

# Influência Das Condições Ambientais Sobre a Umidade E Temperatura Em Bobinas De Cartão.

I. Neitzel<sup>1</sup>, R. C. F. do Nascimento<sup>1</sup>, C. C. Bueno<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Faculdade de Telêmaco Borba - FATEB, Telêmaco Borba, Paraná, Brasil

## Abstract

O papel é uma matriz porosa, anisotrópica e estocástica de fibras de celulose [Yamauchi, 2002], [Harding, 2001].

A movimentação de líquidos no papel, em baixas concentrações (usualmente água), tem suficiente importância técnica para ser analisada quantitativamente. Esta movimentação pode ser descrita com escoamento capilar, mecanismos difusivos ou uma mistura de ambos juntamente com ponderações termodinâmicas [Foss, 2003], [Jain, 2004], [Bandyopadhyay, 2002], [Chatterjee, 2008]. A descrição da penetração e movimentação de água na forma líquida em papéis densos é feita predominantemente por mecanismos difusivos [Lyne, 2002].

O cartão é um material grosso feito à base de papel. Segundo a padronização ISO, é um papel com peso superior a 224 g/m<sup>2</sup>(gramatura), todavia outras classificações também são usadas [Pesch, 2012]. Depois de confeccionado é usualmente armazenado na forma de uma bobina cilíndrica, com dimensões típicas de 1,50 m para diâmetro e 1 m para largura com peso na ordem de grandeza de 4 toneladas [Figura 1]. Tipicamente a bobina está a temperaturas na ordem de 70°C e umidades abaixo de 10% e pode ser envolvida por uma bolsa de papel de baixa permeabilidade à água para protegê-la das condições atmosféricas e ambientais durante a estocagem [Figura 2]. As bobinas ocasionalmente ficam estocadas em armazéns por prazos até 150 dias.

Neste trabalho é utilizado um modelo simplificado [Nascimento, 2006] para analisar o comportamento dos perfis de temperatura e umidade e sua penetração em bobinas de papel submetidas a longos períodos de armazenagem. O modelo considera a transferência simultânea de calor e massa com o efeito Soret, mas sem o efeito Latour. O sistema é fechado em relação à umidade e aberto em relação à energia. As propriedades térmicas são dependentes da umidade e temperatura; o coeficiente de difusão é dependente da temperatura. A temperatura do ar internamente ao tubo foi analisada utilizando CFD (software COMSOL Multiphysics®) [Bueno, 2012] e para análise de comportamento típico foi considerada como síncrona com a temperatura ambiente, mas, fortemente atenuada [Nascimento, 2006].

O modelo foi implementado no COMSOL utilizando a interface para formulação matemática de equações diferenciais parciais na forma geral, "General Form PDE" (pois os fluxos dependem da temperatura e umidade), com geometria unidimensional e axisimétrica [figura 01]. A análise é

unidimensional para representar uma situação típica não dependente do arranjo espacial de armazenamento. Adicionalmente foi imposta uma restrição para preservação do balanço de massa no interior da bobina. Como o ar externo tem comportamento periódico (frequência circadiana) foi exigido do solver, em regime transiente, a preservação do teorema de amostragem de Shannon.

A penetração do comportamento cíclico da umidade e temperatura na bobina tem significativo impacto na degradação das propriedades elásticas do cartão, afetando o seu manuseio pelo cliente final. Para identificar a região da bobina submetida a este comportamento cíclico a simulação foi realizada considerando que a temperatura externa oscila em torno de um valor médio típico. As simulações mostraram [Figura 03] que oscilações com amplitude maior do que 1% (0,5%) do valor médio nominal penetram, para a umidade 7,5% (12,0%) e para a temperatura 8,3% (15,4%) no raio da bobina.

## Reference

T. Yamauchi, K. Murakami, Porosity and gas permeability, chapter 6 in: Habeger Jr., Charles C. et al; Handbook of Physical Testing of Paper, Volume 2, 2nd edition, 2002, Marcel Dekker, ISBN 0-8247-0499-1.

M. B. Lyne, Wetting and the penetration of liquids into paper, chapter 7 in: Habeger Jr., Charles C. et al; Handbook of Physical Testing of Paper, Volume 2, 2nd edition, 2002, Marcel Dekker, ISBN 0-8247-0499-1. [pg 313].

S.G. Harding, D. Wessman, S. Stentröm, L. Kenne, Water transport during the drying of cardboard studied by NMR imaging and diffusion techniques, Chemical Engineering Science, 56 (2001) 5269-5281.

W.R. Foss, C.A. Bronkhorst, K.A. Bennett, Simultaneous heat and mass transport in paper sheets during moisture sorption from humid air, International Journal of Heat and Mass Transfer 46 (2003) 2875–2886.

C. A. Jain, Moisture transport in paper and paper coatings, doctoral thesis, 2004, Drexel University.

Bandyopadhyay, B. V. Ramarao, S. Ramaswamy, Transient moisture diffusion through paperboard materials, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and engineering aspects, 206 (2002) 455-467.

S.G. Chatterjee, A Simple Description of Transient Moisture Diffusion in Paper, INDIAN CHEMICAL ENGINEER –Indian Institute of Chemical Engineers, Vol. 50 No. 1 January-March 2008, pp. 34-46.

L. R. Pesch, I. Neitzel, Cross Direction Bending Stiffness Profile Modelling in Paper Machine with Neural Networks, Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng., Ponta Grossa, 18 (2): 69-78, jul/dez. 2012, <http://www.revistas2.uepg.br/index.php/exatas>, DOI:10.5212/Publ.Exatas.v.18i2.0002.

R. C. F. do Nascimento, F. F. de Moraes, I. Neitzel, Simulação de transferência simultânea de calor e massa em regime transiente, em bobinas de cartão acabadas, relatório interno não publicado, 2006.

C. C. Bueno, I. Neitzel, Influência do caráter periódico da temperatura ambiente sobre o perfil de umidade e temperatura em bobinas de cartão estocadas, Trabalho de conclusão do curso de Engenharia Química da Faculdade de Telêmaco Borba, 2012.

# Figures used in the abstract

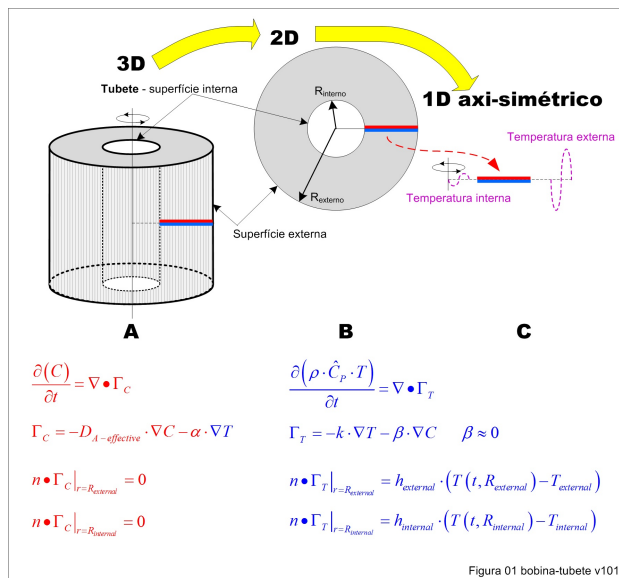


Figure 1: O modelo utilizado para simulação.

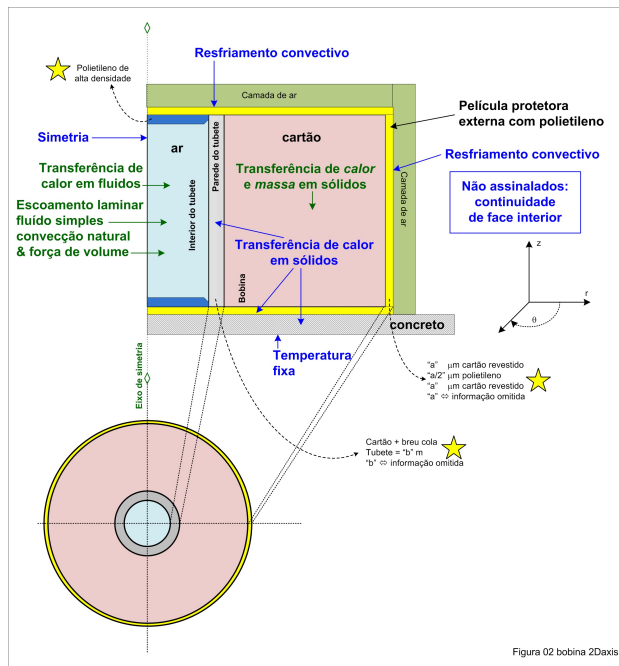
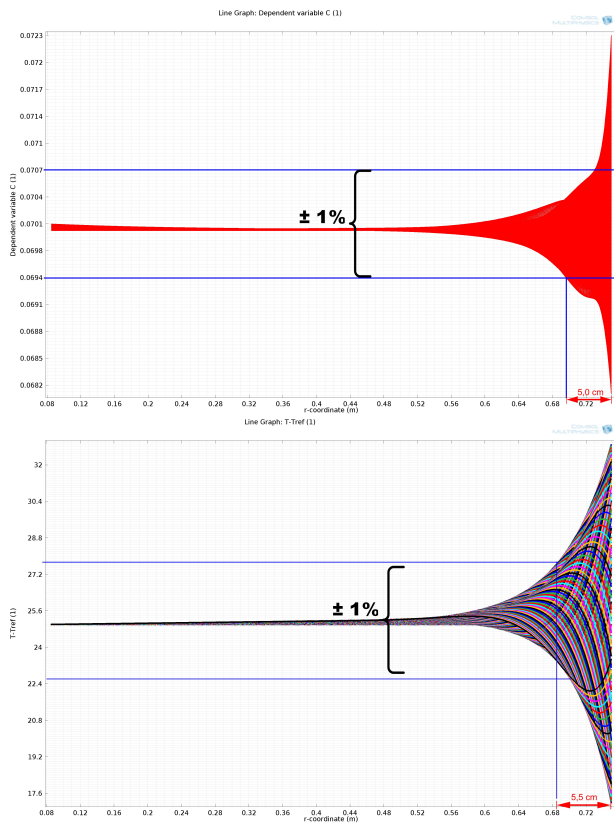


Figure 2: Uma vista da bobina e seus detalhes.



**Figure 3:** Comportamento da umidade e temperatura.