

Da roda d'água a nanotecnologia: a trajetória da evolução tecnológica do setor têxtil.

Área temática: História de Empresas e História da Tecnologia

Ricardo Lopes Fernandes - UNICAMP
rlf_sepol@yahoo.com.br
Silvio Antônio Ferraz Cario – UFSC
fecario@yahoo.com.br

Resumo

O setor têxtil é o protagonista da I Revolução Industrial, sendo este o setor que desencadeou grande parte das transformações tecnológicas que culminaram na mecanização e automação do processo produtivo. Este artigo tem como objetivo apresentar ao leitor o caso de um setor específico, o têxtil, com a intenção de mostrar como os diferentes paradigmas tecnológicos afetam de forma diversa uma mesma atividade produtiva. Verificou-se que ao longo dos tempos, o setor têxtil perdeu a capacidade de ditar a dinâmica tecnológica passando a ser um tomador da tecnologia gerada em outros setores industriais. Colaboraram para este fato, o processo de sofisticação das tecnologias empregadas na indústria e o surgimento de novas atividades industriais ao longo do tempo, de modo se a incorporação da roda d'água no processo produtivo representou uma inovação disruptiva nos primórdios deste setor industrial, na atualidade a nanotecnologia representa uma solução tecnológica incorporada cada vez mais largamente no contexto deste setor.

Palavras-chave: indústria têxtil, tecnologia têxtil, história da tecnologia têxtil

Abstract

The textile industry is the protagonist of the First Industrial Revolution, which is the industry that triggered much of the technological changes that led to the mechanization and automation of the production process. This paper aims to introduce the reader to the case of a particular industry, textiles, with the intention of showing how different technological paradigms affect differently the same productive activity. It was found that over time, the textile industry has lost the ability to dictate the technological dynamics becoming a maker of technology generated in other industries. Contributed to this fact, the process of sophistication of the technologies employed in the industry and the emergence of new industrial activities over time, so the incorporation of water wheel in the production process represents a disruptive innovation in the early days of the industrial sector, nowadays Nanotechnology represents a technological solution built ever more widely in the context of this sector.

Keywords: textile industry, textile technology, textile technology history

1. Introdução

A indústria têxtil é reconhecidamente uma das principais protagonistas da I Revolução Industrial, e até os dias de hoje tem um papel significativo nas principais economias do mundo. Para se manter presente entre as principais atividades produtivas, este setor teve que se modernizar juntamente com os paradigmas industriais que vieram após a I Revolução Industrial.

A produção da indústria têxtil é caracterizada principalmente por bens de consumo não duráveis, podendo também ser chamados de bens de consumo salário, já que são bens de

consumo essencial, sendo superados em importância apenas pelos do gênero alimentício. Todavia, os produtos têxteis também são usados em diversos processos produtivos em outros setores industriais. Há uma gama diversificada de produtos desta indústria, entre as quais se destacam os tecidos para vestuário, – que podem ser fabricados com fibras de origem natural, sintética, artificial, ou mistos – em calçados, linha de decoração, – cortinas, estofados, tapetes – e também como insumo intermediário – no setor automotivo, aeronáutico - entre outras utilizações.

Como setor pioneiro, nos primórdios de suas atividades o setor têxtil foi o responsável por ditar o padrão de industrialização vigente na I Revolução Industrial, seja sob a perspectiva da organização do trabalho nas plantas produtivas, seja pelo escopo de como as tecnologias motrizes eram adotadas em outros setores depois de serem consolidadas nas atividades têxteis da Inglaterra dos séculos XVII e XVIII.

Entretanto, com o passar do tempo, outros setores de atividades superaram o têxtil em importância econômica e em importância em relação à dinâmica tecnológica industrial. Em face a este processo o setor têxtil deixou de ser o principal setor industrial no qual as inovações tecnológicas eram engendradas e passou a ser um incorporador das tecnologias geradas em outros setores de atividade.

Neste sentido, a discussão da trajetória tecnológica do setor têxtil apresentada neste artigo tem como objetivo apresentar ao leitor o caso de um setor específico com a intenção de mostrar como os diferentes paradigmas tecnológicos afetam de forma diversa uma mesma atividade produtiva. Como forma de alcançar este intento, busca-se mostrar como as inovações foram influenciando a dinâmica produtiva do setor têxtil desde a adoção da roda d'água, passando pela adoção do vapor, energia elétrica, utilização de polímeros artificiais e sintéticos na elaboração de fios e mais recentemente lançando mão da nanotecnologia para elaborar fios e realizar o processo de acabamento dos tecidos.

Uma das principais conclusões retiradas desta análise refere-se ao fato de que a base do conhecimento necessária para a realização de inovações tornou-se cada vez mais sofisticada. Neste sentido, se durante a gestação e a efetivação da I Revolução Industrial as inovações eram em geral decorrentes da observação e do conhecimento técnico de como o processo de produção ocorria, na medida em que a evolução da atividade industrial avançou, a incorporação da ciência como elemento central do processo inovativo se tornou cada vez mais evidente.

Nesta perspectiva analítica, este texto está dividido em 6 seções, sendo que nesta 1ª. apresenta-se o objetivo; na 2ª. seção apontam-se os primeiros avanços tecnológicos na

indústria têxtil; na 3^a. descrevem-se as mudanças técnicas na produção de fios e processos; na 4^a. apresentam-se as modificações em máquinas e equipamentos; na 5^a. seção as modificações em acabamento de tecidos; e, por fim na 6^a. seção faz a conclusão.

2. Do primórdio da mecanização à energia elétrica

O conhecimento sobre a arte de se tramar os fios e dar origem aos tecidos acompanha o homem a cerca de 5000 anos. Inicialmente a produção deste artigo se dava no ambiente doméstico, e era organizado pelos membros da família. Todas as etapas de produção ocorriam dentro do ambiente familiar desde a obtenção das fibras, elaboração dos fios, manuseio do tear e o acabamento do tecido. Desta maneira, a produção de tecidos era caracterizada, neste período, como um processo bastante artesanal que demandava bastante tempo, sendo realizado de forma escalonada com o plantio dos alimentos e a criação de animais. Com efeito a tecnologia empregada na produção têxtil àquela época caracterizava o tecelão (ou tecelã) como um artesão, dada a maneira bastante rudimentar do processo de produção.

A partir do século XVI verifica-se de forma mais frequência a desvinculação da produção têxtil das atividades domésticas, passando-se doravante a se organizar em lugares específicos, contribuindo para a melhoria da escala de produção por meio da especialização produtiva. Tal desvinculação da atividade têxtil do ambiente doméstico vai se intensificando até o século XVIII culminando na I Revolução Industrial. O relatório da EPA (1997, p. 3) aponta como se deu este processo:

The industry was a primarily a family and domestic one until the early part of the 1500s when the first factory system was established. It wasn't until the Industrial Revolution in England, in the 18th century, that power machines for spinning and weaving were invented. In 1769 when Richard Arkwright's spinning frame with variable speed roller was patented water replaced manual power.

Este trecho também aponta para um ponto importante dentro da dinâmica da evolução técnica do setor têxtil, a substituição da força humana no processo de preparação dos fios para uma força obtida por meio da movimentação da água. Por meio de um sistema de transmissão de força e de variação da força obtida, era possível construir fios com muito mais rapidez do que era possível com os equipamentos manuais. Este avanço apresenta dois desdobramentos importantes: por um lado elevou a produtividade de forma considerável em comparação ao processo de fiação manual, por outro lado, em razão do aumento de produtividade, este processo retirava dos artesãos a capacidade de concorrer com a produção em escala industrial, trazendo para o ambiente industrial a produção têxtil de maneira irreversível.

Entretanto, o método encontrado para criar energia motriz para as empresas têxteis naquela época exigia que as unidades fabris estivessem localizadas às margens dos rios, notadamente aqueles que apresentassem maior correnteza da água ou uma queda que produzisse força suficiente para “virar” a fábrica. Esta característica técnica fazia com que a fábrica nem sempre estivesse instalada onde a mão-de-obra estava, trazendo limitações para as atividades, ou criando novos povoados ao redor das fábricas. Muitas cidades europeias surgiram em função deste fato.

Além do processo de fiação e de tecelagem propriamente dito serem dependentes a energia motriz proveniente dos cursos d’água, o processo de acabamento também exigia o uso abundante de água, estabelecendo, portanto, um elo de ligação bastante forte entre a atividade têxtil e a disponibilidade de água para o desenvolvimento da produção. A ligação entre o elo de acabamento e a disponibilidade de água persiste até os dias de hoje, em maior e menor grau dependendo da variedade do tecido produzido e o tipo de matéria-prima utilizada na produção.

Entretanto, as inovações tecnológicas da indústria têxtil naquele período não se resumiam apenas aos avanços ligados a energia motriz, também estavam relacionados com a utilização de novas variedades de fio, notadamente a substituição do linho e da lã pelo algodão, melhorias no processo de acabamento dos produtos, e novas técnicas de tecelagem. Como o sistema de produção industrial era algo bastante recente, e havia uma dinâmica tecnológica bastante intensa devida à imaturidade das técnicas de produção industrial, as patentes industriais se revelaram uma importante ferramenta de proteção contra as cópias. Neste sentido, Griffiths *et al* (1992) apresenta um conjunto de dados que apontam que entre 1700 e 1800 foram introduzidas 197 inovações no setor têxtil na Inglaterra, sendo que 77 destas inovações foram patenteadas pelos seus respectivos inventores, ou seja, mesmo naquela época, cerca de 45% das inovações obtidas já foram protegidas de cópia através do uso de patente.

É importante destacar que até este momento, a base de conhecimento necessário para engendrar as inovações era bastante pequena, em geral os próprios operários envolvidos no processo de fabricação dos tecidos, das máquinas como as urdideiras e os teares, bem como os gestores das empresas em busca de incremento de produtividade eram os responsáveis pelo invento que daria corpo à inovação¹.

¹ Segundo Schumpeter (1912) os inventos apenas podem ser considerados como sendo inovações quando estes tiverem sido incorporados ao processo produtivo, ou seja, o avanço tecnológico apenas poderá ser considerado

A introdução do algodão, no final do século XVII, foi um desdobramento da mecanização da produção têxtil, já que o manuseio do algodão e das suas fibras facilitavam a mecanização e a automação da produção. Nestes termos, com a maciça introdução da fibra de algodão nas fábricas têxteis inglesas e sua difusão em outros países, tais como França, Estados Unidos, Alemanha entre outros, fez crescer de maneira bastante acentuada a demanda por algodão. Tal demanda era em grande medida suprida pelas colônias europeias, tais como os países americanos, no norte, centro e no sul e países africanos.

Griffiths et al (1992) apontam que muitos dos processos desenvolvidos no século XVIII estiveram ligados a mistura de diversas fibras na confecção dos produtos e ainda relacionadas ao acabamento dos produtos. A importância para a etapa de acabamento do produto se mostra mais intensa a partir de 1760, quando o número de patentes relacionadas ao acabamento se eleva de 27% do total de patentes para 38%. Porém, outro dado relevante relacionado às características das inovações levantado pelos autores é de que 60% das inovações no período de 1700 e 1800 estavam voltadas à diversificação dos produtos. Destarte, são tiradas duas conclusões sobre o padrão da mudança técnica daquele período na indústria têxtil inglesa, em relação à introdução de inovações:

Two basic assumptions underlie analysis at this macro level: first, that a consistent relationship obtained between the patent series and total inventive activity; and second, that growth in the volume of registered patents reflected an acceleration in the rate of technical progress (Griffiths et al, 1992, p. 882).

A proteção por meio de patentes no início era perfeitamente compreensível por constituírem uma ferramenta de garantia oferecida pelo Estado de que os empresários envolvidos com a produção têxtil iriam obter os retornos esperados do capital investido em busca das soluções tecnológicas². Este sistema de proteção às inovações estava estabelecido tanto na Inglaterra como nos Estados Unidos para proteger as inovações obtidas, porém, como o fluxo migratório para o continente americano era grande neste período, muitos técnicos, ou mesmo simples operários, detentores de algum conhecimento sobre o sistema de produção industrial inglês, foram muito bem recebidos no novo continente. Este fluxo migratório apresentou um papel importante no processo de desenvolvimento tecnológico americano em razão de que eles acabaram por disseminar a tecnologia da produção têxtil, e em seguida, por

inovação caso ele seja mais eficiente tecnicamente, como também se ele apresentar viabilidade econômica, deste modo ele irá ser adotado como a melhor forma de “fazer as coisas”.

² Schumpeter (1942) aponta que a principal motivação pela busca das inovações está relacionado com a busca de ganhos extraordinários por parte dos empresários (no sentido Schumpeteriano), entretanto, aponta que estes ganhos extraordinários são temporários e se extinguem na medida que a inovação vai sendo incorporada pelos concorrentes. Neste sentido, o mecanismo da patente, naquela época, e em diversos setores de atividade até os dias de hoje, se constitui um instrumento essencial para garantir os incentivos necessários para motivar práticas inovativas.

meio da incorporação e disseminação de novas habilidades, em relação as atividades têxteis, os Estados Unidos passaram a ser uma fonte importante de inovação tecnológica para o setor.

Muitas destas patentes também estavam relacionadas ao processo de fiação dos tecidos. O grande problema da mecanização da produção têxtil era desenvolver fios capazes de suportar a produção através de mecanismos não manuais. Os primeiros processos de produção mecanizados adotavam urdume de algodão, porém, a trama tinha de ser feita ainda com linho em função da pouca resistência do fio de algodão para este fim. A invenção de Arkwrith em 1768 de uma máquina de cardar que permitia a obtenção de fios grossos e robustos o suficiente para que a produção de tecidos pudesse ser realizada somente com algodão constituiu uma importante inovação tecnológica para a época.

A inovação de Arkwrith teve importância não apenas enquanto processo produtivo, seja no aumento da velocidade de produção, seja na introdução de um equipamento mais sofisticado no processo de fiação, mas permitiu a obtenção de artigos mais leves e mais baratos, o que possibilitou a popularização destes artigos. Tal popularização dos produtos da indústria têxtil surte efeitos interessantes na dinâmica da revolução industrial, pela relação virtuosa entre a elevação da escala de produção e a aceitação da produção por parte da sociedade, em função dos baixos custos. Neste sentido, a inovação obtida por Arkwrith pode ser considerado tão marcante quanto a linha de montagem de Ford (Musson e Robinson, 1960).

Todavia, a produção por meio da roda d'água representava muita vulnerabilidade às mudanças climáticas, de maneira que nos períodos de estiagem se reduzia a capacidade produtiva e no período de excesso de chuva, a produção também estava vulnerável a cheia do rio. Por meio do desenvolvimento da tecnologia do uso do vapor d'água como força motriz, a produção têxtil ganha outro impulso, já que ela se torna mais regular. Segundo Alves (1999) a introdução do vapor nas máquinas têxteis foi dada em 1785 por Cartwright.

O vapor não traz apenas vantagens diretas à produção têxtil como também por meio dos avanços na mineração e na produção de ligas de ferro mais leves, ganha-se com a redução do peso e com o barateamento das estruturas das máquinas utilizadas na indústria. O espraiamento destas inovações nas atividades de fiação, tecelagem e acabamento dos tecidos repercute de maneira bastante positiva, porém, este processo de substituição das fábricas movidas à energia hidráulica pelas movidas a vapor não é muito rápido.

As dificuldades enfrentadas para as fábricas têxteis adotarem vapor estavam ligadas a falta de técnicos especializados na nova fonte de energia e ao custo elevado de substituição dos teares feitos de madeira pelos novos teares à vapor feitos de ferro. O elevado custo inicial

dos teares de ferro estava relacionado exatamente a falta de tecnologia para sua fundição, fato que levou algum tempo para ser resolvido.

A adoção do vapor também imprimiu à necessidade de adequação dos fios as novas máquinas e sua a velocidade de produção. Segundo Alves (1999), os equipamentos de fiação denominados *jenny* e *water frame*, desenvolvidos juntamente com a introdução dos teares movidos à energia hidráulica não seriam capazes de produzir fio que pudessem ser utilizados nos novos teares à vapor. Entretanto, por meio da inovação obtida por Samuel Crompton em 1775, foi produzida uma máquina que era capaz de produzir fios reunindo as características dos fios produzidos pelas duas máquinas anteriores, que passou a ser denominado *mule frame*. Segundo Alves (1999, p. 28):

[...] Samuel Crompton começara a desenvolver uma máquina que comportava tanto elementos da *jenny* como elementos da *water frame*, que pelo seu caráter híbrido foi denominada *mule*, através da qual se produzia um fio fino e forte, próprio tanto para trama como para urdidura, introduzindo um salto qualitativo (e quantitativo) importante na medida em que se passa a poder produzir vários tipos de tecido, combinando os diversos tipos de fios.

Segundo aponta Baines (1835) a criação de Crompton poderia ser considerada a perfeição do processo de fiação de algodão naquele momento do desenvolvimento tecnológico do setor têxtil, permitindo que fossem introduzidos fios muito mais finos de algodão no processo de urdimento, além de por meio da *mule* ser possível realizar a produção utilizando-se um número reduzido de operários. Neste sentido, nota-se que a inovação em processo promovida pela *mule* de Crompton possibilitou a incorporação do vapor nas plantas produtivas aumentou a produtividade e também permitiu conceber novos tipos de fios e tecidos. Entretanto, Samuel Crompton não teve possibilidade de proteger com patente sua *mule frame*, em razão de que ele não dispunha dos recursos necessários para tal, de maneira que ele não se beneficiou dos benefícios econômicos gerados pela inovação engendrada por ele.

Outro fator importante relacionado com a fiação dos tecidos está relacionado com a invenção de uma máquina de dez encaroçar algodão, desenvolvida por Whitney em 1793. Este equipamento permitiu o descaroçar o algodão por meio de serras, eliminando o trabalho manual antes realizado por escravos. Este novo processo de produção permitiu a ocorrência de um salto de produtividade de grande monta na etapa de preparação do fio de algodão, tornando possível aos Estados Unidos fornecer todo o algodão que a Inglaterra demandava³.

³ Antes da invenção deste equipamento o Brasil se constituía um grande concorrente para a produção de algodão dos Estados Unidos. Os estados do nordeste do Brasil produziam uma grande quantidade de algodão de boa qualidade para a época, que era exportada para a Inglaterra para a produção de tecidos. Como a mão de obra

Com todos os avanços produzidos pela introdução das máquinas à vapor, seja na etapa de fiação, de tecelagem e no acabamento, o mais evidente deles é o aumento sensível na produtividade. O efeito do crescimento da produtividade foi um expressivo incremento na popularização da produção industrial, já que o que se buscava nesta etapa do desenvolvimento capitalista era uma escala da produção cada vez maior.

No século XIX, foram introduzidas diversas inovações no setor de transportes, comunicação, e no setor de energia, como o petróleo e a eletricidade. Esta última trouxe novas possibilidades de avanço tecnológico para a atividade têxtil, já que através do uso de motores elétricos, as correias e os eixos de transmissão do movimento do pistão à vapor podiam ser dispensados. Porém a adoção da energia elétrica como matriz energética no setor têxtil não se constituía uma tarefa simples. Dado o fato de que as unidades fabris do setor têxtil foram historicamente localizadas nas proximidades dos cursos d'água, nem todas as fábricas encontravam-se localizadas nas proximidades das fontes geradoras de energia elétrica da época, o que exigia a construção de fontes de geração de energia ou de redes de transmissão específicas para estas empresas, para que pudessem ser adotadas. Nestes termos, as primeiras empresas a adotar energia elétrica são as que estavam localizadas nas regiões aonde as linhas de transmissão chegaram antes.

Com efeito, a evolução tecnológica do setor têxtil dentro do contexto da I Revolução Industrial apresenta um caráter distinto do que é verificado nos estágios seguintes de seu processo evolutivo. No primeiro período, o setor Têxtil destacava-se como o setor líder do processo de desenvolvimento tecnológico, ou seja, era neste setor que eram verificados os principais avanços tecnológicos que alteraram a forma como se distribuía a divisão social do trabalho, ou em outros termos, é em decorrência da dinâmica tecnológica deste setor que se fomenta a constituição de diversos aglomerados urbanos, êxodo da população das atividades rurais para trabalhar nas atividades industriais, notadamente na Inglaterra⁴.

Conforme apontam Braverman (1984) e Freeman (1974), ainda que se verifique a participação do conhecimento científico na obtenção dos avanços tecnológicos que deram corpo as inovações obtidas no período da I Revolução Industrial, também é bastante claro, que grande parte das inovações obtidas ocorrem por meio da habilidade de empresários,

escrava era utilizada para retirar os caroços do algodão tanto aqui como nos Estados Unidos, a invenção pioneira dos americanos da máquina de descarregar, retirou dos brasileiros a capacidade competitiva em relação ao algodão, este fato desestimulou a produção de algodão nos estados do nordeste do país, criando uma lacuna de alguns anos até que atividade se recuperasse.

⁴ Em razão da dificuldade de se enveredar por questões complexas que envolvem este período da história, principalmente no que se refere às tensões sociais decorrentes do ocaso do feudalismo e do crescimento das relações de produção capitalistas, assim como pelo fato que esta descrição pouco nos auxilia na presente discussão, optou-se por não tratar das transformações sociais que deram corpo a este processo.

inventores, artesão e de operários envolvidos nas atividades produtivas, tal como apontado anteriormente. Tais inovações são fruto de sua capacidade de observação e do conhecimento acumulado ao longo do tempo a respeito da lógica do processo produtivo a que estes trabalhadores estavam inseridos. A partir deste acúmulo de conhecimento a cerca do ofício que desempenhavam, eles puderam contribuir para sua melhoria.

Com a introdução das inovações que caracterizam a II Revolução Industrial no setor Têxtil, o que se nota é que há um aumento da complexidade das técnicas de produção, complexidade esta que foi se enrobustecendo à medida que mais e mais inovações incrementais e radicais foram sendo incorporadas nos processos de produção e em novos produtos. Este crescimento da base técnica tornou muito remota a possibilidade de um indivíduo dotado apenas de conhecimentos práticos desenvolver inovações relevantes para o desenvolvimento do sistema capitalista de produção. A afirmação de Freeman (1974, p. 32) aponta para este mesmo norte:

Pero hasta poco tiempo el conocimiento de estas artes y oficios, como solía denominásemos, estaba en gran medida basado en las habilidades manuales y de observación, así como en la experiencia práctica que se iba transmitiendo de generación en generación por medio de un cierto aprendizaje.

Com efeito, se na I Revolução Industrial a ciência se apresenta de maneira, indireta, geral e difusa, (Braverman, 1984), na II Revolução Industrial, considerada como sendo uma Revolução Técnico-Científica⁵ seu papel é proeminente e decisivo. O papel secundário da ciência na I Revolução Industrial deve-se ao fato de que esta ainda não se encontrava estruturada sob uma base capitalista. Por outro lado, antes que a ciência pudesse representar papel relevante dentro do sistema de produção capitalista, era necessário que houvesse o desenvolvimento da técnica, conforme se verifica nas inovações obtidas na Revolução Industrial.

O entendimento deste novo cenário dentro do contexto evolutivo do sistema de produção industrial é extremamente importante para entender a evolução tecnológica que o setor têxtil vivencia a partir da incorporação da energia elétrica como energia motriz. A partir do século XX as inovações mais importantes pelas quais o setor têxtil passou estavam agora assentadas em uma base técnica extremamente sofisticada, seja por meio da obtenção de

⁵ Esta revolução é considerada como sendo técnica-científica pelo fato de que além da base técnica ter se alterado de forma contundente, a forma como as práticas científicas foram orientadas para sustentar as demandas técnicas neste novo paradigma técnico-econômico (Freeman e Perez, 1988). Neste sentido, as práticas científicas foram orientadas para padrão muito mais utilitário, ou de aplicação, em relação ao período anterior, em que as práticas científicas eram orientadas mais fortemente por mera curiosidade do saber. Para melhor compreender este processo ver Braverman (1984), Freeman (1974), Noble (1977), Landes (2005), entre muitos outros.

polímeros que deram corpo as fibras artificiais e sintéticas, como se verá mais adiante, ou pela elaboração de bens de capital cada vez mais sofisticados.

Entretanto, neste instante da discussão da evolução tecnológica do setor têxtil é importante destacar que em razão do aumento consistente da base de conhecimento para obtenção destas inovações e pelo surgimento de indústrias cada vez mais intensivas em tecnologia, o setor têxtil deixou de ser o setor onde as inovações eram geradas e passou a ser um setor que recebe as inovações geradas em outros setores. Sob a taxonomia proposta por Pavitt (1984) este setor na atualidade, em termos tecnológicos, pode ser considerado um setor dominado por fornecedores, seja de bens de capital, seja de insumos como fios e produtos químicos para o acabamento de tecidos.

3. A evolução da tecnologia de produção de fios e do processo de fiação

A evolução dos fios sempre constitui uma importante variável dentro da dinâmica da produção do setor têxtil. Assim como foi apresentado no tópico anterior a evolução dos teares mecanizados estava intimamente ligada a disponibilidade de fios capazes de suportar a velocidade e a forma de operar destes novos equipamentos. Com a mecanização, os fios produzidos a partir das máquinas de fiar tipo jenny e water frame estavam além da capacidade de produção dos teares disponíveis à época, porém, com a introdução dos teares movidos à vapor, isto se inverte, passando os teares a estarem a frente do desenvolvimento tecnológico da etapa de fiação. Este troca-troca de posição de vanguarda entre o setor produtor de fios e de equipamentos perdura até hoje. Neste tópico o objetivo principal é apresentar qual é a trajetória tecnológica dos fios utilizados na produção têxtil.

Atualmente se pode desagregar os fios disponíveis para a produção têxtil nos fios de origem natural e nos fios de origem química. Os fios de origem química começaram a ser desenvolvidos ainda no século XIX. Inicialmente foram desenvolvidas as fibras artificiais, que através de reações químicas empregadas em fibras naturais são obtidas novos tipos de fibras que apresentam características diferentes das originais. O desenvolvimento desta tecnologia ocorre de forma casual a partir da descoberta do químico C. F. Schönbein em 1846, que ao verificar que a fibra de celulose presente no algodão poderia ser convertida em uma substância plástica solúvel através da ação do ácido sulfúrico e do nitrato. Com o desenvolvimento deste processo foi desenvolvida a fibra de rayon e a viscose. Estas fibras passaram a compor a produção têxtil ainda no século XIX (Gupta e Kothari, 1997).

Outro tipo de fibra química são as sintéticas. O processo de desenvolvimento destas fibras ocorre apenas por volta de 1928 através de W.H. Carothers nos Estados Unidos. As pesquisas de desenvolvimento do novo tipo de filamento seguem até 1932, quando se consegue chegar a um filamento compatível com as características desejáveis para a produção têxtil. No entanto, o filamento sintético passa a ser produzido comercialmente apenas em 1938 pela Dupon, sendo conhecido como o nylon 66. Esta descoberta deu origem a uma gama de fios sintéticos, tais como os poliacrílicos, polivinílicos, poliéster, polipropileno e os elastanos. O Quadro 1, apresenta os diferentes tipos de fibras químicas, caracterizando-as a partir da origem artificial, sintética e materiais inorgânicos.

Quadro 1. Principais tipos de fibras químicas, conforme o tipo de polímero utilizado.

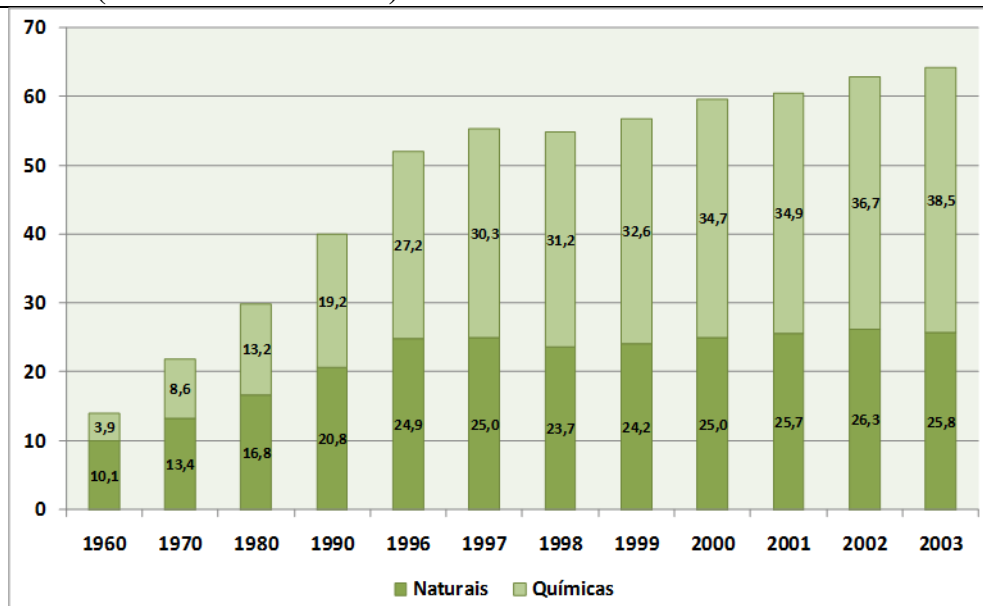
Baseados em polímeros naturais	Baseados em polímeros sintéticos	Baseados em materiais inorgânicos
Celulósicos Viscose rayon Celulósicos Modificados Acetato Celulósico Triacetato Celulósico	Poliamidas Nylon 66 Nylon 6 Kevlar Poliésteres Poli(tereftalato de etileno) Poli(tereftalato de butileno) Poliolefinas Polipropileno Polietileno Poliuretano Polivinílicas	Vidro Cerâmica Metálicos

Fonte: Gupta; Kothari (1997) (traduzido do original).

Com o avanço tecnológico das fibras de origem química, sua utilização na produção têxtil dependia apenas da elaboração dos novos produtos e da adaptação das máquinas e equipamentos aos novos insumos. Verificou-se ao longo do tempo que as fibras de origem química não estavam sujeitas a sazonalidade das safras como é o caso do algodão, que apresenta variação de qualidade, de coloração da fibra dependendo da região onde é produzido, e está sujeito a redução na quantidade produzida em virtude de alterações climáticas. Outro ponto importante é que como o processo de acabamento dos tecidos passou a contar cada vez mais também com o desenvolvimento do setor químico, as fibras artificiais ou sintéticas apresentaram em diversos casos maior adequação a estes tratamentos desenvolvidos mais recentemente.

Em decorrência das vantagens da utilização das fibras de origem química e o desenvolvimento de novos produtos utilizando fios com esta composição verificou-se a migração da produção das fibras naturais para as químicas. No pós-guerra, notadamente a partir da década de 1950, se intensifica a utilização das fibras artificiais e sintéticas na produção têxtil, principalmente nos países europeus, Japão, Tigres Asiáticos e nos Estados Unidos, que são notadamente os países com maior capacitação tecnológica no setor. O Gráfico 1 apresenta a evolução do uso de fibras de origem artificial e sintética a partir de 1960 até 2003. Verifica-se por meio dos dados que as fibras naturais representavam mais de 70% de toda a produção têxtil na década de 1960, porém, à medida que as fibras artificiais e sintéticas vão se modernizando, o processo de manufatura destas fibras sofre aprimoramentos tecnológicos, o consumo deste tipo de fibra têxtil vai se popularizando ao redor do mundo. Note-se que em 1990, a proporção de tecidos de fibras naturais cai para 52% e apenas 13 anos depois em 2003 esta proporção já está em 40%, deixando de ser o principal tipo de fibra utilizado na produção têxtil.

Gráfico 1. Consumo mundial de fibras têxteis, nos anos de 1960, 70, 80, 90 e entre 1996-2003. (milhões de toneladas).



Fonte: Fiber Organon *apud* Relatório Setorial da Cadeia Têxtil Brasileira (2005).

A rápida evolução tecnológica dos fios de origem química na produção têxtil faz com que novamente a tecnologia desenvolvida no setor de filamentos esteja à frente da tecnologia empregada pelos fabricantes de máquinas e equipamentos têxteis. Levando este elo a procurar se adequar a rápida introdução destes novos filamentos nas linhas de produção. Particularmente neste item será negligenciada a evolução dos teares e filatórios a partir dos

avanços tecnológicos dos fios por se tratar de um assunto que será abordado no item seguinte. Todavia, o que se pode adiantar aqui é que a evolução tecnológica dos teares que se seguiu, permitiu uma elevação bastante grande da velocidade de produção dos tecidos, a partir da incorporação de fios de base química.

A elevação da velocidade dos teares em consonância com a necessidade de obter produtos têxteis mais elaborados, com design diferenciado e que principalmente atendam as necessidades dos clientes com relação ao conforto, duração, elasticidade, etc., levou ao setor de fiação desenvolver novos tipos de fios. Desta maneira, a solução tecnológica encontrada para dar sequência ao desenvolvimento das fibras têxteis foi a nanotecnologia.

As técnicas empregadas na nanotecnologia se referem a manipulação de átomos, moléculas e nano partículas de forma precisa e controlada com o intento de obter um produto com nova organização molecular e novas propriedades. De modo geral, o termo nanopartícula se refere a um elemento que tenha um tamanho cerca de 100.000 vezes menor que um fio de cabelo (Quian; Hinestroza, 2004). O início dos estudos em torno da nanotecnologia se deu em 1959 com o trabalho de Richard Feynman. Seu desenvolvimento ocorreu com base na presunção de que qualquer material poderia ser construído com maior precisão a partir de minúsculos blocos, diferentemente do modo comumente utilizado para a composição dos produtos.

Os compostos desenvolvidos a partir de fibras nanoestruturadas representam um rompimento no padrão anterior de elaboração das fibras têxteis. A partir do desenvolvimento da nanotecnologia foi possível introduzir nos filamentos nanopartículas, tais como metais, argila, óxidos, carbonos, grafite, entre outras, que permitem a obtenção de características antes não verificadas nos tecidos. Destacam-se entre estas características algumas físicas como a força mecânica, a condutibilidade, o não acúmulo de energia estática. Assim também como outras características relacionadas com o acabamento como brilho, opacidade, não proliferação de fungos, entre outras. Em relação ao processo de manufatura dos fios, as nanofibras também apresentam uma série de vantagens, tais como a boa interação com as matrizes de polímeros e o fato de poder se recobrir um filamento com outro tipo de filamento conjugando as características positivas dos dois, tipo brilho e elasticidade, por exemplo.

Porém, as vantagens dos fios obtidos através do emprego da nanotecnologia não apresentam vantagens apenas na etapa de elaboração do fio, mais também apresentam características importantes na etapa de acabamento final. Isso ocorre porque a inclusão de moléculas específicas nos filamentos, possibilitam o controle de reações químicas e físicas na

etapa de acabamento de maneira que seja obtido um resultado com características muito mais precisas que o obtido com os filamentos anteriores.

Desta maneira, a nanotecnologia é sem dúvida nenhuma hoje a principal arma tecnológica do setor têxtil, configurando juntamente com o design e o marketing forte potencial competitivo. Já que a obtenção de novos tipos de fios interfere no processo de manufatura dos tecidos, acabamento e na etapa de confecção, conferindo melhores resultados em cada uma destas etapas, principalmente em relação à agregação de valor que é sem dúvida alguma o principal elemento de competitividade do setor na atualidade.

4. Máquinas e Equipamentos: principais marcos evolutivos

A evolução tecnológica da etapa de fiação está representada na adoção dos filatórios open-end e mais recentemente no desenvolvimento dos filatórios à jato de ar, também conhecidos como jet spinner e os filatórios à fricção. Tradicionalmente o processo de fiação era feito com filatórios do tipo Anel. Este tipo de equipamento era usado tanto no processo de fiação de fios de origem natural, quando dos artificiais e sintéticos. Com o advento dos filatórios do tipo open-end, o processo de fiação ganhou mais agilidade em virtude da maior velocidade de operação destes equipamentos, capacidade de automação da produção e principalmente pela eliminação de algumas etapas de produção.

Os filatórios de anel realizam o estiramento do pavio de algodão juntamente com um processo de torção do fio. Este tipo de equipamento tem como principal característica a versatilidade, sendo capaz de produzir qualquer tipo de fio em qualquer espessura. O principal avanço tecnológico apresentado pelos filatórios open-end em relação aos à anel estão relacionados com a produtividade destes equipamentos, isto se deve ao fato de que o open-end é capaz de atingir maiores velocidades com a eliminação de etapas na produção, porém, sua utilização está limitada aos fios mais grossos e com resistência inferior aos fios de mesma espessura fabricados pelos filatórios de anel. De modo geral os filatórios open-end são bastante adequados para serem utilizados na fiação de artigos como jeans, por exemplo (IEL/CNA/SEBRAE, 2000).

A tecnologia de filatórios a jato de ar, ou Jet spinner é bastante recente e apresenta uma série de vantagens sobre as anteriores, já que é capaz de produzir em maior velocidade que os outros tipos de filatórios, assim como também são capazes de produzir fios finos. Segundo o IEL/CNA/SEBRAE (2000), a velocidade de operação de um filatório do tipo anel é de 19 a 25 metros de fio por minuto, já o filatório open-end é capaz de produzir 130 metros de fio por

minuto e finalmente o filatório jet spinner é capaz de produzir 180 metros de fio por minuto. Os filatórios por fricção, ainda bastante recentes, são capazes de produzir 300 metros de fio por minuto apresentando desta maneira uma produtividade superior a todos os outros.

Em resumo, o que se verifica é a adoção de filatórios do tipo open-end e jet spinner representam elevação na escala de produção em função da maior velocidade de funcionamento destes equipamentos e da redução de etapas de produção. A utilização destes equipamentos também representa vantagens para a produção em função da maior capacidade de automação e pelo fato de que demandam um menor espaço físico para operar.

Segundo Gorini et al (1998), existem três gerações de teares planos. A primeira geração de teares planos foi desenvolvida juntamente com a adoção da energia à vapor nas empresas têxteis. Este tipo de equipamento é caracterizado pelo uso de uma lançadeira para realizar a trama dos tecidos. Quando foi adotado, este mecanismo representou um grande avanço à produção têxtil, todavia, na medida em que a demanda por maior velocidade foi se intensificando, esta tecnologia passou a não ser capaz de responder a estes anseios.

Outra limitação dos teares de lançadeira além da velocidade de produção é a largura dos tecidos que estes teares são capazes de produzir. Com o passar do tempo, as empresas confeccionistas passaram a exigir tecidos cada vez mais largos, para que se pudesse diminuir o desperdício de tecido na etapa de corte. Como os teares de lançadeira apresentavam uma limitação de largura do tecido da ordem de 140 cm, quando as empresas confeccionistas exigem uma largura mínima de 180 cm, este tipo de equipamento foi perdendo funcionalidade para produção de tecidos. Em relação à velocidade deste tipo de equipamento, Gorini et al (1998) aponta que um tear de lançadeira para produzir um tecido de 90 cm de largura, seu desempenho é de cerca de 170 batidas por minuto (bpm), é importante destacar que o desempenho do tear também está sujeito ao tipo de fio utilizado, desta maneira, a velocidade estimada por Gorini et al, representa o desempenho médio de um tear de lançadeira.

Com o advento dos teares de segunda geração, caracterizados por substituir a lançadeira pelo sistema de projétil e pinça, verifica-se um avanço tanto na largura dos teares e em sua velocidade de produção. O sistema de projétil lança a trama como se fosse uma bala de arma de fogo, por este motivo este sistema recebeu esta denominação, e o sistema de pinça puxa o fio realizando a trama. Seguida pela tendência de elevação da velocidade de produção e a oferta de fios cada vez mais resistentes a alta velocidade de produção surge a terceira geração de teares, caracterizados pelo sistema de trama a partir do jato de ar e jato de água, que apresentam capacidade de produção, ou seja, um maior número de batidas por minuto – bpm e a incorporação de maior quantidade de microeletrônica.

É importante destacar que a introdução dos novos tipos de teares envolve a adaptação de toda a planta produtiva para se adequar ao novo padrão tecnológico utilizado. Isto porque teares como os de jato de ar exigem a construção de um sofisticado sistema de ar comprimido na empresa, assim como a adoção de filtros que eliminem do ambiente as partículas lançadas ao ar pelo processo de sopro do tear, por exemplo. Outro fator é a aquisição, adaptação ou o desenvolvimento de softwares de gestão e controle da produção, que se fazem necessários em função da incorporação dos equipamentos eletronicamente controláveis.

Desta maneira, o processo de desenvolvimento tecnológico dos tecidos planos está relacionado à adoção de equipamentos que reduzam a necessidade de acompanhamento na produção e de mão-de-obra na elaboração dos urdumes. A eliminação da mão-de-obra se dá em função da adoção cada vez mais maciça da microeletrônica nestes equipamentos, permitindo o controle número e a programação cada vez mais ampliada da produção, tais como o sistema CAD-CAM que permitem a elaboração de urdumes com maior rapidez e precisão, além de reduzir as paradas e elevar a velocidade de produção destes equipamentos.

No que concerne as inovações relacionadas aos teares circulares, os avanços tecnológicos deste tipo de tear estão relacionados a adoção de fios com maior tenacidade que permitem o funcionamento do equipamento em velocidades elevadas e também a adoção de pinças mais eficazes no entrelaçamentos dos fios. O embarque da microeletrônica nestes equipamentos permite que uma gama variada de fios seja introduzida nestes teares, podendo, portanto, alterar a cor do fio que está sendo usada, em determinado momento sem intervenção humana, criando a possibilidade de se produzir diferentes tonalidades de um tecido sem parar o equipamento, a partir de fios já tintos.

5. O processo de acabamento de tecidos

Tanto a evolução do uso de fibras químicas como a nanotecnologia empregada nos fios possibilitaram grandes avanços na etapa de acabamento dos tecidos. Este elo também recebe importantes avanços dos fornecedores de compostos químicos e de máquinas e equipamentos mais modernos. Todavia, o principal desafio deste elo de produção têxtil é desenvolver processos de produção que não sejam agressivos à natureza, porém sem que isto represente redução da qualidade e diminuição dos efeitos estéticos conseguidos anteriormente.

O acabamento dos tecidos pode ser fragmentado em quatro etapas distintas. Ainda que tenham sido implementados avanços tecnológicos no processo de acabamento dos tecidos nos últimos anos, estas etapas devido as suas características particulares são de difícil integração

em um único processo, sendo, portanto, um desafio tecnológico a ser superado. Também é importante destacar que existem uma série de procedimentos para realizar o acabamento de fios e tecidos, todavia, estes procedimentos mudam em relação a matéria-prima adotada. Nestes termos, para descrever de modo geral o processo de acabamento nos tecidos, os tecidos de algodão serão utilizados como parâmetro, já que este é uma matéria prima ainda bastante utilizada, tanto integralmente como em tecidos e fios compostos de fibras sintéticas e artificiais.

A etapa de tinturaria recebeu nos últimos anos um conjunto de soluções tecnológicas que têm melhorado os resultados obtidos, reduzindo custos e o uso de mão-de-obra por meio da inclusão de microeletrônica, e através dela da automação de processos.

Na atualidade, o desenvolvimento dos novos tipos de fio representou um grande avanço neste sentido para este elo da cadeia. Com a evolução da qualidade dos fios artificiais e sintéticos, e por este motivo, com a ampliação do uso deste tipo de fio, a etapa de acabamento ganha maior agilidade. Segundo o relatório do EPA (1997) os tecidos produzidos com algodão e outras fibras naturais exigem um número maior de etapas de produção em virtude de que nem sempre é possível contar com a uniformidade da cor das fibras, que pode variar conforme o solo e as condições climáticas de onde o algodão foi produzido. Este fato imprime a necessidade de clareamento do tecido antes do tingimento para que a coloração aplicada apresente uniformidade, principalmente se a tonalidade desejada for clara. Outro fato relacionado ao acabamento de tecidos de fibra natural é que se exige uma etapa de lavagem para a retirada de partículas estranhas que muitas das vezes permanecem impregnadas mesmo depois de toda a etapa de tecelagem.

Por outro lado, como já foi tratado anteriormente, a nanotecnologia representa um grande avanço tecnológico também para o elo de acabamento. Este tipo de tecnologia representa maior precisão no acabamento dos tecidos com maior confiabilidade no resultado final do acabamento dos tecidos em relação a tonalidade e ao brilho obtido no processo de acabamento. Outro fator importante é que a nanotecnologia apresenta resultados importantes na redução do acúmulo de fungos e outros problemas desta ordem que antes eram tratados na etapa de acabamento.

Além dos fios, o desenvolvimento de novos compostos químicos também representam um fator tecnológico importante no setor de acabamento tanto em relação ao efeito dos materiais em relação à coloração, brilho, maleabilidade, caimento e conforto dos tecidos, como também no desenvolvimento de compostos que gerem um menor volume de resíduos e

que possam causar menor impacto a natureza e que possam ser tratados com maior facilidade e menor custo.

6. Conclusões

A dinâmica tecnológica do setor têxtil no início de suas atividades esteve em grande medida relacionada com a gênese tecnológica da indústria de transformação de modo geral. Na medida em que a atividade têxtil vai assimilando os avanços percebidos por toda a indústria e suas atividades vão se difundindo ao redor do globo, as características marcantes da dinâmica tecnológica deste setor vão se tornando mais evidentes.

Uma característica marcante do primórdio da evolução do setor têxtil está relacionado a base de conhecimento necessária para a obtenção de inovações dentro do contexto tecnológico da I Revolução Industrial. Grande parte das inovações que marcaram o processo de consolidação da atividade têxtil como um processo inerentemente industrial estavam relacionadas com solução de problemas práticos dentro do próprio processo de manufatura, sendo que estes problemas eram solucionados por artesãos, proprietários das fábricas, operários ou carpinteiros produtores dos equipamentos de tecelagem.

Outro fator muito importante a ser ressaltado é que nos primórdios do processo de desenvolvimento tecnológico do setor têxtil, as patentes apresentaram um papel crucial na proteção do segredo industrial, permitindo a devida recompensa econômica para os empresários inovadores. É importante reconhecer que as patentes protegiam tanto os empresários como as economias onde estas inovações ocorriam, notadamente, a economia inglesa, detentora do *core* do conhecimento da tecnologia industrial até o século XIX.

Entretanto, após a incorporação da eletricidade como energia motriz nas plantas têxteis, a dinâmica tecnológica do setor ficou concentrada com os fornecedores de suprimentos e de equipamentos da cadeia têxtil, de modo que o setor deixou de ser um difusor de novas tecnologias produtivas para ser um tomador das tecnologias engendradas em outros setores.

Neste sentido, a evolução das máquinas e equipamentos foi decorrência da evolução tecnológica do setor de bens de capital como um todo. Dentre as principais evoluções nos equipamentos destacam-se a adoção de processos cada vez mais automatizados de produção, extinguindo as antigas lançadeiras dos teares planos para adotar novas tecnologias como lançadeiras de projétil, jato de ar, jato de água, entre outros, assim como a forte inserção da microeletrônica a partir da década de 1970.

No elo de suprimentos as principais inovações estão relacionadas com o surgimento dos fios de origem artificial e sintético na primeira metade do século XX e do surgimento dos fios utilizando nanotecnologia nos últimos 15 anos, assim como os avanços na indústria química que permitiu desenvolver novos tipos de amaciantes e tinturas para dar acabamento aos tecidos, muitos deles também encontram hoje na nanotecnologia respaldo para continuar inovando.

Uma das conclusões que se pode tirar da trajetória evolutiva do setor têxtil, é que em geral, são os avanços tecnológicos relacionados aos fios que puxam a cadeia inovativa do setor, de modo que a partir de novas tecnologias de produção de fios fazem com que surja a necessidade de equipamentos mais modernos para fazer face a essa nova tecnologia de fios. Porém, o desenvolvimento dos equipamentos sempre acaba superando a capacidade dos fios que dão origem ao processo, imprimindo novamente na necessidade de avanços na tecnologia dos fios. Este padrão da mudança tecnológica mostra-se bastante evidente até os dias de hoje, pelo fato de que a partir do surto de mudança no padrão tecnológico dos filatórios e nos teares, os fios encontraram na nanotecnologia, as condições de darem um passo à frente na corrida tecnológica do setor.

Por outro lado, ao se analisar a dinâmica tecnológica de um setor emblemático como é o setor têxtil, também é possível observar os reflexos das políticas de desenvolvimento industrial, como a política inglesa do período da I Revolução Industrial de promover o crescimento das cidades, como forma de fornecer mão de obra para a atividade nascente, ou a política de proteção por meio de patentes das novas tecnologias obtidas como forma de premiar economicamente os empresários e inventores pelo seu feito, de modo que todo o sistema econômico foi beneficiado pela onda de inovações que surgiram no setor têxtil naquele período.

Outro exemplo importante dos reflexos de uma política nacional possível de ser verificado pela dinâmica tecnológica do setor têxtil no período inicial é a estratégia estadunidense de importar o conhecimento incorporado nos indivíduos provenientes da Inglaterra. Esta mesma estratégia foi adotada por diversos países que realizaram um processo de industrialização tardio, como Japão, Coreia do Sul e mesmo a Índia e China que ainda se encontram em processo de industrialização por meio do fluxo de cidadãos que vai até os países economicamente e tecnologicamente desenvolvidos para estudar e incorporar conhecimentos de fronteira que são posteriormente aplicados na base produtiva dos países em desenvolvimento.

Finalmente, conclui-se que avaliar a trajetória tecnológica de setores emblemáticos como o têxtil, metal-mecânico, automobilístico, eletrônico, entre outros que marcaram o padrão produtivo de determinado paradigma tecnológico constitui um exercício importante não apenas para o entendimento da dinâmica deste setor especificamente, mais também é útil para entender como se dá o processo de desenvolvimento tecnológico como um todo, de que forma ocorre a complementaridade tecnológica entre os diversos setores produtivos, independentemente do regime tecnológico ao qual cada um destes setores de atividade estão inseridos.

Referências Bibliográficas

- ALVES, Jorge Fernandes. (1999) Fiar e Tecer: uma perspectiva histórica da indústria têxtil a partir do Vale do Ave. Vila Nova de Famalicão, 1999. Disponível em <<http://ler.letras.up.pt/uploads/ficheiros/1188.pdf>>. Acesso em 17/03/08.
- ARAÚJO, Mário de. Tecnologia do vestuário. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996. 455p.
- BAINES, Edward. (1835) History of the cotton manufacture in Great Britain. Londres, H Fischer, R. Fischer e P. Jackson Ed., 1835.
- BRAVERMAN, Harry. Trabalho e capital monopolista: a degradação do trabalho no século XX. 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1987. 379 p.
- EPA – U. S. Environmental Protection Agency. Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the textile Industry. Washington, 1997.
- FREEMAN, C. & PEREZ, C. (1988) “Structural Crises of Adjustment, Business Cycle and Investment Behaviour” In Dosi et alii (orgs) Technical Change and Economic Theory, Pinter Publishers, Lond./N.Y.
- FREEMAN, Christopher. (1974) La teoria económica de la innovación industrial. Madrid: Alianza, 1975. 403p.
- GORINI, Ana Paula Fontelle; SIQUEIRA, Sandra Helena Gomes de; Beringuy, Adriana A. Tecelagem e malharia. Gerencia setorial de bens de consumo não duráveis - BNDES. Rio de Janeiro, Janeiro de 1998.
- GRIFFITHS, Tevor; HUNT, Phillip A.; O’BRIEN, Patrick K. Inventive activity in the British textile industry, 1700-1800. The journal of economic history, vol. 52, n.º 4, p. 881-906, dezembro de 1992.
- GUPTA, V. B.; KOTHARI, V. K. Manufactured fibre technology. Londres, Chapman & Hall, 1997, 663 p.
- IEL; CNA; SEBRAE. Análise econômica e da competitividade da cadeia têxtil brasileira. Brasília, 2000, 480 p.

- LANDES, David S. Prometeu desacorrentado: transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa ocidental, desde 1750 ate nossa época. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. 627 p.
- MUSSON, A. E.; ROBINSON, E. (1960) The origins of engineering of Lancashire. The Journal of Economic History, Vol. 20, No. 2, Jun., 1960.
- NOBLE, David Franklin (1977). America by design: science, technology, and the rise of corporate capitalism. Oxford: Oxford Univ., 1979, 384p.
- PAVITT, K. (1984) Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. Research Policy. n. 13, p. 343-737, 1984.
- QUIAN, Lei; HINESTROZA, Juan P. Application of nanotechnology for high performance textiles. Journal of textile and apparel, technology and management. Vol. 4, nº 1, 2004.
- SCHUMPETER, Joseph Alois (1911). Teoria do desenvolvimento econômico: uma investigação sobre lucros, capital, credito, juro e o ciclo econômico. São Paulo: Abril Cultural, 1982. xv, 169p.
- SCHUMPETER, Joseph Alois (1942). Capitalismo, socialismo e democracia. Rio de Janeiro: Zahar, 1984. 534 p.