

Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP  
Departamento de Engenharia Mecânica

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Mecânica

Diretor: Prof. Dr. Ivan Gilberto Sandoval Falleiros  
Vice-Diretor: Prof. Dr. José Roberto Cardoso

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Celso Pupo Pesce  
Suplente do Chefe do Departamento: Prof. Dr. Jurandir Itizo Yanagihara

Conselho Editorial:

Prof. Dr. Décio Crisol Donha  
Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira  
Prof. Dr. Celso Pupo Pesce  
Prof. Dr. Linilson Rodrigues Padovese  
Prof. Dr. Guenther Carlos Krieger Filho

Coordenador Técnico:

Prof. Dr. Décio Crisol Donha  
Suplente: Prof. Dr. José Roberto Simões Moreira

Esta é uma publicação da Escola Politécnica da USP/ Departamento de Engenharia Mecânica,  
fruto de pesquisas realizadas por docentes e pesquisadores desta Universidade

A partir de janeiro de 2007, o Boletim Técnico do Departamento de  
Engenharia Mecânica estará disponível no sítio abaixo, que já se  
encontra ativo: <http://www.pontocomm.com.br/pme/05pesq/ijindex.htm>

Informamos ainda que a versão impressa a partir de maio de 2007 só será enviada a  
pedido dos interessados.

## SECAGEM DE PAPEL PRODUZIDO A PARTIR DO PSEUDOCAULE DE BANANEIRA

**Marcio Chertman e J. R. Simões-Moreira**

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo  
Departamento de Engenharia Mecânica  
SISEA – Lab. de Sistemas Energéticos Alternativos  
Av. Prof. Mello Moraes, 2231, Cidade Universitária  
05508-900 – São Paulo – Brasil  
E-mails: chertman@terra.com.br  
jrsimoes@usp.br

**Abstract.** The discharging of the banana tree's pseudostalk after the withdrawal of the fruit is a common practice that has as the main objective of preventing the propagation of the *Cosmopolites Sordidus* (popularly known as *broca*, which means *drill*). Broca is an insect that proliferates in regions with abundance of this type of plantation. Brazil, third world-wide producer of bananas (FAO, 2007), is responsible for the discharging of millions of tons per year of pseudostalk.

Among several possibilities for using the discharged material, some communities, as the one located in Itariri, São Paulo's southern coast, are using the pseudostalk for making special paper sheets. However the inherent limitations of the needy communities, as the local shortage of energy resources and restrictive environment rules are the main hurdles to the possibilities of paper productions growth.

The knowledge of processes used by the pulp and paper industries, associated with the study of specific conditions of the small artisan production of Itariri, can provide subsidies and results in alternatives to the artisan processes.

A fundamental study of heat and mass transport for the cases considered here can provide an estimative of the performance of the productivity of the studied case. The work is focused on the paper sheets drying process performance, which is the critical stage in the process of artisan manufacture. In the current process, the local manufacturers depend on the climatic conditions for the drying, mainly the solar irradiation.

In the end of this work, an alternative process for the paper drying is proposed using the calculation procedure here developed, having the aim at reducing the energy consumption and eliminating the climatic conditions dependence.

**Key-words:** Heat transfer, drying, oven, banana cultivation, paper.

**Resumo.** O descarte do pseudocaule da bananeira após a retirada do fruto é uma prática constante que tem como objetivo evitar a propagação da *Cosmopolites sordidus* (popularmente conhecido como broca), que é um inseto que se prolifera em regiões com abundância deste tipo de cultivo. O Brasil, terceiro maior produtor mundial de bananas (FAO, 2007), é responsável pelo descarte de milhões de toneladas por ano de pseudocaules.

Dentre as várias possibilidades de utilização deste material de descarte, algumas comunidades como a da Região de Itariri, litoral sul de São Paulo, estão aproveitando o pseudocaule para a fabricação artesanal de papeis especiais. No entanto as limitações inerentes às comunidades carentes, a escassez de recursos energéticos e as restrições ambientais são obstáculos às possibilidades de crescimento de suas produções.

O conhecimento dos processos utilizados pelas grandes indústrias de papel e celulose, associado ao estudo das condições específicas da fábrica artesanal de Itariri pode fornecer subsídios e alternativas aplicáveis aos processos artesanais.

Um estudo dos processos de transferência de calor e massa para os casos aqui propostos fornece uma estimativa para o desempenho da produtividade da fábrica artesanal estudada, mais precisamente o desempenho da secagem, que é o ponto crítico do processo de fabricação artesanal. No processo atual, os fabricantes locais dependem das condições climáticas, principalmente da irradiação solar, para a secagem. Ao final do trabalho é proposto um processo alternativo de secagem do papel empregando os cálculos aqui desenvolvidos, que visa minimizar o consumo energético e a diminuição da dependência das condições climáticas.

**Palavras- chave :** Transferência de calor, secagem, estufa, bananicultura, papel.

## 1. Introdução

A atual escala produtiva da banana faz desta fruta uma das mais importantes do mundo, tanto do ponto de vista nutricional como do ponto de vista econômico. Com uma produção atual aproximada de 6,4 milhões de toneladas ao ano, o Brasil é o terceiro maior produtor de banana sendo responsável por 8,9% da produção mundial (FAO, 2007). As espécies de bananas cultivadas no Brasil levam cerca de 18 meses para atingir o ponto de corte. Por não gerar frutos mais que uma vez, após a retirada dos cachos, grande parte da bananeira deve ser cortada e cerca de 50 cm do pseudocaule é deixado para servir de nutrientes para os brotos em desenvolvimento. No entanto, todo material descartado e o pseudocaule remanescente devem ser retirados do local de cultivo antes de apodrecerem, pois sua permanência propicia a proliferação da *Cosmopolites Sordidus* (popularmente conhecido como broca), que é um inseto que se alimenta dos restos das bananeiras, podendo devorar o plantio, caso se prolifere.

Por ser um dos maiores produtores mundiais de banana, o Brasil também possui uma quantidade de material descartado que vem sendo objeto de estudos em um grande número de pesquisas dirigidas ao aproveitamento destes restos. Além da queima para geração de energia e artesanatos, o pseudocaule da bananeira hoje é apresentado como uma matéria prima tecnicamente viável para a produção de polpa celulósica e fabricação de papel (Rojas, 1996). Esta alternativa vem sendo aproveitada por uma fábrica artesanal do município de Itariri, FIBRA MAIS ITARIRI, que em função do desconhecimento teórico em relação aos processos envolvidos na fabricação de papel e das limitações dos mais variados recursos, encontra algumas dificuldades em sua produção, sendo o mais crítico na parte de secagem.

Atualmente a produtividade média da fábrica de Itariri é de aproximadamente 5000 folhas de 40x60 cm ao mês, com gramaturas variadas, apresentando um valor médio de 101,16 g/m<sup>2</sup> e desvio padrão de 40,27 g/m<sup>2</sup> - os dados relacionados à gramatura foram obtidos através de análises realizadas no laboratório de controle de qualidade da Suzano Papel e Celulose. Para esta análise, foi utilizada uma amostragem contendo dez folhas cortadas nas dimensões de 10 cm x 10 cm, submetidas ao processo de secagem em estufas laboratoriais e finalmente pesadas em balanças de precisão. Esta quantidade, no entanto, está aquém da demanda atual pelos produtos desta fábrica. Os gargalos atuais e potenciais do processo que limitam esta produtividade são as etapas de secagem e cozimento das fibras respectivamente. O cozimento é realizado em tambores abertos de 200 litros com grande perda de energia e seu período de duração é de aproximadamente 5 horas. A secagem é realizada ao sol. Nos dias em que as condições climáticas são menos favoráveis, uma estufa é utilizada, na qual os períodos de secagem chegam a ultrapassar o intervalo de nove horas. Entre os diversos problemas encontrados nesta estufa, temos a não renovação do ar, de modo que este processo de secagem ocorre muito próximo do ponto de saturação do ar.

O objetivo principal deste trabalho é o estudo do processo de secagem de materiais fibrosos com vistas a propor um novo sistema de secagem de papel produzido a partir da fibra do pseudocaule de bananeira para a fábrica Fibra Mais, localizada no município de Itariri, adaptando o conhecimento obtido na indústria de papel aos procedimentos artesanais aplicados nesta fábrica, aumentando assim sua produtividade. Como resultado deste estudo, propôs-se um sistema de secagem por convecção natural em estufas artesanais a partir da combustão de material orgânico,. O dimensionamento térmico da estufa foi realizado considerando o processo de secagem envolvido. Cálculos de transferência de calor e massa indicaram as condições de mínimo consumo energético, respeitando as limitações das condições do local. Ao final, é apresentado o arranjo da estufa proposta.

## 2. Produção de Papel

Os processos artesanais e industriais de fabricação de papel são compostos por três etapas principais: trituração da madeira, cozimento e secagem. Etapas intermediárias, como branqueamento, podem fazer parte do processo dependendo do produto final que se deseja. Esses dois tipos de processo no entanto, divergem em relação aos recursos tecnológicos e aos aditivos aplicados em cada uma das etapas.

### *Cozimento*

Após a trituração do pseudocaule, que na fábrica de Itariri ocorre com o auxílio de facões, o material é levada para o processo de cozimento, que permite o amolecimento deste material e sua transformação em

pastas celulósicas. Como alternativa para este processo, foi proposta apenas a alteração dos tambores abertos de 200 litros por tambores que podem ser fechados e que possuem volume de 50 litros, reduzindo-se assim significativamente as perdas energéticas e o tempo de secagem.

### Secagem de materiais fibrosos

Todo o material fibroso possui um ponto de saturação para a absorção, que é aquele observado quando a umidade relativa do filme de ar acima da superfície é 100%. A partir deste ponto, qualquer massa extra de água em contato com esta superfície fibrosa é denominada umidade não ligada. Sua remoção pode ocorrer por processos mecânicos simples, como a prensagem.

Quando o ar de secagem não estiver saturado, o teor de umidade de equilíbrio no material fibroso depende da umidade relativa deste ar. Esta é denominada umidade ligada.

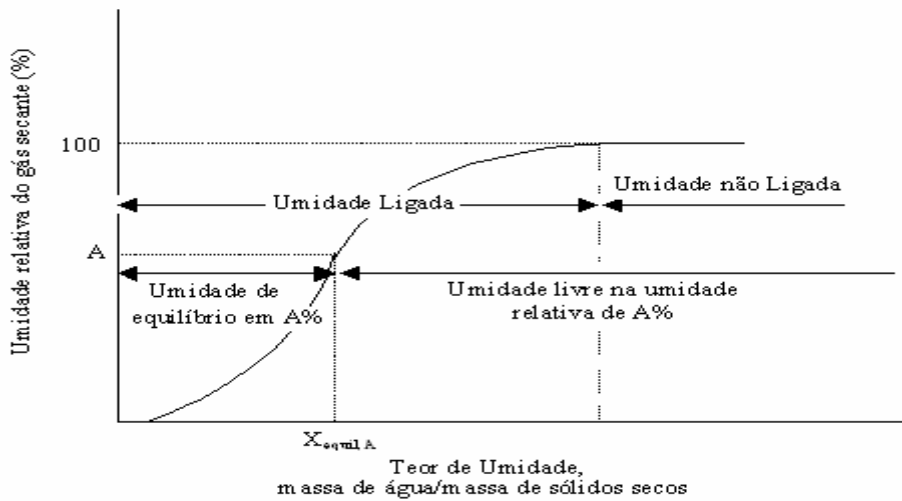


Figura 1- Umidade relativa do ar em função do teor de umidade do sólido.(FOUST, 1982).

As curvas típicas de secagem podem esboçar quaisquer formatos, seguindo geralmente um padrão passando por três estágios, que podem ser representados pelos gráficos da figura 3.1, nos quais tem-se os gráficos simultâneos do teor de umidade em função do tempo (h) e da taxa de secagem ( $\text{kg/h.m}^2$ ) em função do teor de umidade.

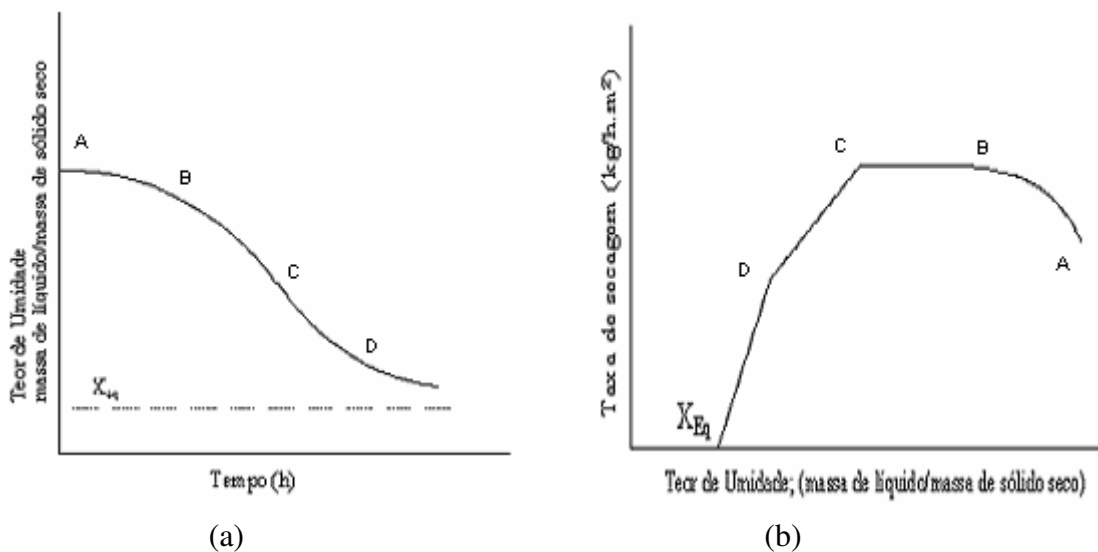


Figura 2- (a) Teor de umidade do material fibroso em função do tempo durante a secagem;  
 (b) Taxa de secagem em função do teor de umidade do material fibroso. (FOUST, 1982).

No contato inicial entre o material fibroso úmido e o meio secante, a temperatura do sólido sofre ajustes até que sejam atingidas as condições de regime permanente, quando a superfície atinge a temperatura de bulbo-úmido do meio secante (trecho AB). Devido à defasagem entre o movimento da massa e o fluxo de calor, não há uniformidade entre as temperaturas da superfície e do interior do material. Durante esta etapa de regime permanente (trecho BC), toda a superfície exposta do sólido está saturada de água, de forma que toda a massa subtraída da superfície é substituída pelo líquido que vem das camadas internas. A secagem ocorre como se fosse a evaporação de uma massa de líquido, sem haver influência, direta do sólido na taxa de secagem.

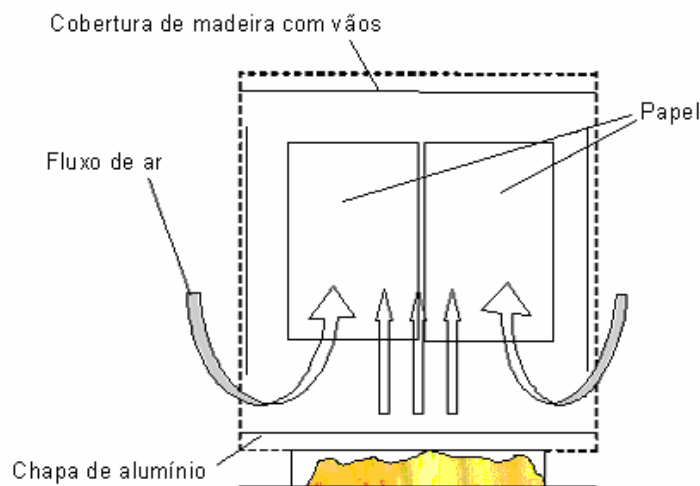
A partir do momento em que a velocidade do movimento do líquido para a superfície passa a ser menor que a velocidade de transferência de umidade da superfície para o meio, inicia-se o período de taxa de secagem decrescente (trecho CD), reduzindo-se assim as áreas saturadas de líquido. A temperatura do sólido nesta fase sofre acréscimo e o vapor proveniente das camadas interiores do sólido, ao difundir-se para a superfície que não está saturada, continua migrando para a corrente gasosa.

A secagem chegará ao estágio em que toda a evaporação ocorre a partir do interior do sólido, e a distância a ser percorrida pelo fluxo de calor e massa aumenta até que a pressão de vapor sobre o sólido passe a ser igual à pressão parcial de vapor do gás secante cessando assim o processo. Neste ponto, a resistência ao movimento da umidade no interior do material fibroso é muito superior à resistência a transferência de massa da superfície para o meio, ou seja, o número de Biot para a transferência de massa atinge valores muito elevados.

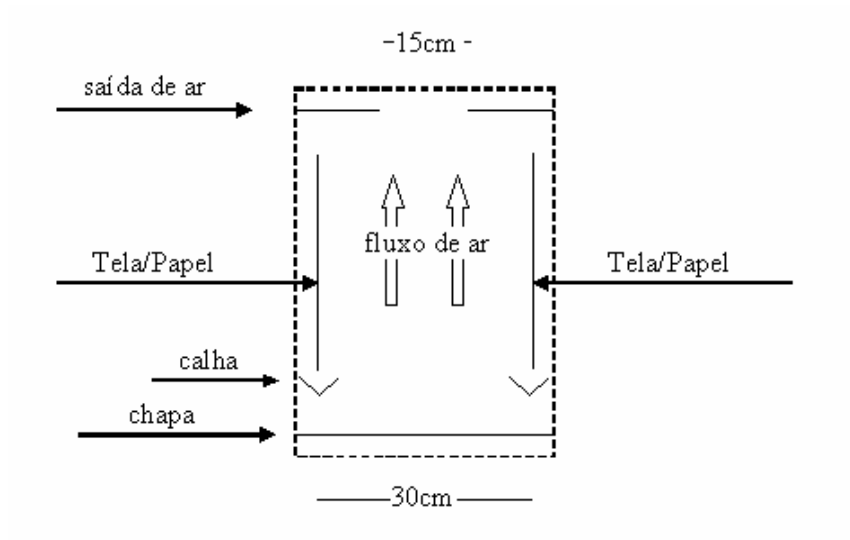
### 3. Solução Proposta

Para a remoção da umidade não ligada, foi proposta a utilização de uma prensa existente na fábrica de Itariri e que era utilizada para outra finalidade de forma esporádica.

Para a remoção da umidade ligada, é necessária a construção de uma câmara de secagem cujo funcionamento está esquematizado nas figuras abaixo:



**Figura 3** – Desenho esquemático do funcionamento da câmara de secagem

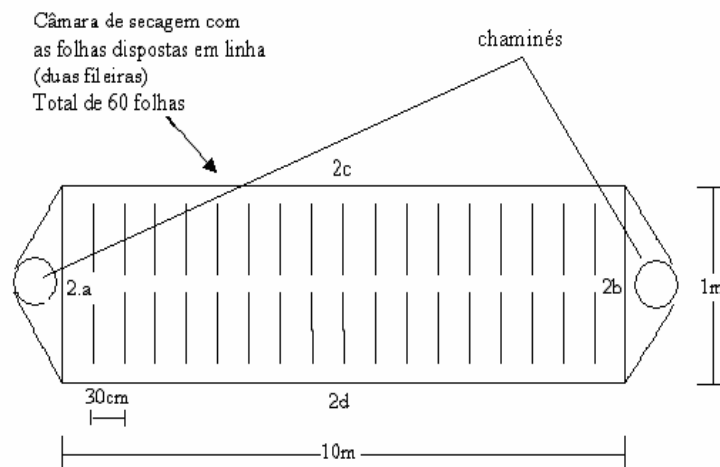


**Figura 4** – Volume e superfície de controle

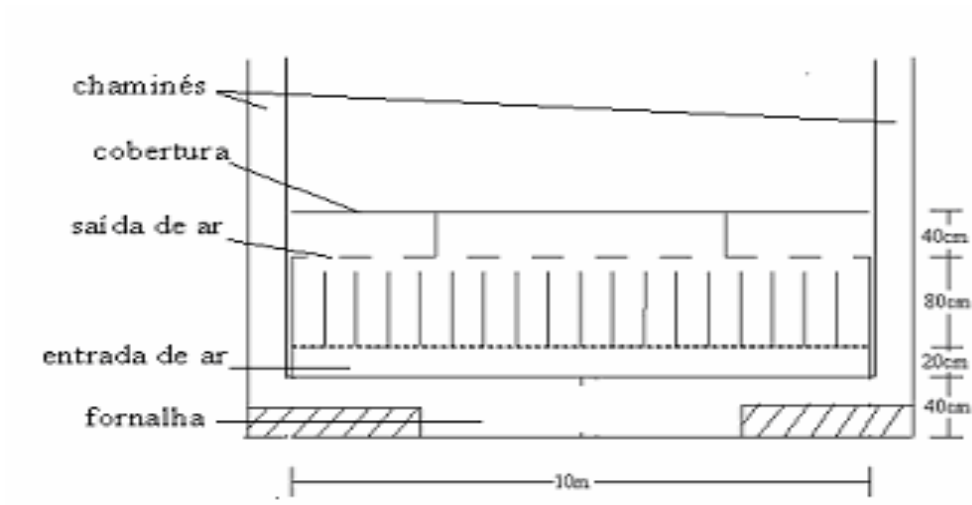
A base da câmara é formada por chapas de alumínio aquecidas pela queima de Pinus (este material é fornecido constantemente à fábrica de Itariri). Na parte lateral e na parte superior existem aberturas que permitem a entrada e saída do ar. O calor transferido da chapa para o ar no interior da câmara provoca a circulação e a constante renovação do ar de secagem, de modo que este não atinja o ponto de saturação. A movimentação gerada pelos efeitos convectivos atuam como um fluxo forçado de ar sobre as folhas de papel a serem secas.

Uma das premissas do projeto foi buscar a alternativa que fornecesse a maior velocidade possível para o fluxo de ar (maximizando a secagem), respeitando-se a temperatura máxima que as folhas poderiam suportar sem que estas sofressem algum dano estrutural. Para que esta condição seja atendida, a troca de calor por convecção entre a base da câmara e o ar de secagem, deve ser maximizada, e a troca de calor por radiação entre a base da câmara e as folhas, deve ser minimizada. Para que esta condição seja atendida, foi selecionado um metal de baixo poder emissivo, o Alumínio. Para que esta baixa emissividade seja permanente, limpezas constantes devem ser efetuadas nas chapas, pois é natural que o uso as tornem enegrecidas, aumentando assim suas emissividades.

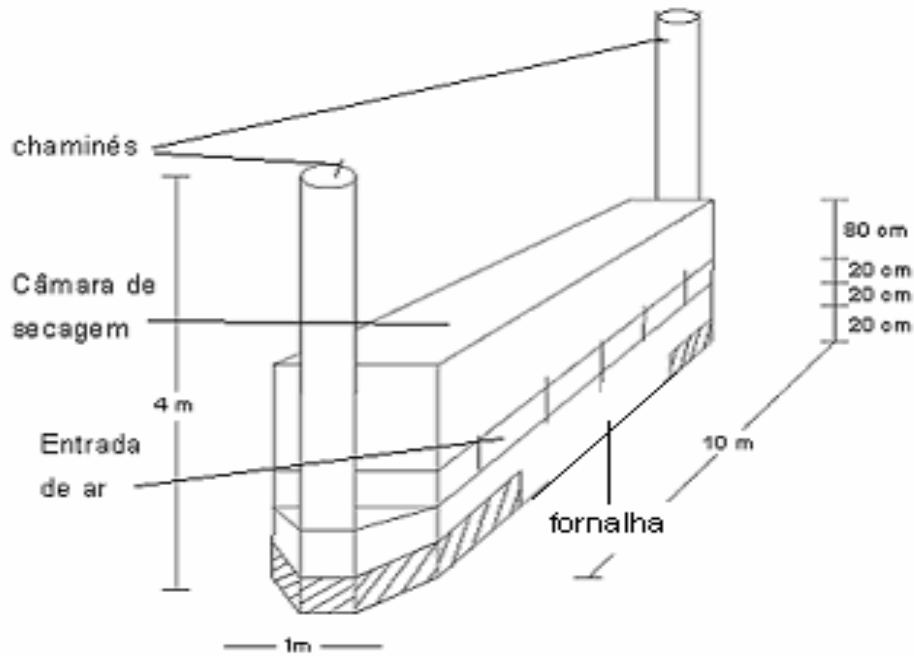
Respeitando-se as limitações geométricas da fábrica estudada, a câmara faz a secagem de até e no máximo 60 folhas por bateria, dispostas em duas fileiras de 30 folhas, com a distância de 30cm entre as faces de cada folha. As vistas superior, lateral e em perspectiva da câmara (fora de escala) são:



**Figura 5** - Vista superior da câmara de secagem (sem escala)



**Figura 6-** Vista lateral da câmara de secagem (sem escala)

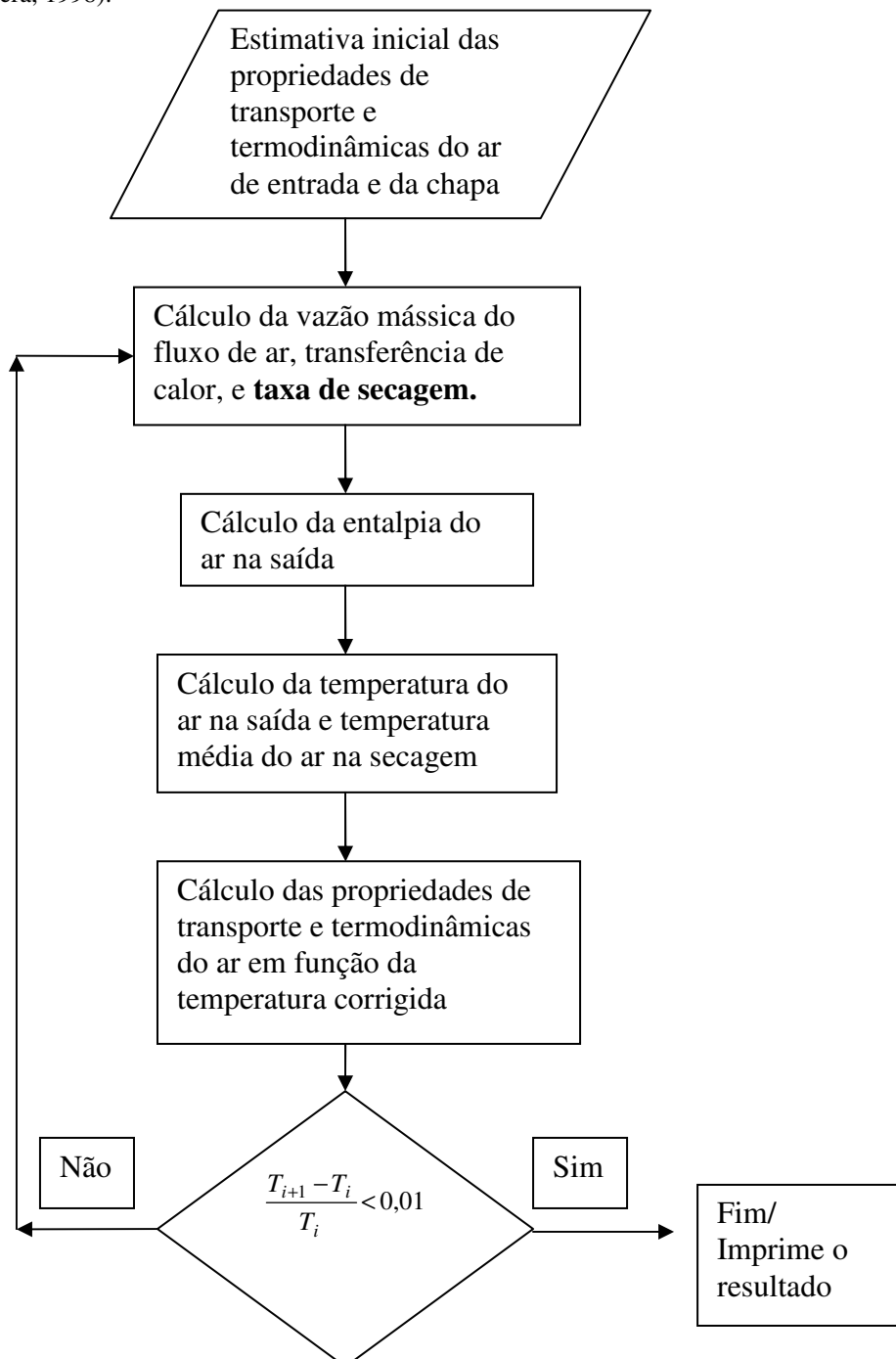


**Figura 7 –** Vista em perspectiva do secador

## 4. Cálculos

Os cálculos do processo de secagem foram divididos em três etapas que interagem entre si, tendo sido necessário criar um fluxograma que se repete até que fosse atingida a convergência dos valores. A primeira etapa consiste na modelagem do fluxo de ar do meio externo para o interior da câmara, movimento este que depende da diferença de pressão entre os dois meios e das perdas de carga localizadas distribuídas inerente ao movimento do fluido (ar) na estrutura. A segunda etapa consiste no cálculo da transferência de calor da chapa de alumínio aquecida para o fluxo de ar entrante através da convecção natural. Este ar aquecido e ascendente atua como um fluxo forçado que incide sobre as telas com o papel úmido e a transferência de calor e massa do papel para o ar corresponde à terceira etapa de cálculo.

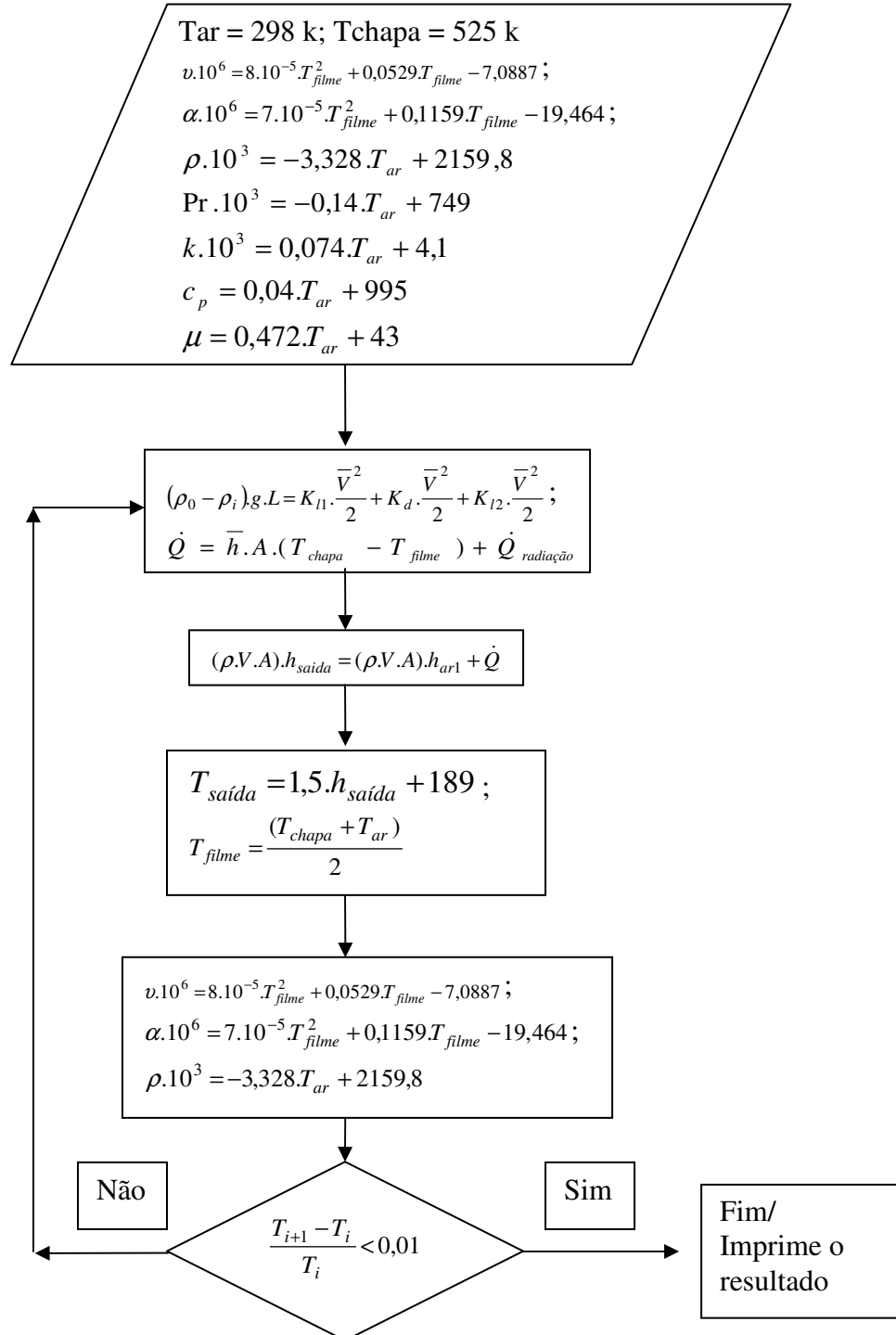
Para a determinação das propriedades de transporte e termodinâmicas do ar em função da temperatura, foram obtidas equações através de interpolações lineares e quadráticas dos valores destas propriedades (Incropera, 1998).





Foi estabelecido um limite máximo de 70°C (Smook, 1994) para a temperatura do papel. Acima desta temperatura, a secagem ocorreria com uma saída forçada de grande parte da umidade ligada a uma taxa bem elevada, podendo causar danos estruturais à estrutura fibrosa.

Através de cálculos preliminares seguindo a rotina acima descrita, chegou-se ao valor de 525 K para a temperatura da chapa de modo que a temperatura do papel não ultrapassasse os 70°C.



Onde  $\dot{Q}$  radiação representa o calor transferido por radiação da chapa para o papel. Atingido o regime permanente, esse incremento de calor passa a ser transferido do papel para o ar através da convecção.

$$\frac{\sigma \cdot (T_{chapa}^4 - T_{papel}^4)}{\left( \frac{1 - \varepsilon_{Al}}{\varepsilon_{Al} \cdot A_{chapa}} \right) + \frac{1}{A_{chapa} \cdot F_{(chapa, Papel)}} + \left( \frac{1 - \varepsilon_{papel}}{\varepsilon_{papel} \cdot A_{papel}} \right)} = \dot{Q}_{radiação}$$

Os valores utilizados nos cálculos são:

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$ ;  $L = 0,6 \text{ m}$ ;  $K_{I1} = 0,5$  (Entrada de ar na câmara de secagem. Fox-1998)

$K_d$  (coeficiente de perda de carga distribuída) =  $\frac{64}{Re} \cdot \frac{L}{D} = 2$ ;  $\varepsilon_{Al} = 0,06$  (Incropera, 1998)

$K_{I2}$  (coeficiente de perda de carga localizada na seção de saída) =  $0,78$  (Fox, 1998)

$F_{(chapa, papel)}$  (Calculado com base nos diagramas de Fator de Forma – INCROPERA, 1998) =  $0,7$ .

Os valores finais obtidos neste processo iterativo são:

$T_{ar} = 311 \text{ K}$

$\rho \cdot 10^3 = 1128 \text{ kg/m}^3$

$V = 0,397 \text{ m/s}$

$\nu = 28,94 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$\alpha = 41,12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$

$Q = 567 \text{ W}$

Com esses valores, temos as condições do ar ascendente que recebe o calor transferido da chapa e, devido à convecção, atua como um fluxo “forçado” sobre a superfície plana do papel. Com os valores de vazão de ar e temperatura das diversas partes do sistema, calcula-se a taxa de secagem (transferência de massa entre o papel e o ar secante).

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot L}{\mu} = 13047$$

$$Nu = 0,664 \cdot (Re)^{0,5} \cdot (Pr)^{1/3} = 67,45$$

$$h_c = \frac{Nu \cdot k}{L} = 3,19 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$\frac{h_c}{h_m \cdot C_p \cdot \rho} = \left( \frac{\alpha}{D} \right)^{1-c} = Le^{1-c} \approx 1$$

$$h_m = \frac{h_c}{c_p \cdot \rho} = 0,0029 \text{ m/s}$$

$$\dot{m} = h_m \cdot A \cdot \rho_i \cdot (\omega_{papel} - \omega_{ar}) = 0,00205 \text{ g/s} = 7,1412 \text{ g/h}$$

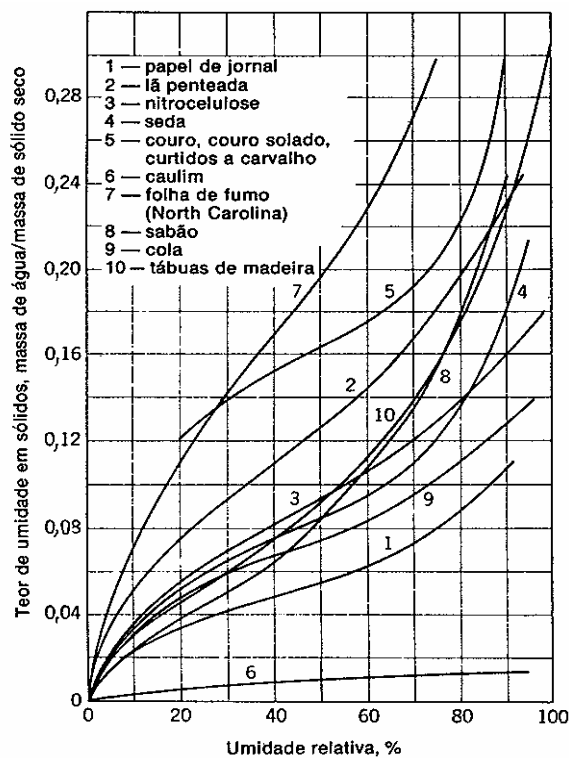
## 5. Limites de cada etapa do processo de secagem.

O papel produzido na Fibra Mais possui em média 24g de massa seca. As várias referências bibliográficas, baseadas nos diversos processos de secagem que abrangem desde os mais rústicos aos

mais industrializados, apontam empiricamente para o teor de 45% de sólido na estrutura fibrosa após a etapa de secagem (IPT, 1998). Seguindo estas referências, este é o valor adotado para os cálculos aqui propostos. Desta forma, a massa de água remanescente no papel após esta etapa é de:

$$\text{Massa de água} = \text{Massa total} - \text{Massa seca} = (24/0,45) - 24 = 29,33\text{g.}$$

A última etapa de secagem, que ocorre pela evaporação da água presente no papel, é limitada pelo teor de umidade de equilíbrio. Este valor depende da estrutura do sólido e da umidade relativa do gás utilizado para o processo de secagem, que no caso presente é o ar. Para grande parte dos materiais celulósicos, na umidade relativa média do município de Itariri, que é de 85% (ALESP, 2007), o teor de umidade de equilíbrio é de 20%, conforme o diagrama da figura 4.12. Devemos ressaltar que este valor é uma estimativa, e caso ele seja inferior, 20% é uma consistência que permite que o papel seja retirado do secador sem qualquer dano à sua estrutura:



**Figura 8** – Curvas de umidade de equilíbrio para vários materiais. Fonte: FOUST (1982)

A partir deste ponto, a continuidade de retirada de água é muito dificultada pela estrutura fibrosa que retém a umidade em sua estrutura. Essa dificuldade pode ser expressa pela relação entre a resistência interna à transferência de massa de uma espécie e a resistência à transferência de massa na camada limite, ou seja, o Número de Biot para transferência de massa, que para os materiais celulósicos em geral é da ordem de  $10^2$  (Manente, 2003). A relação entre essas resistências apresentando o valor muito superior a um indica que a continuidade do processo de secagem a partir deste teor, é absolutamente dispendioso e ineficaz. Assim, ao final desta etapa temos:

$$\text{Massa de água} = \text{Massa total} - \text{Massa seca} = (24/0,8) - 24 = 6 \text{ g (por folha)}$$

Portanto, a massa total a ser retirada nesta etapa é de 23,33 g.

Lembrando que a taxa de secagem obtida é igual a 0,00205 g/s, o tempo de secagem é de:

$$\text{Tempo de secagem} = 23,33/0,00205 = 11332 \text{ s} = 3,14 \text{ hs} = 3 \text{ horas e } 10 \text{ minutos por cada bateria de } 60 \text{ folhas.}$$

## 6. Consumo de madeira

A transferência de calor total transferido da chapa para o ar do secador e para as folhas de papel no processo de secagem é de 567 W.

Tanto a parede da fornalha, quanto a parede do secador serão projetados com material refratário para que as perdas de calor sejam mínimas. Para os materiais refratários utilizados, a emissividade é de 0,94 (Incropera, 1998). A emissividade da madeira utilizada na cobertura é de 0,93 (Incropera, 1998). Assim podemos estimar a transferência de calor por radiação para as paredes e cobertura do secador utilizando os fatores de forma calculados anteriormente.

$$\frac{1 - \varepsilon_{parede}}{\varepsilon_{parede} \cdot A_{parede}} \cong 0$$
$$\dot{q}_{rad} = \frac{\sigma \cdot (T_{chapa}^4 - T_{parede}^4)}{\left( \frac{1}{A_{chapa} \cdot F_{(chapa, Parede)}} \right)} = 16,81 W$$

Admitindo a temperatura da parede em equilíbrio com o ar.

Portanto, o calor total cedido pela chapa ao volume de controle é de 583,7 W. O calor total fornecido para o secador (composto por trinta unidades do volume de controle – sessenta folhas) é de 17,51 kW. Admitindo que a chapa esteja em equilíbrio e trabalhando em regime permanente, este é o valor energético a ser recebido pela queima da madeira.

Nos processos de queima de combustíveis sólidos, existe uma série de dificuldades no controle de temperatura, pois a velocidade da queima depende do excesso de ar, umidade do combustível, granulometria, estado de pulverização, processo de mistura com o comburente e outros fatores ligados à característica do próprio combustível. A oscilação acentuada no rendimento operacional se deve principalmente pela alimentação manual que exige uma ampla boca de entrada de material combustível, o que provoca uma significativa perda de calor e a entrada de grande excesso de ar.

Através dessas variáveis se faz uma série de estimativas relacionadas às perdas de calor em fornalhas. As mais modernas possuem uma perda inferior a 10%. Nas fornalhas de pequeno porte com queima de toras de madeira, as perdas chegam a 35% (PERA, Segunda Edição).

## 7. Taxa de queima da madeira.

O poder calorífico inferior do pinus é de 2400kcal/kg, ou seja, 10.032 kJ/kg. Portanto,

$$(\dot{M}_{mad} \cdot PCI) \cdot 0,65 = \dot{Q}_{Total}$$

$$\dot{M}_{mad} = 9,67 \text{ kg/h}$$

Para a secagem de uma bateria de 60 folhas em 3 horas e 10 minutos, é necessária a queima de 9,67 kg de pinus por hora.

## 8. Considerações Finais

O processo artesanal de produção da FIBRA MAIS ITARIRI tem despertado o interesse de pesquisadores e designers devido à rusticidade do processo e a peculiaridade do material produzido, o que acarreta em um aumento da demanda pelos produtos. No entanto, os gargalos atuais e potenciais impedem o aumento significativo da produtividade.

A solução proposta tem como premissa a continuidade da independência do processo em relação à energia elétrica, sobre tudo devido à falta de recursos financeiro que permitiriam investimentos em maquinários. O fornecimento constante de Pinus permite a exploração deste como fonte de energia e o poder calorífico deste material propicia o aquecimento da base da câmara provocando os efeitos convectivos e a criação do fluxo de ar forçado sobre as folhas de papel, aumentando a eficiência da secagem.

Os resultados obtidos permitem o incremento de 5400 folhas mensais (três turnos de 3 horas e 10 minutos por dia com 60 folhas por turno), ou seja, a nova escala produtiva da fábrica de Itariri será 108% superior à escala atual.

Vale ainda ressaltar que a forma com a qual o produto é fabricado, utilizando como fonte de energia térmica um recurso renovável, agrega valor e possui um apelo comercial significativo para o público que o adquire e atrai a atenção para uma comunidade que atua de forma sócio-ambientalmente responsável.

## 9. Referências

- ALESP - Indicadores do Estado de São Paulo. Acesso em [www.al.sp.gov.br](http://www.al.sp.gov.br)
- FAO – Food and Agriculture Organization, 2007. Acesso em [www.fao.org](http://www.fao.org)
- FOUST,A.S.; WENZEL,L.A.; CLUMP,C.W.; MAUS,L.; ANDERSEN,L.B. *Princípios das operações unitárias*. Editora Guanabara Dois S.A., Segunda Edição (1982). Parte 2, cap.18.
- FOX, R. W.; McDONALD, A.T, Introdução à mecânica dos fluidos – LTC Editora, Quarta edição (1998). 662p
- INCROPERA, F. P. ; DE WITT, D. P. Fundamentos da transferência de calor e de massa. LTC Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Quarta edição, (1998).494p.
- IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; ESCOLA SENAI “THEOBALDO DE NIGRIS” – *Celulose e papel – Tecnologia de fabricação da pasta celulósica* – Volume 1. Editoração: Departamento de Divulgação do IPT-1988. Segunda edição. 559p.
- MANENTE, J.C.P.P; *Efeito do dióxido de enxofre e do ácido lático na hidratação, rendimento e qualidade do germe de milho*. São José do Rio Preto, 2003. 117p. Dissertação (Mestrado) –Instituto de Biociências e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista.
- PERA, H.; *Geradores de vapor* – Editora Fama, Segunda Edição.
- ROJAS, M.L.B.; NEVES,J.M., *Caracterização de fibras de bananeira “Nanicão”, (Musa Grupo AAA, “Giant Cavendish”) como possível matéria-prima para produção de pasta celulósica para fabricação de papel*. Brasil, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT, DPF - Agrupamento de Celulose e Papel.1996.

## 10. Bibliografia adicional

- ARORA, H.L.. *Biomassa – Fundamentos e aplicações tecnológicas* – Departamento de Química Analítica e Físico-química e Núcleo de Fontes não convencionais de Energia da Universidade Federal do Ceará. 644p.
- ASHRAE, 2003; *ASHRAE Applications handbook* – Chapter 28. ASHRAE Atlanta
- CARVALHO, E.R. *Investigação sobre incandescência em madeira* – Dissertação de Mestrado – INPE, São José dos Campos, 2003. 82p.
- CEDRAN,L. - *Cartilha do papel artesanal*; Páginas & Letras Editora e Gráfica, 1997.
- COELHO,R.R.P.; MATA,M.E.R.M.; BRAGA,M.E.D. *Alterações dos componentes nutricionais do pseudocaule da bananeira visando sua transformação em palmito* - Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.3, n.1, p.21-30. 2001.

- COSTA, V.J. - *Modelo matemático para a combustão de carvão pulverizado e sua interação com a água* – Dissertação de Doutorado – Universidade Federal de Santa Catarina. 2002. 190p.
- DAVID, A.C. - *Secagem térmica de lodos de esgoto e determinação da umidade de equilíbrio* – Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, 2002. 151p.
- DOS SANTOS, G. R. V. *Otimização da secagem da madeira de Eucalyptus Grandis*. Piracicaba, 2002. 65p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.
- FIORAVANÇO, J.C.; *Mercado mundial da banana: Produção, comércio e participação brasileira*. Informações econômicas, SP. V.33, n. 10, out.2003.
- GUTIÉRRES,L.,ZULUAGA,R.,CRUZ,J.,GAÑÁN,P. – *Influencia del tratamiento con vapor sobre la estructura y comportamiento físico-mecánico de fibras de plátano* – Información tecnológica – Vol.16 N° 2 – 2005, págs: 15-21. Grupo de Investigación sobre nuevos materiales, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín – Colombia.
- IDELCIK,I.E., *Memento des pertes de charge* – Enrolles Editour Paris; Tradução da publicação original feita em Moscou 1960.
- IPT-INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO; ESCOLA SENAI “THEOBALDO DE NIGRIS” – Celulose e papel – Tecnologia de fabricação da pasta celulósica – Volume 2. Capítulo 3. Editoração: Departamento de Divulgação do IPT-1988. Segunda edição.
- LIMA, O.C. ; PEREIRA,N.C.;MENDES,E.S.-*Análise da cinética de secagem de papel artesanal com ar ambiente em convecção forçada*. Maringá, v.24 p.1665-1671, 2002.
- MIKI, M.K.; *Utilização de polímeros para condicionamento de lodos de ETE para desidratação em filtro de prensa de placas*. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica, 400p. 1998.
- SIMÕES-MOREIRA, J.R.;*Fundamentos e aplicações da psicrometria* – RPA Editorial, 194p. 1999.
- SMOOK, G. A., *Handbook for pulp and paper technologists* – Vancouver: Angus Wilde Publications, 1994. 419 p.
- SOFFNER, M. L. A. P., *Produção de polpa celulósica a partir de engaço de bananeira* – Piracicaba, 2001. 49p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.