em corte de um reator químico industrial.

O reator, neste caso, o químico, é um equipamento composto de diversos outros elementos básicos tais como: aquecedor, agitador e condensador, assim a sua

simbologia é mais complexa e normalmente não apresenta um símbolo básico como os outros equipamentos.

Como estudamos em aula anterior, o mecanismo básico pelo qual ocorrem as reações químicas está fundamentado nas colisões entre as moléculas dos reagentes que se quebram e se unem formando novas substâncias.

A velocidade com que isso acontece depende de três fatores fundamentais:

- A frequência dos choques entre as moléculas que é proporcional ao nível de agitação das mesmas.
- A energia com que esses choques acontecem, ou seja, quanto maior a energia melhor a chance de a quebra e a recombinação ocorrerem. A energia mínima para isso acontecer é chamada de energia de ativação.
- A orientação adequada das moléculas no momento do choque que depende também do tamanho e da forma das moléculas.

O papel do reator químico é justamente o de proporcionar o ambiente apropriado com estes três fatores para que a reação ocorra de forma controlada e no menor intervalo de tempo possível.

Há duas formas pelas quais o reator pode conseguir aumentar o grau de agitação das moléculas, uma é pelo aumento da temperatura e a outra é pela agitação dos reagentes. O aumento da temperatura é obtido por meio de troca de calor com vapor de água e a agitação pode ser conseguida por agitadores instalados na base do reator.

A entrada dos reagentes no reator também é controlada de forma a preservar as proporções estequiométricamente calculadas para cada fórmula.

Outro fator que também influencia na velocidade das reações é a pressão dentro do reator que faz com que as moléculas estejam mais concentradas e conseqüentemente se choquem com mais frequência e mais força. Isso é especialmente válido para os reagentes gasosos. Já para os sólidos e os liquefeitos existe a aplicação de solventes e o auxílio dos agitadores mecânicos.

Durantes determinadas reações químicas pode ser liberada energia térmica em forma de calor irradiado, aumentando assim a temperatura do sistema reator. Nestes casos uma torre de refrigeração pode envolver o reator de forma a roubar o calor excedente e dissipá-lo em um irradiador.



## Passo 2 / Exercício



10 min

Demonstrar aos jovens esquemáticos de uma linha de produção identificando os reatores usados no processo. Os jovens devem ser estimulados a pensar e identificar no dia-a-dia onde encontramos aplicações para um reator.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a identificar nos processos do dia-a-dia da empresa, o uso dos reatores químicos e suas peculiaridades de funcionamento.

## Décima Quarta Aula



Nessa aula serão apresentados aos jovens os principais cuidados na aplicação e operação dos reatores químicos.



## Passo 1 / Aula Teórica



40 min

### Principais cuidados na operação dos equipamentos

O **reator químico**, a exemplo da caldeira, é um equipamento de funcionamento bastante complexo e deve ser adequado aos reagentes que serão aplicados e também aos produtos finais que serão gerados. Um dos componentes principais do reator é o seu reservatório, e este deve apresentar um tratamento de revestimento de forma a não sofrer ação de corrosão por parte dos reagentes, que são depositados no reservatório para que por meio de ação externa, como agitação, aquecimento ou outra, permita que ocorra uma reação química entre os reagentes e o resultado final seja um ou mais produtos diferentes dos reagentes originais.

É no reator químico que ocorre uma reação química, como já foi discutido, e em uma reação química os produtos finais são decorrentes dos reagentes de entrada, mas diferentes destes. No caso de um dos produtos finais ser água, o reator apresenta outras partes essenciais, como condensadores, vaporizadores, etc.

A manutenção dos reatores é bastante complexa e normalmente eles são desmontados e cada parte é tratada de forma diferenciada. Os reatores químicos apresentam partes móveis, quando têm como componente um agitador, e toda a manutenção decorrente de elementos com partes móveis deve ser desenvolvida.

A operação do reator químico exigem muito cuidado e atenção para controle da dosagem dos reagentes, normalmente automatizada, e também para o controle dos tempos de cada etapa da operação.



Um reator químico pode ser considerado, para facilitar o entendimento de sua complexidade de operação, uma máquina de lavar roupa moderna, com diversos programas de operação. A máquina de lavar pode lavar: roupa, tênis, toalhas, etc. Como reagentes de entrada temos a água, sabão em pó, amaciante e a roupa suja. A máquina de lavar roupas apresenta um reservatório, um agitador e também dosadores de reagentes. Após um ciclo que ocorre em um determinado período de tempo (nem maior, nem menor) o resultado final é um produto: roupa limpa e subprodutos como água suja e resíduos das sujeiras.

Caso o produto final desejado seja um par de tênis limpos, a dosagem dos reagentes muda e também o tempo de reação. Isto é o mesmo que ocorre na produção de sabão, detergente, combustível e outros.



## Passo 2 / Exercício



10 min

Demonstrar aos jovens as partes componentes de um reator e estimulando-os a identificar suas respectivas funções.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a identificar as partes componentes dos reatores, suas inter-relações e interações.

## Décima Quinta Aula



Nessa aula serão apresentados aos jovens as características, aplicações e princípios de funcionamento dos componentes de uma planta de produção contínua denominados agitador e misturador.



Passo 1 / Aula Teórica



40 min

### Descrição dos equipamentos

O **agitador** é um equipamento utilizado para agitar fluidos dentro de uma tubulação ou reservatório, tal como num reator, já o **misturador** é o equipamento utilizado para misturar, homogeneamente, substâncias ou materiais geralmente imiscíveis ou em suspensão.

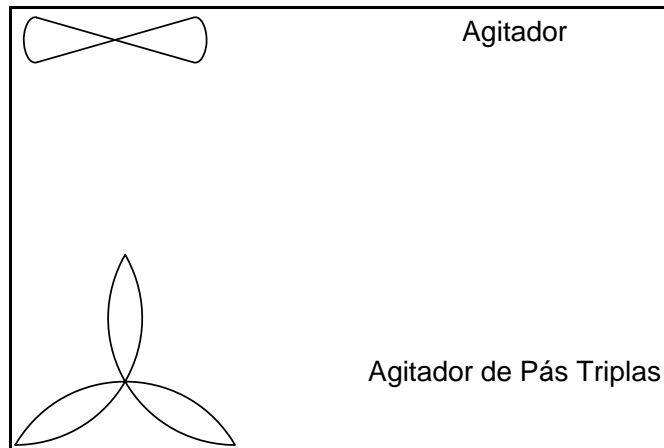
São normalmente constituídos de pás ou hélices confeccionadas com material apropriado e são acionados por motores externos.

Como visto na aula 3 um dos fatores que influenciam na velocidade das reações é o grau de agitação das moléculas combinado com a proximidade entre elas.

Muitos reagentes são imiscíveis entre si o que dificulta em parte uma reação homogênea e duradoura. É neste contexto que entram o misturador e o agitador. O misturador permite alcançar a homogeneidade necessária entre as substâncias reagentes e o agitador evita a sedimentação.

Os símbolos utilizados para representar um **agitador** em um sistema de acordo com a sua característica são os seguintes:

Fig.11 – Simbologia usada para agitadores.



Os símbolos utilizados para representar um **misturador** em um sistema de acordo com a sua característica é o seguinte:

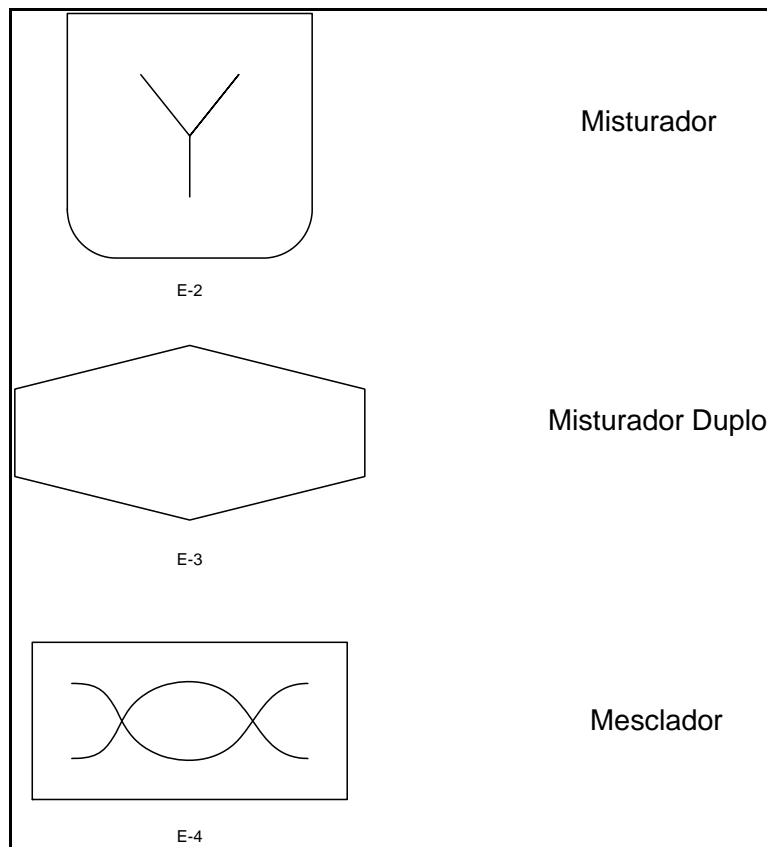


Fig. 12 – Simbologia usada para misturadores.

A seguir está uma figura esquemática de dois modelos de misturador.

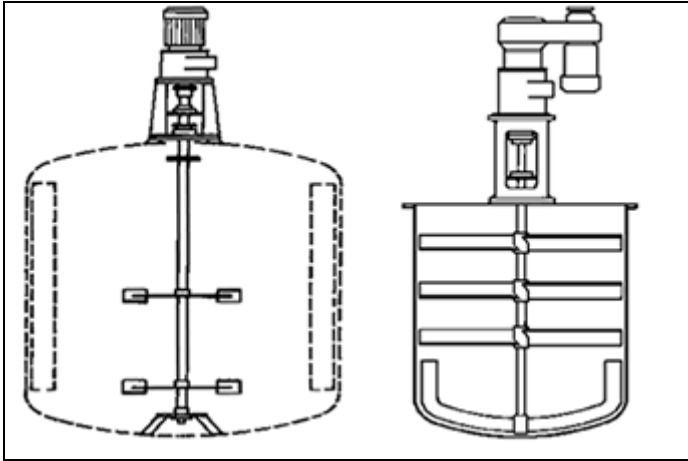


Fig. 13 – Corte esquemático de um misturador.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Demonstre aos jovens as partes componentes de um agitador e ou misturador e estimúlá-los a identificar suas respectivas funções.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a identificar as partes componentes do reatores, suas inter-relações e interações.

## Décima Sexta Aula



Nessa aula serão apresentados aos jovens os principais cuidados na aplicação e operação de agitadores e misturadores.



## Passo 1 / Aula Teórica



40 min

### Principais cuidados na operação dos equipamentos

Os agitadores e misturadores são equipamentos que apresentam partes móveis e que ficam em contato com os reagentes e produtos finais, assim todo o cuidado e atenção com as partes móveis relacionados com a segurança dos operadores, evitando que os mesmos

tenham acesso às partes em movimento, é algo essencial.

O tratamento de revestimento das partes móveis de ambos os equipamentos é muito importante, pois evita que ocorra corrosão no contato do material com os reagentes.

Os agitadores podem ser instalados em qualquer parte do processo, desde o reservatório de reagentes até mesmo nos dutos de transporte dos materiais.

Os misturadores são equipamentos que apresentam reservatórios próprios e os elementos de misturadores com características especiais, conforme o tipo de produto e reagentes envolvidos. O estado físico dos reagentes influencia e muito na determinação do modelo do misturador mais adequado. Normalmente para líquidos são utilizadas pás e para sólidos granulados são utilizadas roscas sem-fim que movimentam os reagentes até que fiquem homogêneos.

A velocidade de rotação é outro fator importante que influencia o resultado final desejado. Altas velocidades podem causar aeração da mistura, e velocidades muito baixas podem não ser suficientes para homogeneizar os reagentes.

O acionamento dos misturadores e agitadores é geralmente feito por motores AC e acoplamento pode ser direto ou indireto via correia lisa para que no caso de um travamento o motor não superaqueça.

**ATENÇÃO!** Nunca introduza a mão em um recipiente onde haja um desses mecanismos. Mesmo em baixa velocidade o torque alcançado pelos mesmos pode ser elevado.



Um exemplo de misturador aplicado na cozinha, no dia-a-dia, é uma batedeira.



Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a identificar, no dia-a-dia, alguns exemplos de agitadores e misturadores. Se possível, demonstre a aplicação de tais equipamentos em seu local usual de aplicação.

**Educador**, para esta atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a lembrar dos processos do dia-a-dia e onde se encontram os equipamentos discutidos nessa aula. Muitos dos processos do dia-a-dia correspondem a processos que se encontram nos sistemas de produção mais complexos.

## Décima Sétima Aula



Nessa aula serão apresentados aos jovens as características, aplicações e princípios de funcionamento dos componentes de uma planta de produção contínua denominados decantador e filtro.



### Passo 1 / Aula Teórica



40 min

## Princípios básicos da decantação, sedimentação e filtragem

A decantação, ou sedimentação, é um processo físico de separação de substâncias de densidades diferentes que compõem uma dada mistura, por meio da ação da força da gravidade ou da pressão atmosférica. Em alguns casos o processo pode ser acelerado por meio de centrifugação.

Vários fatores podem influenciar no modo como a decantação ocorre, dentre os quais os mais importantes são: grau de concentração e forma das partículas (no caso de sistemas heterogêneos baseados em misturas de líquidos e sólidos), densidades das substâncias envolvidas, viscosidade do meio, tipo de mistura, temperatura. Em alguns casos pode-se aumentar a velocidade de sedimentação por meio do aquecimento da mistura, o que faz a viscosidade diminuir e acelera precipitação das partículas.

Pode-se usar a decantação para separar misturas de várias naturezas tais como: areia e água, sólido-gás (poeira-gás), líquido-líquido (água e óleo) e líquido-gás (vapor d'água e ar). Após a decantação as substâncias mais pesadas permanecerão no fundo do reservatório e as mais leves estarão suspensas, de modo que pode-se retirá-las por meio de uma mangueira ou sistema de bombeamento.

Nas indústrias de processos químicos, as etapas de sedimentação podem ser feitas continuamente ou descontinuamente dependendo de cada caso específico. Nos processos contínuos são usados tanques rasos e de grande diâmetro, alimentados pelo centro, de modo que à medida que a mistura vai passando os componentes sólidos ou mais densos vão se depositando no fundo do tanque. Já nos processos descontínuos, também são usados tanques cilíndricos, mas a solução permanece em repouso por um certo tempo.

Os equipamentos usados para desempenhar as funções descritas acima são denominados **tanques de decantação** ou **decantadores**.

Outro processo muito importante é a filtração, que permite separar partículas sólidas muito pequenas de um líquido ou pasta. Neste caso o material é passado por um filtro poroso que pode ser feito de papel, tecido, cerâmica, areia ou outro material. As partículas que forem maiores do que os poros serão retidas no material do filtro, que por essa razão deve ser substituído periodicamente.

Tanto a filtração quanto a decantação podem ocorrer tanto por ação da gravidade quanto por ação de forças externas, caso se queira acelerar o processo.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a identificar, no dia-a-dia da empresa, alguns exemplos de filtros e decantadores. Se possível, demonstre a aplicação de tais elementos em seu local usual de aplicação.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a lembrar dos processos do dia-a-dia e onde se encontram os equipamentos discutidos nessa aula. Muitos dos processos do dia-a-dia correspondem a processos que se encontram nos sistemas de produção mais complexos.

## Décima Oitava Aula



Nessa aula serão apresentadas aos jovens as características e aplicações dos equipamentos decantador e filtro. Serão discutidos também os cuidados na aplicação e operação dos mesmos.



Passo 1 / Aula Teórica



40 min

### Descrição dos equipamentos

O **decantador** é um equipamento responsável por dois processos importantes, por ser um reservatório que permite contato com o meio externo, é no decantador que os produtos ou reagentes reagem com o ar, e além disso, por ser um reservatório sem agitação, ocorre um processo de separação de partículas sólidas do líquido, tendo como força propulsora a ação da gravidade.

O **filtro** é um elemento que deixa passar ou barra um determinado tipo de componente, seja ele um reagente ou produto final. Existem filtros de diversos tipos, que separam por diâmetro da partícula ou molécula, que separam pela viscosidade e até pela polaridade eletrônica das moléculas.

O símbolo utilizado para representar um **decantador** em um sistema de acordo com a sua característica é o seguinte:

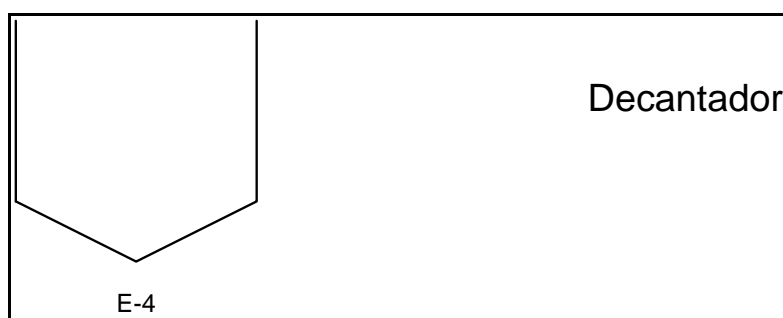


Fig. 14

Os símbolos utilizados para representar um **filtro** em um sistema de acordo com a sua característica são os seguintes:

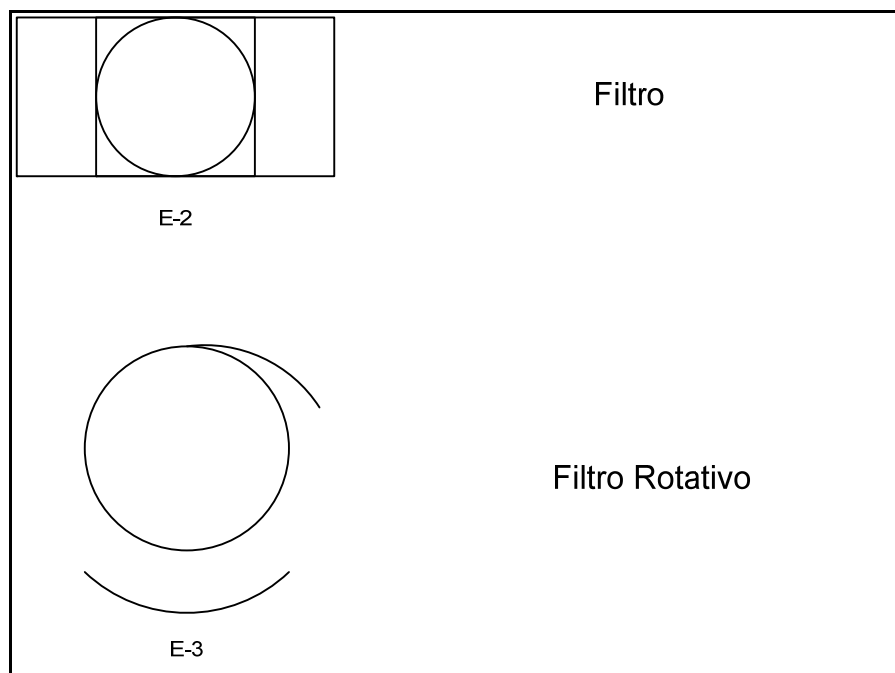


Fig. 15 – Simbologia para filtros.

### Principais cuidados na operação dos equipamentos

Os **filtros**, via de regra, são elementos com vida útil determinada, pois na realização de sua função operacional a parte que tem contato com o fluido acaba se contaminando, ou seja, ficando suja. Os filtros mais básicos apresentam poros, ou furos, com diâmetros determinados e deixam passar apenas partículas menores do que os seus poros. As partículas maiores ficam depositadas e por essa razão de tempos em tempos os filtros devem ser substituídos.

Os **decantadores** são equipamentos considerados do tipo reservatório, com a característica especial de permitir que o fluido tenha contato com o ar e também permaneça um tempo em repouso para que as partículas mais pesadas fiquem depositadas no fundo do reservatório do decantador. A manutenção dos decantadores consiste em limpar ou lavar o fundo do reservatório após o processo de decantação ter sido concluído.

Contaminação ou sujeira permanente no filtro ou no decantador reduz o rendimento destes equipamentos.



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a explicar o funcionamento do filtro de café e do decantador de vinho. Como ilustração dos processos abordados nessa aula. A demonstração de procedimentos usuais de manutenção também é recomendável.

**Educador**, para essa atividade ter sucesso é importante a apresentação de um filtro de café, de pano ou de papel, e de um decantador de vinho, que é uma “jarra” arredondada com boca grande, que garante o maior contato do fluido (no caso vinho) com o ar.

## Décima Nona Aula



Nessa aula serão apresentados aos jovens as características, aplicações e princípios de funcionamento dos componentes de uma planta de produção contínua denominados moedor e peneira. Serão discutidos também os cuidados na aplicação e operação de cada um deles.



## Passo 1 / Aula Teórica



40 min

Na etapa de preparação de materiais para o processamento, ou mesmo em etapas intermediárias, muitas vezes é necessário alterar fisicamente a estrutura de um material para facilitar o escoamento ou a mistura com outras substâncias, mas sem interferir nas suas propriedades químicas.

Dentre tais procedimentos podemos destacar dois principais, um responsável pela redução do material em partículas muito pequenas – a moagem. O outro é responsável por separar partículas de tamanhos diferentes uma das outras – a peneiragem.

### Descrição dos equipamentos

O **moedor** é um dispositivo ou equipamento com a capacidade de transformar grãos maiores em grãos menores, sem que este processo altere as características

químicas dos materiais que passam pelo moedor e sim as suas características físicas, deixando as partículas do material que passa pelos processos menores.



Um moedor de carnes é um exemplo real de um moedor aplicado em processos industriais, entra carne e sai carne moída, mas continua sendo carne com a sua mesma estrutura química e molecular.

Um moedor de carnes é um exemplo real de um moedor aplicado em processos industriais, entra carne e sai carne moída, mas continua sendo carne com a sua mesma estrutura química e molecular.

A **peneira** é um elemento ou equipamento utilizado para separar sólidos constituídos de partículas de dimensões diferentes de um produto ou reagente durante o desenvolvimento de um processo produtivo. Em ambientes industriais, usam-se conjuntos de peneiras superpostas de modo a realizar uma separação progressiva das partículas. As peneiras vibratórias são utilizadas em atividades de separação de minérios, pedras e grãos e podem ser fabricadas em arame **galvanizado**, de aço inoxidável ou de alto teor de carbono.



#### Galvanização

Processo eletrolítico que consiste em revestir superfícies de peças metálicas com outros metais, mais nobres. Este revestimento é feito, geralmente, para proteger a peça da corrosão e/ou como acabamento estético ou decorativo.

A exemplo do moedor, a peneira não afeta as características químicas dos elementos que passam pelo seu processo e sim afeta as características físicas do mesmo.

Os símbolos utilizados para representar um **moedor** em um sistema, de acordo com suas características são os seguintes.

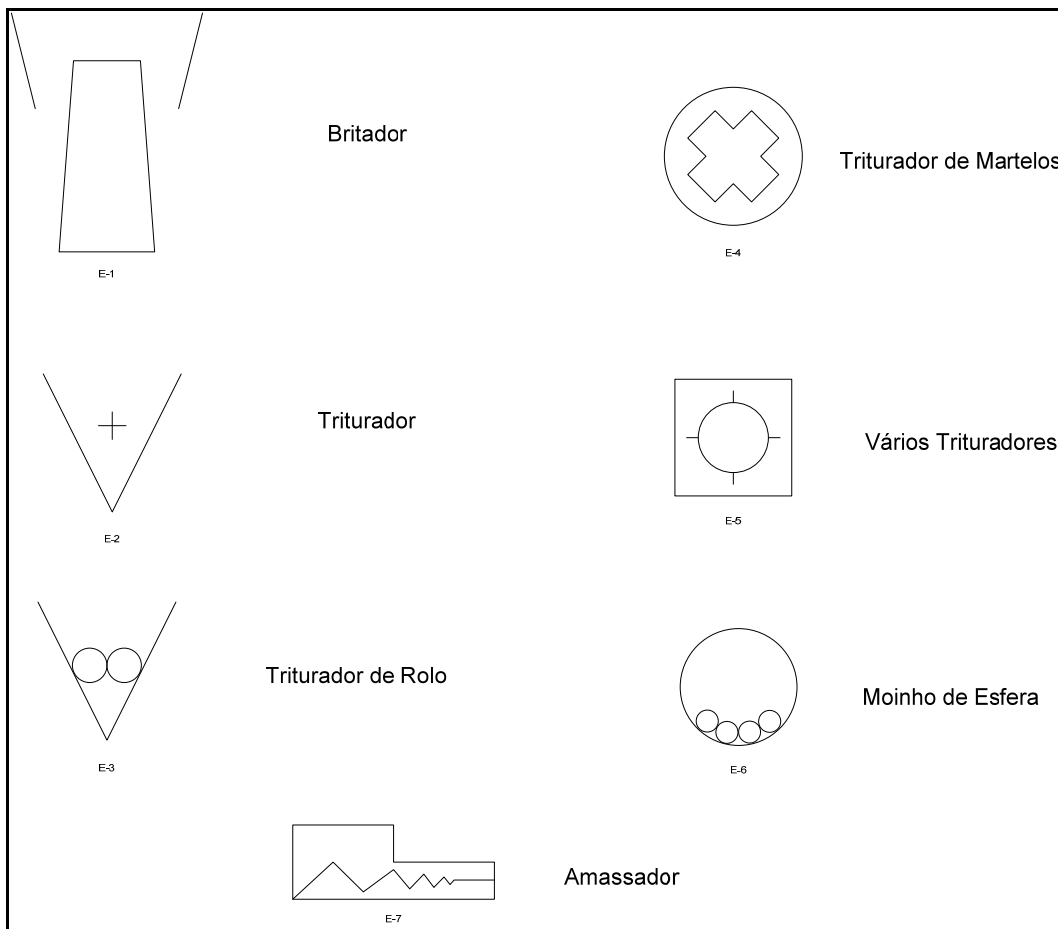


Fig.16 – Simbologia para moedores/ trituradores.

Os símbolos utilizados para representar uma **peneira** em um sistema de acordo com a sua característica são os seguintes.

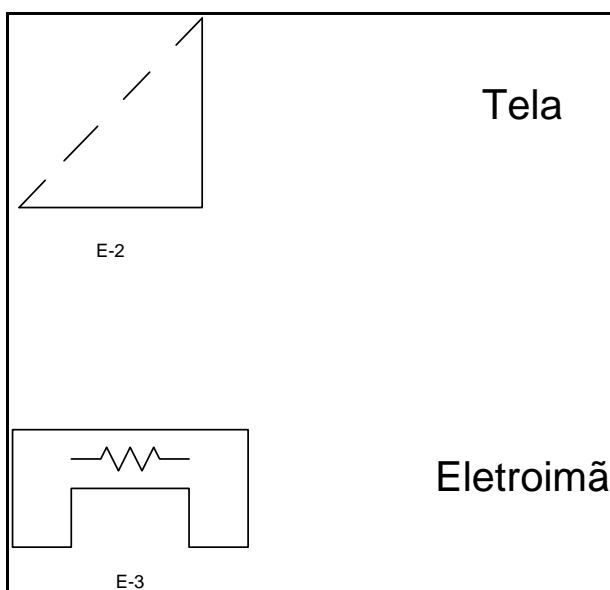


Fig. 17 – Simbologia para peneira e separador magnético.

## Principais cuidados na operação dos equipamentos

Os equipamentos moedores e peneiras são muito simples tanto a sua operação quanto a sua manutenção.

A principal ação de manutenção está relacionada a assegurar que os equipamentos, tanto a peneira quanto o moedor, estejam limpos para início de um novo processo.

O revestimento das superfícies destes equipamentos que tem contato com os reagentes ou materiais deve ser de boa qualidade, e específicas as características do material com o qual terá contato.



### Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a discutir como um moedor e uma peneira podem ser utilizados no processo de produção do óleo da semente de girassol.

**Educador**, para o desenvolvimento dessa atividade, os jovens devem ser informados de que a semente de girassol é moída, triturada e cozida e depois deve-se separar o óleo dos resíduos.



## Vigésima Aula

Nessa aula serão apresentados aos jovens as características, aplicações e princípios de funcionamento dos componentes de uma planta de produção contínua relacionados aos processos de fluidização e transporte de materiais.



### Passo 1 / Aula Teórica



40 min

## Descrição dos equipamentos

A **fluidização** é um processo pelo qual partículas sólidas são transformadas em um estado como o de um líquido por meio do contato com um gás ou líquido do mesmo elemento.

Este é um processo bastante complexo e interessante, que altera a característica física do elemento, sem alterar as suas características químicas. Este processo é realizado em um equipamento específico, como um reservatório em condições específicas de umidade, pressão e temperatura denominado leito de fluidização. O processo de fluidização ocorre a partir do controle da velocidade do fluxo do material (componente) pelo equipamento.



O processo de fluidização é bastante complexo e pode ser explicado pelo processo de fabricação do café solúvel. O café é moído, depois umedecido e depois ao passar pelo processo de fluidização são obtidas partículas condensadas do café que se for "molhado" novamente se torna solúvel.

O material a que se aplica a fluidização apresenta consistência física de pó. Os pós foram classificados em quatro categorias, que determinam a aplicação e facilidade da aplicação do processo de fluidização ou não.

**Educador**, para auxiliar a explicação desse processo, sugerimos que sejam disponibilizados computadores com acesso à *Internet* aos jovens. Pode ser em grupos ou até mesmo um computador com projetor multimídia para que as animações dos processos possam ser vistas pelos jovens.

Os quatro grupos de categoria do pó são os seguintes:

**Grupo A** – São pós que, quando fluidizados por ar, que dão origem a uma região de fluidização não-borbulhante seguida por uma fluidização borbulhante conforme se aumenta a velocidade de fluidização. No grupo A temos como exemplo o catalisador de **craqueamento**.



#### **Craqueamento**

Processo de dividir um composto em partes menores pela ação de calor e/ou catalisador. É usado em vários processos químicos na indústria, principalmente na indústria do petróleo.



Sugerimos o acesso ao endereço eletrônico: [www.fluidizacao.com.br/borb\\_grupo\\_a\\_.html](http://www.fluidizacao.com.br/borb_grupo_a_.html) para observar o processo de fluidização com as características deste grupo.

**Grupo B** – São materiais que fluidizam bem com ação de forte borbulhamento e as bolhas crescem muito. As bolhas formam-se logo que a velocidade do gás atinge o limite de início de fluidização. Faz parte do grupo B a areia de construção.



Sugerimos o acesso aos endereços eletrônicos: [www.fluidizacao.com.br/borb\\_med.html](http://www.fluidizacao.com.br/borb_med.html); [www.fluidizacao.com.br/pistonado2.html](http://www.fluidizacao.com.br/pistonado2.html); [www.fluidizacao.com.br/turbulent\\_b.html](http://www.fluidizacao.com.br/turbulent_b.html) para observar o processo de fluidização com as características deste grupo

**Grupo C** – São materiais que apresentam partículas muito finas e coesivas. O processo de fluidização é bastante difícil para estes materiais, pois a força de atração entre as partículas é muito grande, maior do que a forma de ação do gás responsável pela fluidização. Fazem parte do grupo C a farinha de trigo e o cimento.



Sugerimos o acesso ao endereço eletrônico: [www.fluidizacao.com.br/piston\\_fin.html](http://www.fluidizacao.com.br/piston_fin.html) para observar o processo de fluidização com as características desse grupo



#### Xisto

Nome genérico de vários tipos de rochas metamórficas facilmente identificáveis por serem fortemente laminadas.

**Grupo D** – São materiais que apresenta partículas grandes, com as características de que leitos profundos desses materiais formam jorros e grandes explosões de bolhas e canais preferenciais. São considerados do grupo D o carvão, **xisto** e os grãos em geral.

O símbolo utilizado para representar um dispositivo responsável pelo processo de fluidização em um sistema é o seguinte:

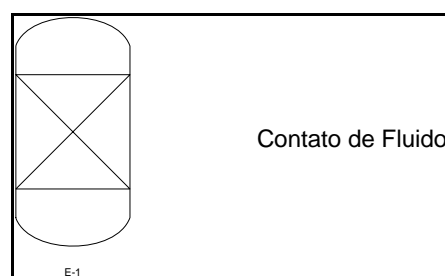


Fig. 18 – Simbologia para tanque de fluidização.

O processo de transporte de materiais em um sistema de produção contínuo ou por batelada é um dos mais importantes, pois além de assegurar a integração entre as etapas do sistema de produção é na organização do processo de transporte que ocorrem os ganhos de tempo de produção e principalmente a organização dos lotes de entrega, custos de armazenagem, entre outros. O processo de transporte é responsável pelo deslocamento das matérias-primas, dos materiais semi-acabados ou em produção e dos produtos finais.

Muitos sistemas de produção contínuos utilizam o processo de transporte como *buffer* de armazenagem, ou até mesmo como lotes reservas de produtos. Em alguns casos, é durante o processo de transporte que ocorre algum tipo de processamento, até mesmo natural.

Na produção de minérios, alguns transportadores são integrados a sistemas de lavagem para que o material chegue limpo a um dos postos de processamento e a lavagem ocorra durante o transporte.

O mesmo ocorre quando o transporte é demorado e sem agitação, de forma que tipos de materiais se separem por sedimentação.

Os símbolos utilizados para representar um elemento de transporte em um sistema de acordo com a sua característica são os seguintes.

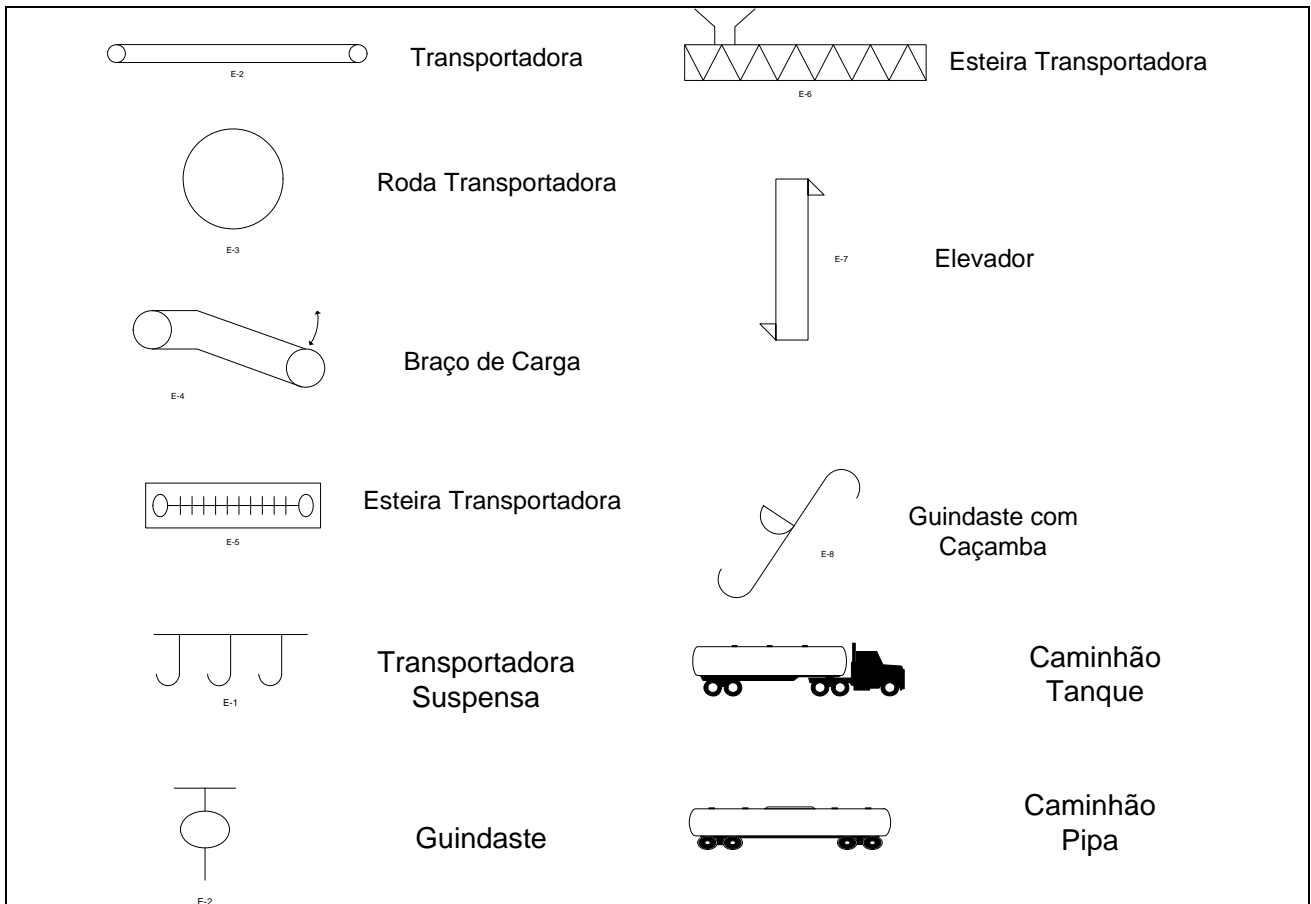


Fig.19 – Simbologia para meios de transporte de materiais.

## Vigésima Primeira Aula



Nessa aula serão discutidos os cuidados na aplicação e operação dos componentes de uma planta de produção contínua relacionados aos processos de fluidização e transporte de materiais.



## Principais cuidados no desenvolvimento dos processos

O processo de fluidização é bastante complexo e o cuidado principal no seu desenvolvimento é assegurar que as condições dentro do reservatório, onde ocorre o processo, atendam as definidas para o melhor desempenho, destacando-se temperatura, pressão, umidade e a velocidade do fluxo do material.

Como é destacado na descrição do processo, cada tipo de material exige uma atenção diferenciada durante o processamento.

Quanto ao transporte de materiais, as variáveis são muitas: o transporte é interno ou externo? Que tipo de embalagem é necessário para acondicionar o material a ser transportado? O tempo de transporte exige algum tipo de tratamento especial para que o material não sofra perdas? Estas são alguns das preocupações que devem ser consideradas na análise de um processo de transporte.

Os aspectos de segurança são fundamentais quando falamos de transporte e principalmente transporte de materiais especiais como explosivos ou materiais radioativos. Estes materiais para serem transportados precisam de autorização especial dos órgãos competentes: o Ministério do Exército e a Comissão Nacional de Energia Nuclear.

Para realizar o transporte de produtos perigosos há necessidade de se atender aos seguintes requisitos:

- *Kit* de segurança para emergência (depende do tipo do produto).
- Certificado de capacitação do veículo e tanque, emitido por entidade credenciada pelo INMETRO.
- O condutor deve ter o curso de Movimentação de Produtos Perigosos (MOPP), realizado por entidades credenciadas, como o SENAT.
- Ficha de emergência do produto que está sendo transportado fornecida pelo fabricante.
- Veículos em boas condições (pneus, lanternas, freios, etc.).
- Carroceria deve estar em boas condições quando se tratar de carga seca (tambores, sacaria, cilindros, etc.).

## RÓTULOS DE SEGURANÇA



Fig.20 – Rótulos de segurança.

Os materiais apresentam classificação pelo tipo de risco que apresentam no seu transporte, são estas as classes de risco:

- **Classe 1** – Explosivo
- **Classe 2** – Gases
- **Classe 3** – Líquidos inflamáveis
- **Classe 4** – Sólidos inflamáveis
- **Classe 5** – Substâncias oxidantes/Peróxidos orgânicos
- **Classe 6** – Substâncias venenosas (tóxicas)
- **Classe 7** – Material radioativo
- **Classe 8** – Substâncias corrosivas
- **Classe 9** – Substâncias perigosas diversas

Para o transporte de materiais como petróleo e gás natural são utilizados dutos tubulares conhecidos como:

- **Gasodutos** – No caso de transporte de gás natural e
- **Oleodutos** – No caso de transporte de petróleo e seus derivados



## Passo 2 / Atividade Sugerida



10 min

Os jovens devem ser estimulados a pensar e discutir os diversos tipos de transportes de materiais com que se deparam no dia-a-dia.

**Educador**, para essa atividade não existe um gabarito específico, os jovens devem ser estimulados a lembrar os tipos de meios de transportes de materiais com que se deparam no dia-a-dia. Muitos dos processos do dia-a-dia correspondem a processos que se encontram nos sistemas de produção mais complexos. Sugira que eles discutam a entrega de refrigerantes, a circulação de caminhões e cargas tóxicas nas regiões periféricas das cidades e também verificar se existem dutos de água e gás que interligam diversas residências. O consumidor é parte integrante do processo produtivo.

# Vigésima Segunda Aula



O objetivo dessa aula será acompanhar rotinas de operação e verificação/ inspeção de equipamentos estudados, conforme disponibilidade na empresa.



## Passo 1 / Preparação



05 min

Procure preparar essa aula com antecedência de modo a otimizar o tempo disponível. Organize a turma em grupos e dê as orientações necessárias sobre os procedimentos de segurança. E esclareça que o objetivo é observarem os procedimentos e cuidados tomados na manutenção e verificação de equipamentos de produção que foram abordados durante as aulas.

O mais interessante seria focar em um equipamento específico como ilustração.

Sugestão: reator químico

Se for possível, convide alguém da área de manutenção da empresa para falar a respeito dos procedimentos de manutenção preventiva e corretiva adotados.



## Passo 2 / Visita à Empresa



35 min

Durante a visita, um profissional da área de manutenção apresentará alguns procedimentos de manutenção destacando os pontos e cuidados principais a serem tomados.

É importante que os jovens fiquem atentos aos detalhes apresentados e que anotem informações importantes sobre os dispositivos e procedimentos apresentados.

Acompanhe a turma e faça perguntas ao colaborador, caso a turma não esteja à vontade ou não tenha percebido algum aspecto importante.



## Passo 3 / Conclusões



10 min

Discuta com os jovens os principais pontos observados e dê-lhes oportunidades de arguir o colaborador.



## Vigésima Terceira Aula

Nessa aula os jovens se organizarão em grupos para a elaboração de um painel que relacione um produto selecionado com seu processo de produção, destacando os processos unitários e os equipamentos relacionados.



### Passo 1 / Organização e Orientação da Turma



10 min

### Principais componentes do planejamento de produção

A partir das informações obtidas nas aulas anteriores, a turma deverá ser dividida em cinco grupos para a elaboração de um painel que relacione um produto escolhido, pelo próprio grupo (o produto deve ter sua produção por batelada) o seu processo de produção e, pelo menos, três dos processos unitários que compõem o processo produtivo completo.

Cada grupo deverá pensar no processo de produção de forma completa, definindo um tipo de produto, relacionando os processos unitários e os principais equipamentos utilizados.

O painel deverá apresentar, pelo menos, as seguintes informações:

- Definição do produto final
- Descrição do processo produtivo completo
- Três dos principais processos unitários que compõem o processo produtivo e seus principais equipamentos

**Educador**, para a confecção do painel, os jovens poderão utilizar folhas de *flip-chart*, papel pardo, versos de folhas de rascunho ou de papel reciclado unidas por fitas adesivas. Pincéis atômicos de diversas cores de forma a permitir melhor visualização.

Informe os jovens que a aula seguinte estará destinada à apresentação e discussão dos painéis e combine com os grupos a ordem e o tempo de apresentação. Diga-lhes que, caso a tarefa não tenha sido terminada até o final da aula, eles deverão completá-la fora da sala de aula. Tente também conversar com os grupos e assegurar que cada grupo selecionou um produto diferente; podem ser

destacados produtos como combustível, minério de ferro, refrigerante, sucos e outros.



## Passo 2 / Elaboração do Painel



40 min

Deixe que os jovens trabalhem livremente nos grupos, mas acompanhe a tarefa para orientá-los sobre as características dos processos envolvidos. Além disso, auxilie os jovens com informações sobre os processos desconhecidos por eles, estimulando-os a identificarem todas as fases do processo de produção. Sugira que eles desenhem os processos utilizando os símbolos dos componentes.

## Glossário

### Aditivos

São produtos químicos usados para melhorar a performance do processo ou do papel.

### Adução

Condução da água captada (por meio de bombeamento) através de tubulações até a ETA.

### Água Potável

Água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde;

### Biota

Conjunto de seres vivos que habitam um determinado ambiente ecológico, em estreita correspondência com as características físicas, químicas e biológicas deste ambiente.

### Branqueamento

É um processo químico aplicado à polpa marrom, para aumentar sua alvura.

### Captação

A captação (coleta em grandes quantidades) de água do rio com finalidade de tratar.

### Catalisador

É tudo aquilo que facilita ou acelera reações químicas sem nelas participar, ou seja, saem do processo inalterada. Por exemplo: enzimas, sais minerais, alguns tipos de metais, etc.

### Caustificação

É a produção de licor branco quente (solução aquosa contendo hidróxido de sódio e sulfato de sódio) contendo mínimas quantidades de inertes ao processo de polpação.

### Cavitação

Fenômeno de vaporização de um líquido pela redução da pressão, durante seu movimento a uma temperatura constante.

### Celulose e hemicelulose

São estruturas semelhantes, materiais originalmente brancos que não contribuem na coloração da polpa, no entanto, lignina, extrativos (pitch), feixes de fibras (shives) e sujeiras influem na percepção de coloração da polpa.

### Central de utilidades

Fornece insumos, como energia elétrica, vapor de alta, média e baixa pressão, óleo combustível, ar comprimido com e sem tratamento, água tratada para caldeiras e água

tratada para uso geral (às vezes também água potável), os quais abrangem todos os setores da indústria.

### Contaminação

Introdução no meio ambiente de organismos patogênicos, substâncias tóxicas ou outros elementos, em concentrações que possam afetar a saúde humana. É um caso particular de poluição.

### Controle da qualidade da água para consumo humano

Conjunto de atividades exercidas de forma contínua pelo(s) responsável(is) pela operação de sistema ou solução alternativa de abastecimento de água, destinadas a verificar se a água fornecida à população é potável, assegurando a manutenção desta condição.

### Craqueamento

Processo de dividir um composto em partes menores pela ação de calor e/ou catalisador. É usado em vários processos químicos na indústria, principalmente na indústria do petróleo.

### Decantação ou sedimentação

É o processo no qual a força da gravidade é utilizada para separar as partículas de densidade maior que a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Os principais tipos de decantadores são os laminares ou de alta taxa e os convencionais de escoamento horizontal.

### Desinfecção ou cloração

Aplicação do produto desinfetante (cloro) para eliminação dos organismos patogênicos, causadores das doenças, como a cólera, hepatite, verminoses, etc.

### Distribuição

A água é levada ao processo e/ou consumidores através de bombeamento.

### Ecossistema

A comunidade total de organismos, junto com o ambiente físico e químico no qual vivem se denomina ecossistema, que é a unidade funcional da ecologia.

### Energia

É a capacidade de realização de trabalho. Assim, quanto maior for a capacidade de realizar trabalho, melhor será a qualidade da energia associada.

### Evaporação

É a operação em que se concentra uma solução pela ebulição do solvente.

### Filtração

É o processo que remove as impurezas presentes na água bruta (filtração lenta); na água coagulada ou floculada (filtração rápida direta); ou na água decantada (filtração

rápida) pela passagem destas em um meio granular poroso, geralmente constituído de camadas de pedregulho, areia e antracito.

### Floculação

Processo físico que promove a aglutinação das partículas já coaguladas, facilitando o choque entre as mesmas devido à agitação lenta imposta ao escoamento da água.

### Fotossíntese

Processo através do qual plantas, seres autotróficos (seres que produzem seu próprio alimento) e alguns outros organismos transformam energia luminosa em energia química sintetizando o dióxido de carbono, água e minerais em compostos orgânicos e liberando oxigênio.

### Fotólise

Processo de dissociação de moléculas orgânicas complexas por efeito da radiação eletromagnética fornecida pela luz. É o processo que está na base da fotossíntese.

### Galvanização

Processo eletrolítico que consiste em revestir superfícies de peças metálicas com outros metais, mais nobres. Este revestimento é feito, geralmente, para proteger a peça da corrosão e/ou como acabamento estético ou decorativo.

### Gaxeta

Junta de material compressível para ser colocada entre duas superfícies metálicas, a fim de vedar a junção contra vazamento de gases ou de líquidos.

### Habitat

O local físico ou lugar onde um organismo vive, e onde obtém alimento, abrigo e condições de reprodução.

### Imiscível

Líquido que não se mistura com outro líquido, ou seja, forma uma mistura heterogênea. Por exemplo, a água é imiscível no azeite.

### Inesgotabilidade

Algo que não se esgota

### Insumo

É um termo técnico, usado geralmente em Economia, para designar um bem de consumo que é utilizado na produção de um outro bem. Esse termo, por vezes, é substituído, imprecisamente, pelo termo matéria-prima.

### Matéria

É algo que ocupa lugar no espaço.

## Meio ambiente

Tudo o que cerca o ser vivo, que o influencia e que é indispensável à sua sustentação. Estas condições incluem solo, clima, recursos hídricos, ar, nutrientes e os outros organismos. O meio ambiente não é constituído apenas do meio físico e biológico, mas também do meio sócio-cultural e sua relação com os modelos de desenvolvimento adotados pelo homem.

## NR

Normas regulamentadoras.

## pH

É uma grandeza físico-química que mede o “potencial hidrogeniônico” de uma substância, ou em outras palavras, é um índice que indica o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade da mesma.

## Polpação

É o processo utilizado para transformar a madeira em uma massa de fibras individualizadas e consiste na ruptura das ligações entre fibras no interior da estrutura da madeira.

## Poluente

Substância, meio ou agente que provoque, direta ou indiretamente qualquer forma de poluição.

## Poluição

É qualquer interferência danosa nos processos de transmissão de energia em um ecossistema. Pode ser também definida como um conjunto de fatores limitantes de interesse especial para o homem, constituídos de substâncias nocivas (poluentes) que, uma vez introduzidas no ambiente, podem ser efetiva ou potencialmente prejudiciais ao homem ou ao uso que ele faz de seu habitat.

## Preservação ambiental

Ações que garantem a manutenção das características próprias de um ambiente e as interações entre os seus componentes.

## Recurso natural

Qualquer insumo de que os organismos, populações e ecossistemas necessitem para sua manutenção. É algo útil que utiliza tecnologia para ser obtido e pelo qual se paga, tendo, portanto, valor econômico. Ele se divide em dois grupos: renováveis e não-renováveis.

## Recurso natural não-renovável

É aquele que, uma vez utilizado, não pode ser reaproveitado.

## Recurso natural renovável

É aquele que, depois de ser utilizado, fica disponível novamente em função da ação dos ciclos naturais.

### Silvicultura

É o ato de criar e desenvolver povoamentos florestais, visando atender às necessidades do mercado.

### Sistema de abastecimento de água para consumo humano

Instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e à distribuição canalizada de água potável para populações, sob a responsabilidade do poder público, mesmo que administrada em regime de concessão ou permissão.

### Sistema produtivo

É a representação gráfica do sistema de produção de uma empresa, que, de forma sintetizada representa o ingresso de fatores de produção (mão-de-obra, matéria-prima e insumos, e, energia) na empresa, que deve contar com ativos suficientes (máquinas e equipamentos, imóveis, veículos, tecnologia, capital financeiro, entre outros) para processar os fatores e assim conseguir acabar produtos e serviços úteis.

### Tratamento de água

É o conjunto de ações destinado a alterar as características físicas e ou químicas e ou biológicas da água, de modo a satisfazer o padrão de potabilidade adotado pela autoridade competente.

### Umidade

Medida da quantidade de vapor d'água contido no ar atmosférico.

### Viscosidade

É a propriedade dos fluidos originada pelo atrito interno entre suas moléculas, que é surge devido às forças de coesão entre as mesmas. Quanto maior a viscosidade, menor a velocidade em que o fluido se movimenta.

### Viveiro

É uma parte delimitada de terreno onde se concentram todas as operações e cuidados especiais para a produção de mudas.

### Xisto

Nome genérico de vários tipos de rochas metamórficas facilmente identificáveis por serem fortemente laminadas.



## Referências

AUTOMATION TODAY - Máquinas para processo contínuo: automação fundamental, Dezembro/1999, ano 1, no. 2

BLACKADDER, D. A. Nedderman, R. M. Manual de operações unitárias. São Paulo: Hemus, 1982

FELTRE, Ricardo; YOSHINAGA, Setsuo. Físico-química. 3. ed. São Paulo: Moderna, 1990

FOGLER, H. Scott. Elementos de engenharia das reações químicas. 2. Ed. - Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos

JONES, David Gwyn. Introdução à tecnologia química, aplicações de princípios básicos em pesquisa e desenvolvimento de processo. São Paulo: EDUSP, 1971

JUNIOR, E.A.C. Emissões de Óxidos de nitrogênio em caldeiras de recuperação processo Kraft (monografia de conclusão de curso de pós-graduação). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006.

MELLO, C.S. Tecnologia em Celulose e Papel (monografia de conclusão graduação). Mogi das Cruzes: UNIVERSIDADE BRAZ CUBAS, 2007.

MISSEN, Ronald W.; MIMS, Charles A.; SAVILLE, Bradley A. Introduction to chemical reaction engineering and kinetics. New York: John Wiley, c1999

SHREVE, Randolph Norris, 1885-1975. Indústrias de processos químicos/ R. Norris Shreve, Joseph A. Brink, Jr. ; tradução de Horacio Macedo. 4th ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, c1997

SIGHIERI, Luciano; NISHINARI, Akiyoshi. Controle automático de processos industriais: instrumentação. 2. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998

### Sites para consulta

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL CELULOSE E PAPEL. Celulose e Papel. Disponível em:  
[http://www.abtcp.org.br/default2.asp?cod\\_idm=](http://www.abtcp.org.br/default2.asp?cod_idm=)  
Acesso em: 21 set. 2007.

IPIRANGA REFINARIA. Utilidades. Disponível em:  
[http://www.ipiranga.com.br/petroleo/refinaria/conteudo\\_producao\\_mercado\\_processo.h](http://www.ipiranga.com.br/petroleo/refinaria/conteudo_producao_mercado_processo.htm)  
tm  
Acesso em: 21 set. 2007.

SUZANO PAPEL E CELULOSE. Sustentabilidade. Disponível em:  
[http://www.abtcp.org.br/default2.asp?cod\\_idm=](http://www.abtcp.org.br/default2.asp?cod_idm=)  
Acesso em: 21 set. 2007.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Tecnologia. Disponível em:  
[www.sorocaba.unesp.br](http://www.sorocaba.unesp.br)  
Acesso em: 21 set. 2007.

<http://www.jornalcana.com.br/pdf/140/TecnologiaIndustrial.pdf>

<http://www.automation.rockwell.com.br>

<http://www.hottopos.com/regeq12/art1.htm>

<http://www.gorni.eng.br/textpol.html>

<http://www.abiquim.org.br>

<http://pt.wikipedia.org/>