

**Processo de Obtenção de  
Nanocristais de Celulose a partir  
do Línter de Algodão**







ISSN 0103-0841

Dezembro, 2012

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
Centro Nacional de Pesquisa de Algodão  
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

# ***Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 94***

## **Processo de Obtenção de Nanocristais de Celulose a partir do Línter de Algodão**

João Paulo Saraiva Morais  
Morsyleide de Freitas Rosa  
Men de Sá Moreira de Souza Filho  
Lílian Chayn Alexandrino  
Ana Cassales Ribeiro

Campina Grande, PB

2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

**Embrapa Algodão**

Rua Osvaldo Cruz, 1143, Centenário  
CEP 58428-095  
Caixa Postal 174  
Fone: (83) 3182 4300  
Fax: (83) 3182 4367  
Home page: <http://www.cnpa.embrapa.br>  
E-mail: [cnpa.sac@embrapa.br](mailto:cnpa.sac@embrapa.br)

**Comitê de Publicações da Unidade**

Presidente: Odilon Reny Ribeiro Ferreira Silva  
Secretário-Executivo: Geraldo Fernandes de Sousa Filho  
Membros: Augusto Guerreiros Fontoura Costa, Gilvan Barbosa Ferreira, João Luis da Silva Filho, João Paulo Saraiva Morais, Liziane Maria de Lima, Marleide Magalhães de Andrade Lima, Valdinei Sofiatti e Virgínia de Souza Columbiano Barbosa  
Supervisão editorial: Geraldo Fernandes de Sousa Filho  
Revisão de texto: Everaldo Correia da Silva Filho  
Normalização bibliográfica: Ana Lucia Delalibera de Faria  
Tratamento de ilustrações: Oriel Santana Barbosa  
Editoração eletrônica: Oriel Santana Barbosa  
Foto da capa: João Paulo Saraiva Morais

**1ª edição**

1ª impressão (2012).

**Todos os direitos reservados.**

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Embrapa Algodão

---

Processo de obtenção de nanocristais de celulose a partir do línter de algodão / João Paulo Saraiva Morais ... [et al]. – Campina Grande : Embrapa Algodão, 2012.

19 p. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa Algodão, ISSN 0103-0841; 94)

1. Algodão – Nanotecnologia. I. Morais, João Paulo Saraiva. II. Embrapa Algodão. III. Série.

CDD 633.51233 (21. ed.)

# Sumário

Resumo.....	5
Abstract.....	7
Introdução.....	9
Material e Métodos .....	10
Resultados e Discussão .....	13
Conclusão.....	15
Referências .....	16



# Processo de Obtenção de Nanocristais de Celulose a partir do Línter de Algodão

---

João Paulo Saraiva Morais<sup>1</sup>  
Morsyleide de Freitas Rosa<sup>2</sup>  
Men de Sá Moreira de Souza Filho<sup>2</sup>  
Lílian Chayn Alexandrino<sup>2</sup>  
Ana Cassales Ribeiro<sup>2</sup>

## Resumo

A Nanotecnologia e a Química Verde têm se constituído, nos últimos anos, como alternativas viáveis para o desenvolvimento de novos materiais. Alguns desses materiais podem ser utilizados para síntese de produtos concorrentes aos derivados de petróleo, com a vantagem de serem biodegradáveis. Nesse contexto, o presente boletim vem mostrar resultados de pesquisas desenvolvidas por projetos internos da Embrapa, na qual um subproduto do algodão, o línter, é matéria-prima para o desenvolvimento de um insumo nanoestruturado, os *nanowhiskers* de celulose, passíveis de utilização no desenvolvimento de produtos manufaturados inovadores. Foi possível obter nanocristais com dimensões médias de 177 nm de comprimento por 12 nm de diâmetro, por meio de uma rota nanotecnológica de obtenção *top-down*, via hidrólise ácida. Esses cristais podem ser utilizados, por exemplo, como um aditivo no acabamento de peças têxteis, ou como reforço no preparo de nanocompósitos, como filmes biodegradáveis, ou estabilizantes de emulsões, dentre diversas outras funções. Dessa forma, cumprindo-se uma abordagem de biorrefinaria, a extração de nanocristais de celulose a partir do línter de algodão tanto agrega valor a uma biomassa, ainda tratada sob vários aspectos como um resíduo, quanto também se torna uma fonte local de um insumo portador de futuro.

**Termos para Indexação:** agronegócio, nanotecnologia, nanowhisquer de celulose, algodão, línter, *Gossypium hirsutum*.

<sup>1</sup>Farmacêutico, Mestre em Bioquímica de Plantas, Pesquisador da Embrapa Algodão, Campina Grande, PB, joao.morais@embrapa.br.

<sup>2</sup>Engenheira química, Doutora em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Pesquisadora da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, morsyleide.rosa@embrapa.br.

<sup>2</sup>Engenheiro químico, Doutor em Engenharia de Produção, Pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, men.souza@embrapa.br.

<sup>2</sup>Engenharia Química, Assistente da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, lilian.alexandre@embrapa.br

<sup>2</sup>Química industrial, Mestra em Ciência e Tecnologia dos Alimentos, Analista da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, ana.cassales@embrapa.br



# Obtaining Process and Application of Cellulose Nanocrystals from Cotton Linter

---

## Abstract

Nanotechnology and Green Chemistry are lately becoming viable alternatives for new bio-based materials. Some of them can be used for the synthesis of oil-based alternatives, plus the advantage of biodegradability. In this context, the following bulletin present results from Embrapa funded researches that transform a cotton by-product, the linter, in a raw-material for the development of a nanostructured industrial input, the cellulose nanowhiskers, which may be used for the development of innovative manufactures. It was possible to obtain nanocrystals with average length of 177 nm and average diameter of 12 nm, by a top-down nanotechnological pathway through acidic hydrolysis. These crystals can be used as additives in textiles, reinforcement of nanocomposites, biodegradable films, emulsion stabilizing, among other uses. So, a biorefinery approach is reached by the extraction of nanocellulose crystals from cotton linter and it is possible to add value to a product that until today is treated in many aspects as a waste, while it also becomes a local source of an innovative industrial supply.

**Index terms:** agribusiness, nanotechnology, cellulose nanowhiskers, cotton, linter, *Gossypium hirsutum*.



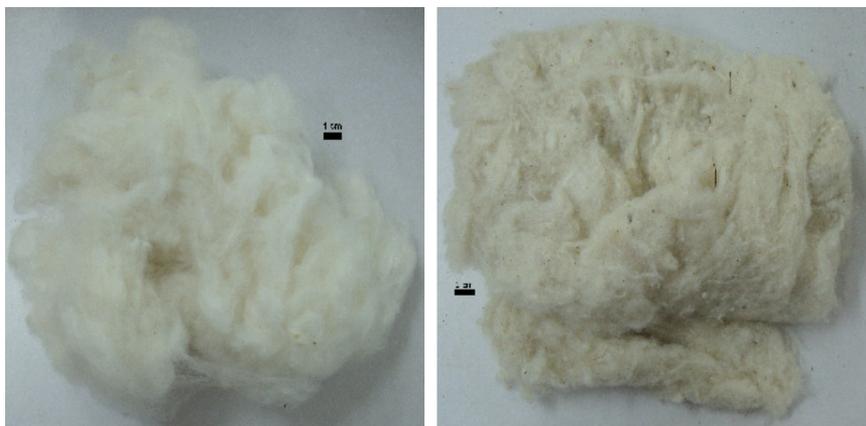
## Introdução

O algodão é a principal fibra têxtil natural utilizada no mundo. No ano de 2010, houve uma produção estimada de quase 23,5 milhões de toneladas de pluma de algodão ao redor do mundo, dos quais China e Estados Unidos foram os principais produtores. O Brasil foi o sexto maior produtor, com uma safra de 966.000 toneladas de pluma (FAO, 2012).

A semente de algodão é coberta por fibras longas, a pluma ou lint, que corresponde de 33% a 40% em massa. Além disso, a semente também é constituída, em massa, de 30% a 35% de amêndoa e de 8% a 12% de fibras curtas ou línter (Figura 1) (BELTRÃO; SOUZA, 1999). Com base nesses dados, pode-se estimar uma produção mundial de cerca de 7 milhões de toneladas de línter.

O línter retirado da semente não pode ser usado na fiação, porém é uma fonte de fibras amplamente utilizadas para reforço de compósitos tipo baquelite, produção de papéis técnicos e especiais, algodão cirúrgico, e como fonte de celulose para produção de celulose regenerada, acetatos, nitratos de celulose e éteres de celulose, como carboximetilcelulose. O línter é removido das sementes por máquinas semelhantes às desfibradoras que separam a fibra comercial, mas as suas serras são dispostas de forma mais próxima das sementes. Estas podem passar uma ou duas vezes através das serras, gerando o línter de primeiro e de segundo corte, respectivamente. O línter de primeiro

Foto: João Paulo Saraiva Moraes



**Figura 1.** Exemplos de pluma de algodão (esquerda) e línter de algodão (direita).

corde é mais limpo que o de segundo, já que ele é produzido com menos resíduos provenientes da semente (VIEIRA; BELTRÃO, 1999; SCZOSTAK, 2009).

A nanotecnologia trata da manipulação de átomos individuais ou moléculas para geração de estruturas organizadas. Essas estruturas, em escala nano, podem ter suas características físicas e químicas diferentes dos materiais em escala macro. Ela vem se apresentando como uma nova forma de se agregar valor a produtos convencionais, criando-se novas funcionalidades (MEDEIROS et al., 2006; KAOUNIDES et al., 2007; JEEVANI, 2011).

Nesse contexto, nanocristais de celulose, como os obtidos a partir do línter do algodão, podem ser empregados tanto como uma forma de se agregar mais valor a um resíduo agroindustrial gerado em grande volume e concentrado nas algodoeiras, como uma fonte de uma matéria-prima inovadora, para uso no desenvolvimento de novos produtos.

Dessa forma, o projeto intitulado “Desenvolvimento de novos produtos e processos para valorização de resíduos decorrentes da produção do biocombustível” estudou uma rota química capaz de se tornar um processo agroindustrial para a transformação do línter, um resíduo fibroso do algodão, em um insumo nanotecnológico, passível de emprego por outras indústrias de alta tecnologia.

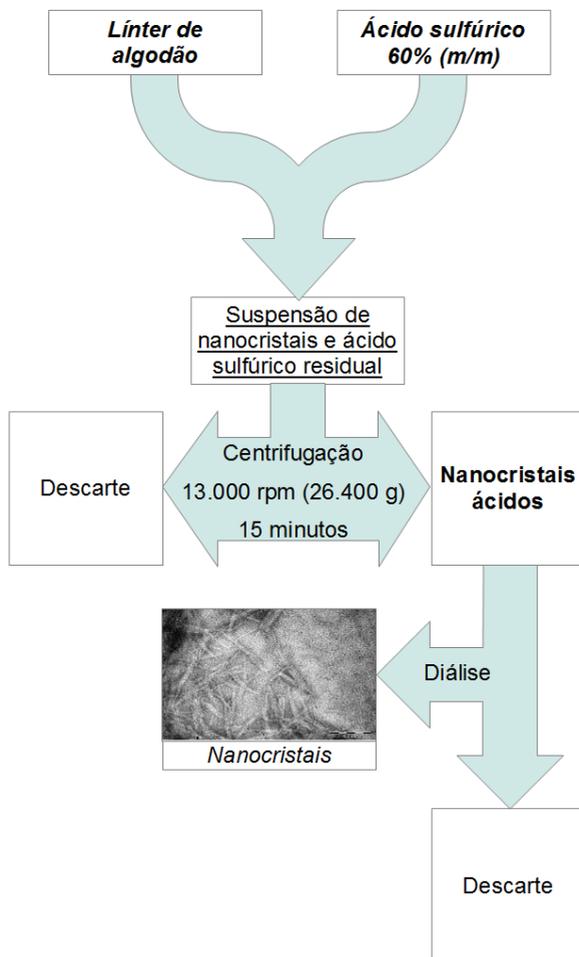
## Material e Métodos

O processo de obtenção dos nanocristais de celulose a partir de línter de algodão descrito a seguir é baseado no trabalho de Moraes e colaboradores (2013). Inicialmente, o línter foi moído em um moinho de facas, tipo Wiley, para redução dos agregados e obtenção de uma maior área para reagir com os materiais nas etapas seguintes.

A seguir, em um béquer de vidro ou outro material resistente a ácido, foi adicionada uma solução de ácido sulfúrico na concentração de 60% massa/massa<sup>1</sup> ao línter, na proporção de 1 grama de línter para cada 20 mL de solução de ácido sulfúrico. Nesta etapa do processo, foi

---

<sup>1</sup>Para o preparo a solução de ácido sulfúrico 60% massa/massa, deve ser observada atentamente a densidade do ácido que está sendo utilizado. Por exemplo, no caso de se utilizar um ácido sulfúrico concentrado a 98% e densidade de 1,84 g/mL, para o preparo de 100 mL dessa solução de hidrólise, deve-se considerar a adição de 33,274 mL de ácido a 38,7755 g de água destilada (aproximadamente 38,89 mL a 25 °C).



**Figura 2.** Fluxograma simplificado para a obtenção de nanocristais de celulose a partir de línter de algodão.

usado um agitador mecânico resistente ao ácido sulfúrico, como uma haste de Teflon® ou vidro. A mistura foi levemente aquecida a 45 °C e mantida sob agitação por 60 minutos (Figura 2). A reação foi paralisada com a adição de água destilada gelada (temperatura próximo a 0 °C) no mesmo volume de solução ácida aplicada. Ou seja, se foram usados, por exemplo, 1.000 mL de ácido sulfúrico 60% para 50 g de línter, seriam adicionados 1.000 mL de água destilada gelada para paralisar a reação.

Obteve-se uma suspensão de cor creme, de elevada acidez. Esse material foi centrifugado por 15 minutos a 13.000 rpm em uma centrífuga de marca Hitachi com rotor R13A, com uma aceleração equivalente a 26.400 g. Essa centrifugação é executada preferencialmente em uma centrífuga refrigerada, para prevenir que ocorra alguma reação indesejada provocada pelo calor do atrito dos tubos com o ar dentro do equipamento. Após esta etapa do processo, formou-se um precipitado e um sobrenadante transparente. Esse sobrenadante foi descartado adequadamente, já que é de elevada acidez e, a seguir, adicionou-se um volume de água destilada aproximadamente igual ao volume de sobrenadante descartado. Agitou-se o precipitado, para que resíduos de ácido ainda presentes fossem limpos pela água adicionada, e realizou-se mais uma centrifugação nas mesmas condições da etapa anterior do processo, para que essa nova água adicionada removesse a acidez do meio onde estão os nanocristais. Esse procedimento foi repetido até o sobrenadante não estar mais límpido. Esse início de turvação significa que está começando a haver perda de nanocristais na solução de descarte, devendo-se parar o processo. Geralmente, após a segunda ou terceira lavagem, já era obtida a referida turvação.

Para se obter cristais de nanocelulose com um nível de acidez adequado, o precipitado de nanocristais foi colocado em um saco de diálise, como, por exemplo, um saco de diálise com retenção de massa molecular de 12 kDa ou massa molecular maior. Essa suspensão foi dialisada contra água corrente, como, por exemplo, água de torneira com um fluxo de aproximadamente 1 mL/min, durante aproximadamente 48 horas, para que o pH do interior do saco de diálise estivesse igual ou levemente abaixo do pH da água usada no processo. Foi obtida, assim, uma solução 4% (massa/volume) de nanocristais de celulose em água.

Terminado o tempo de diálise, a suspensão dos nanocristais de celulose foi guardada em geladeira, em uma faixa de temperatura entre 0 °C e +5 °C, visando prevenir contaminação por microrganismos.

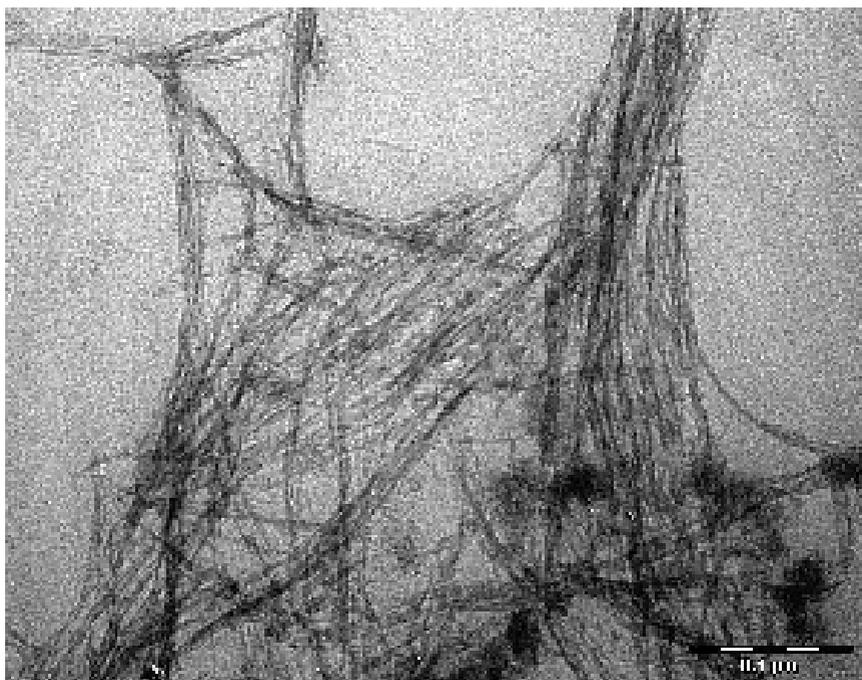
Os nanocristais tiveram seu potencial zeta medido com um equipamento Zetasizer 3000 NanoZS (Malvern), após a suspensão 4% ser diluída na razão de 1:100 (volume/volume). Também foi feita uma análise de microscopia eletrônica de transmissão dos nanocristais, com um microscópio Morgani 268D. Brevemente, uma amostra da suspensão de nanocristais na concentração de 4% (m/v) foi ultrassonicada com banho de ultrassom por 30 minutos. A seguir, 1 mL

dessa suspensão foi pingada sobre uma grade de níquel de 300 mesh, revestida com polímero Formvar®. Após 2 minutos, o excesso de água foi drenado com um papel de filtro Wathman número 2, e a grade foi invertida sobre uma solução de acetato de uranila 2% (massa/volume) por 5 minutos. Esse procedimento de inversão da grade sobre solução de acetato de uranila foi repetido mais duas vezes, e então a grade foi guardada em um gabinete para secar em condição ambiente, por 24 horas.

## Resultados e Discussão

Observa-se na Figura 3 a fotomicrografia de microscopia eletrônica de transmissão dos *nanowhiskers* de celulose de línter, com dimensões de diâmetro e comprimento na escala nanométrica.

Foto: João Paulo Saraiva Morais



**Figura 3.** Nanocristais de celulose resultantes do processo de obtenção via hidrólise ácida a partir do línter de algodão, visualizados por microscopia eletrônica de transmissão. Nota-se a estrutura em forma de agulhas ou bastões dos cristais.

Nanocristais de celulose do línter de algodão têm suas características próprias em relação a outros cristais de celulose (Tabela 1). Este processo leva à produção de materiais com um potencial zeta superficial de cerca de -45 mV, conforme medido no laboratório. Consideram-se como partículas estáveis em suspensão todas as partículas cujo módulo da carga do potencial zeta seja maior que 25 mV (MIRHOSSEINI et al., 2008).

De uma forma geral, nanocristais de celulose são um material versátil e com várias aplicações potenciais e diversas aplicações reais. Dentre os exemplos já largamente reportados na literatura científica para o uso de nanocristais de celulose, citam-se a produção de filmes comestíveis ou filmes biodegradáveis (AZEREDO et al., 2009, 2012); de compósitos com matrizes de poliuretano, látex, poli (óxido de etileno) e epóxi, dentre outras (EICHHORN et al., 2010); de géis (hidro ou aerogéis) (LEUNG et al., 2013) e de moldes para cultura de células animais, visando à futura produção de órgãos artificiais (DUGAN et al., 2013).

De acordo com a matéria-prima empregada para a síntese dos nanocristais, eles podem ter diferentes dimensões, que impactarão em diferentes propriedades físicas. Dependendo do que for desejado obter no nanocompósito, é possível escolher um nanocristal mais adequado para cada finalidade. Por exemplo, considerando-se uma mesma matriz de borracha natural e uma mesma concentração de nanocristais de celulose (10% m/m), obtidos pela mesma rota de hidrólise ácida com ácido sulfúrico, verificou-se que é possível aumentar tensão de ruptura em de 1,9 a 4,7 vezes, dependendo da origem dos nanocristais (respectivamente, polpa de bambu e bagaço de cana) (BRAS et al., 2010; VISAKH et al., 2012b).

**Tabela 1.** Dimensões médias de nanocristais de celulose de diferentes matérias-primas de origem em nanômetros, com o erro padrão associado\*.

Matéria-prima de origem	Línter de algodão	Fibra de Algodão	Fibra de coco verde	Bagaço de cana	Polpa de bambu	Fibra de sisal
Comprimento (C)/nm	177 ± 16	175 ± 75	210 ± 78	255 ± 55	350 ± 50	215 ± 67
Diâmetro (D) / nm	12 ± 1	15 ± 5	5 ± 1	8 ± 3	9,5 ± 4,5	5 ± 2
Razão de aspecto (C/D)	19 ± 6	10**	42 ± 16	32**	37**	43**

\*Fonte: Siqueira et al. (2009); Rosa et al. (2010); Shanmuganathan et al. (2010); Teixeira et al. (2011); Visakh et al. (2012a); Morais et al. (2013).

\*\*Dados do erro padrão não informados.

Além de filmes biodegradáveis, os nanocristais de celulose podem ser usados em nanocompósitos com aplicações de adesivos, eletrônicos e espumas, para citar um pequeno número de exemplos (EICHHORN et al., 2010). Também, recentemente, houve publicações que sugerem o uso de nanocristais para a funcionalização de têxteis, aumentando a rugosidade da superfície tratada, tornando-se possível impermeabilizar uma superfície e manter a outra superfície do mesmo têxtil permeável à água (JEEVANI, 2011).

Nanocristais de celulose, após modificação química, podem se tornar mais versáteis ainda. Por exemplo, podem ser usados como estabilizantes de emulsões (KALASHNIKOVA et al., 2012), reagentes em nanocompósitos com maior propriedade de barreira sobre oxigênio (FORTUNATI et al., 2012) e reforço com propriedade antimicrobiana em poliuretanas (LIU et al., 2012).

Na extração dos nanocristais de celulose a partir do línter, não foi necessário realizar nenhum pré-tratamento. Outras fontes promissoras de nanocristais, como as fibras de coco ou as fibras de dendê, ou mesmo a polpa de madeira, demandam etapas prévias de branqueamento, visando à remoção de lignina e outras substâncias que não a celulose (FAHMA et al., 2010; ROSA et al., 2010; FERRER et al., 2012). Nesses pré-tratamentos, comumente são gerados resíduos clorados, que podem aumentar o impacto ambiental.

## Conclusão

Apesar de já ser usado como uma matéria-prima celulósica que demanda baixo pré-tratamento, o línter ainda não é trabalhado, no Brasil, como uma fonte de agregação de valor à cadeia produtiva do algodão. Porém, com base nos resultados aqui apresentados, verificou-se que o línter tem potencial para ser transformado em um insumo para o desenvolvimento de novos materiais, empregáveis por um setor econômico em ascensão, de forma relativamente simples, atendendo à demanda de redução de resíduos, de agregação de valor e de química fina nacional.

## Agradecimentos

Os autores desejam agradecer à Rede de Nanotecnologia Aplicada ao Agronegócio Brasileiro e ao Centro de Tecnologias Estratégicas do Nordeste (Cetene) pelas fotos de microscopia eletrônica de transmissão.

## Referências

AZEREDO, H. M. C.; MATTOSO, L. H. C.; WOOD, D.; WILLIAMS, T. G.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; MCHUGH, T. H. Nanocomposite edible films from mango puree reinforced with cellulose nanofibers. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 74, n. 5, p. N31-N35, June/July 2009.

AZEREDO, H. M. C.; MIRANDA, K. W. E.; ROSA, M. F.; NASCIMENTO, D. M.; MOURA, M. R. Edible films from alginate-acerola puree reinforced with cellulose whiskers. **LWT - Food Science and Technology**, Zurich, v. 46, n. 1, p. 294-297, Apr. 2012.

BELTRÃO, N. E. de M.; SOUZA, J. G. de. Fitologia do algodão herbáceo (sistemática, organografia e anatomia). In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. v. 1, p. 55-86.

BRAS, J.; HASSAN, M. L.; BRUZESSE, C.; HASSAN, E. A.; EL-WAKIL, N. A.; DUFRESNE, A. Mechanical, barrier, and biodegradability properties of bagasse cellulose whiskers reinforced natural rubber nanocomposites. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 32, n. 3, p. 627-633, Nov. 2010.

DUGAN, J. M.; GOUGH, J. E.; EICHHORN, S. J. Bacterial cellulose scaffolds and cellulose nanowhiskers for tissue engineering. **Nanomedicine**, Oxford, v. 8, n. 2, p. 287-298, Feb. 2013.

EICHHORN, S. J.; DUFRESNE, A.; ARANGUREN, M.; MARCOVICH, N. E.; CAPADONA, J. R.; ROWAN, S. J.; WEDER, C.; THIELEMANS, W.; ROMAN, M.; RENNECKAR, S.; GINDL, W.; VEIGEL, S.; KECKES, J.; YANO, H.; ABE, K.; NOGI, M.; NAKAGAITO, A. N.; MANGALAM, A.; SIMONSEN, J.; BENIGHT, A. S.; BISMARCK, A.; BERGLUND, L. A.; PEIJS, T. Review: current international research into cellulose nanofibres and nanocomposites. **Journal of Materials Science**, Norwell, v. 45, n. 1, p. 1-33, Jan. 2010.

FAHMA, F.; IWAMOTO, S.; HORI, N.; IWATA, T.; TAKEMURA, A. Isolation, preparation, and characterization of nanofibers from oil palm empty-fruit-bunch (OPEFB). **Cellulose**, Dordrecht, v. 17, n. 5, p. 977-985, Oct. 2010.

FAO. **Faostat**. Disponível em: <<http://http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 8 ago. 2012.

FERRER, A.; QUINTANA, E.; FILPPONEN, I.; SOLALA, I.; VIDAL, T.; RODRÍGUEZ, A.; LAINE, J.; ROJAS, O. J. Effect of residual lignin and heteropolysaccharides in nanofibrillar cellulose and nanopaper from wood fibers. **Cellulose**, Dordrecht, v. 19, n. 6, p. 2179-2193, Dec. 2012.

FORTUNATI, E.; PELTZER, M.; ARMENTANO, I.; TORRE, L.; JIMENEZ, A.; KENNY, J. M. Effects of modified cellulose nanocrystals on the barrier and migration properties of PLA nano-biocomposites. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 90, n. 2, p. 948-956, Oct. 2012.

JEEVANI, T. Nanotextiles – a broader perspective. **Journal of Nanomedicine and Nanotechnology**, Los Angeles, v. 2, n. 7, p. 1-5, 2011.

KALASHNIKOVA, I.; BIZOT, H.; CATHALA, B.; CAPRON, I. Modulation of cellulose nanocrystals amphiphilic properties to stabilize oil/water interface. **Biomacromolecules**, Washington, v. 13, n. 1, p. 267-275, Jan. 2012.

KAOUNIDES, L.; YU, H.; HARPER, T. Nanotechnology innovation and applications in textiles industry: current markets and future growth trends. **Materials Technology**, Leeds, v. 22, n. 4, p. 209-237, Dec. 2007.

LEUNG, A. C. W.; LAM, E.; CHONG, J.; HRAPOVIC, S.; LUONG, J. H. T. Reinforced plastics and aerogels by nanocrystalline cellulose. **Journal of Nanoparticle Research**, Dordrecht, v. 15, n. 5, p. 1636-1659, May 2013.

LIU, H.; SONG, J.; SHANG, S.; SONG, Z.; WANG, D. Cellulose nanocrystal/silver nanoparticle composites as bifunctional nanofillers within waterborne polyurethane. **ACS Applied Materials & Interfaces**, Washington, v. 4, n. 5, p. 2413-2419, May 2012.

MEDEIROS, E. S.; PATERNO, L. G.; MATTOSO, L. H. C. Nanotecnologia. In: DURÁN, N.; MATTOSO, L. H. C.; MORAIS, P. C. de (Ed.). **Nanotecnologia: introdução, preparação e caracterização de nanomateriais e exemplos de aplicação**. São Paulo: Artliber, 2006. p. 13-29.

MIRHOSSEINI, H.; TAN, C. P.; HAMID, N. S. A.; YUSOF, S. Effect of Arabic gum, xanthan gum and orange oil contents on zeta-potential, conductivity, stability, size index and pH of orange beverage emulsion. **Colloids and Surfaces A. Physicochemical and Engineering Aspects**, Amsterdam, v. 315, n. 1/3, p. 47-56, Feb. 2008.

MORAIS, J. P. S.; ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; NASCIMENTO, L. D.; NASCIMENTO, D. M.; CASSALES, A. R. Extraction and characterization of nanocellulose structures from raw cotton linter. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 91, n. 1, p. 229-235, Jan. 2013.

ROSA, M. F.; MEDEIROS, E. S.; MALMONGE, J. A.; GREGORSKI, K. S.; MATTOSO, L. H. C.; GLENN, G.; ORTS, W. J.; IMAM, S. H. Cellulose nanowhiskers from coconut husk fibers: effect of preparation conditions on their thermal and morphological behavior. **Carbohydrate Polymers**, Barking, v. 81, n. 1, p. 83-92, May 2010.

SCZOSTAK, A. Cotton linters: an alternative cellulosic raw material. **Macromolecular Symposia**, Heidelberg, v. 280, n. 1, p. 45-53, 2009.

SHANMUGANATHAN, K.; CAPADONA, J. R.; ROWAN, S. J.; WEDER, C. Bio-inspired mechanically-adaptive nanocomposites derived from cotton cellulose whiskers. **Journal of Materials Chemistry**, Cambridge, v. 20, n. 1, p. 180-186, 2010.

SIQUEIRA, G.; BRAS, J.; DUFRESNE, A. Cellulose whiskers versus microfibrils: influence of the nature of the nanoparticle and its surface functionalization on the thermal and mechanical properties of nanocomposites. **Biomacromolecules**, Washington, v. 10, n. 2, p. 425-432, Feb. 2009.

TEIXEIRA, E. M.; BONDANCIA, T. J.; TEODORO, K. B. R.; CORRÊA, A. C.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C. Sugarcane bagasse whiskers: extraction and characterizations. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 33, n. 1, p. 63-66, Jan. 2011.

VIEIRA, R. de M.; BELTRÃO, N. E. de M. Produção de sementes do algodoeiro. In: BELTRÃO, N. E. de M. (Org.). **O agronegócio do algodão no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. v. 1, p. 429-453.

VISAKH, P. M.; THOMAS, S.; OKSMAN, K.; MATHEW, A. P. Cellulose nanofibres and cellulose nanowhiskers based natural rubber composites: diffusion, sorption, and permeability of aromatic organic solvents. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 124, n. 2, p. 1614-1623, Apr. 2012a.

VISAKH, P. M.; THOMAS, S.; OKSMAN, K.; MATHEW, A. P. Crosslinked natural rubber nanocomposite reinforced with cellulose whiskers isolated from bamboo waste: processing and mechanical/thermal properties. **Composites Part A. Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 43, n. 4, p. 735-741, Apr. 2012b.

**Embrapa**

---

**Algodão**

Ministério da  
**Agricultura, Pecuária  
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL  
**BRASIL**  
PAÍS RICO É PAÍS SEM POBREZA

CGPE 10723