



Polímeros: Ciência e Tecnologia

ISSN: 0104-1428

abpol@abpol.org.br

Associação Brasileira de Polímeros

Brasil

Torres de Miranda Pinto, Julian; Juliana Amaral, Karen; Janissek, Paulo  
Potencialidades da Análise de Fluxo de Materiais no Processo Produtivo de Fibras Ópticas  
Poliméricas  
Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 24, núm. 3, -, 2014, pp. 324-331  
Associação Brasileira de Polímeros  
São Paulo, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47031155008>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

# Potencialidades da Análise de Fluxo de Materiais no Processo Produtivo de Fibras Ópticas Poliméricas

Julian Torres de Miranda Pinto, Karen Juliana Amaral, Paulo Janissek  
Programa de Pós-graduação em Gestão Ambiental, Universidade Positivo

**Resumo:** O crescente uso de fibras ópticas em telecomunicação demanda também inúmeras pesquisas relacionadas aos processos produtivos deste meio de comunicação. Neste contexto, o presente artigo apresenta os sistemas atuais de produção de fibras ópticas poliméricas e uma análise comparativa das principais pesquisas voltadas para a melhoria da qualidade ou para a redução dos custos de produção. A metodologia Análise do Fluxo de Materiais (MFA) é aplicada, resultando em modelos conceituais qualitativos que permitem uma caracterização dos processos atuais e fácil adaptação para incorporar as modificações e novas tecnologias. Adicionalmente, é feita uma comparação dos fatores ambientais das pesquisas abordadas neste artigo. Como conclusão, fica ressaltada a importância de estudos de campo para a construção de MFA com dados quantitativos, permitindo explorar todo o potencial da metodologia.

**Palavras-chave:** Fibra óptica, análise de fluxo de materiais, polímeros, telecomunicação.

## Material Flow Analysis Potentialities on Polymeric Optical Fibers Productive Processes

**Abstract:** The use of optical fibers for telecommunications is growing and, as a result, so does the number of researches related to their productive processes. This paper presents the most common production systems for polymeric optical fibers, as well as provides a comparative analysis of some key researches aimed at improving quality or reducing costs of production. The Material Flow Analysis, MFA, methodology is employed to propose qualitative conceptual models capable of easy adaptation to the presented researches. Additionally, a comparative analysis is made between environmental factors existing in each of the discussed studies. In conclusion, the paper highlights the importance of field studies for the construction of MFA with quantitative data, as well as compiles the results obtained by the authors of the addressed researches.

**Keywords:** Optical fiber, material flow analysis, polymers, telecommunication.

## Introdução

Desde o surgimento dos meios de comunicação a humanidade presencia aumentos cada vez mais significativos na demanda pela transmissão de informações. A tecnologia existente para realizar esta tarefa não só acompanhou esta demanda como também foi responsável por modificar o padrão convencional, aumentando exponencialmente a velocidade de transferência de dados e ampliando o seu alcance através das formas móveis, as chamadas redes sem fio. A fibra óptica, uma das grandes invenções no ramo das telecomunicações, porém, dificilmente terá sua importância e demanda afetada pela tecnologia “sem fio”, já que o futuro deste setor baseia-se muito na sua capacidade, velocidade e segurança<sup>[1]</sup>.

A substituição de cabos metálicos por fibras ópticas deu-se, principalmente, devido aos ganhos de capacidade e velocidade de transmissão<sup>[1]</sup>, da resistência das fibras a interferências e descargas eletromagnéticas<sup>[2]</sup> e da grande flexibilidade deste material, tanto em termos moleculares como estruturais<sup>[3]</sup>. Além disso, a sua utilização permitiu melhorias em diversos tipos de equipamentos e procedimentos produtivos correlatos, especialmente na ciência óptica, mecânica e química. Com sua consolidação como meio de transmissão, a fibra óptica passou a ser foco de diversos estudos, em sua

maioria propondo alteração de processos produtivos<sup>[2]</sup>. A potencialidade da Análise de Fluxo de Materiais (*Material Flow Management*, ou MFA) como ferramenta de acompanhamento e controle destas alterações é destacada no artigo.

## Tendências e desafios em telecomunicações

A constante evolução no setor das telecomunicações é caracterizada pelo dinamismo da troca de informações e tem demandado pesquisas de novas soluções de transmissão<sup>[2]</sup>. Já há alguns anos, muitos estudiosos, empresas e sites especializados (tais como *ZDnet.com*, *CloudTweaks.com*, *North Bridge Venture Equity* e *Gartner Research*) afirmam que a tecnologia de *cloud computing* será o novo grande marco na demanda por qualidade e eficiência em telecomunicações. Adicionalmente, afirma-se que a nuvem (*cloud*) favorece a diminuição de custos, flexibiliza o acesso e simplifica os serviços prestados<sup>[4]</sup>, mas, para isso, faz-se necessário que os provedores deste tipo de serviço sejam seguros e confiáveis<sup>[5]</sup>.

Outra grande tendência é o surgimento de redes ópticas autoconscientes que são, em outros termos, sistemas ópticos de comunicação capazes de identificar

**Autor para correspondência:** Karen Juliana Amaral, Programa de Pós-graduação em Gestão Ambiental, Universidade Positivo – UP, Rua Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza, 5300, Campo Comprido, CEP 81280-330, Curitiba, PR, Brasil, e-mail: karenamaral@up.com.br

alterações de capacidade e de fluxo em sua própria estrutura. Com isso, é possível a autocorreção da frequência e do comprimento de onda dos feixes de luz ultravioleta lançados no interior das fibras ópticas, permitindo multidirecionalidade e maior flexibilidade na troca de informações, tornando também emissores os equipamentos que hoje atuam somente como receptores<sup>[6]</sup>. Existe a previsão de uma grande evolução nas soluções voltadas para internet e telefonia móvel, tais como: a) a contínua criação de serviços de telefonia IP (VOIP); b) o crescimento de serviços 4G de internet móvel; c) a expansão dos sistemas pré-pagos de telecomunicação e; d) os avanços na miniaturização para criação de aparelhos celulares<sup>[7]</sup>.

A telefonia fixa tem perdido espaço principalmente em função da expansão da telefonia móvel e da telefonia IP, esta que é baseada no protocolo de internet banda larga. Desconsiderando-se as potenciais migrações do meio fixo para a tecnologia IP, a telefonia celular também é estruturada sobre plataformas ópticas de comunicação, sendo a mobilidade proporcionada pelas torres de transmissão. Tais tendências não somente se confirmaram no ano de 2012 como se espera que sejam mantidas nos próximos 5 a 7 anos<sup>[6,7,8]</sup>.

A evolução histórica nas vendas de serviços de internet banda larga fixa tem mantido a tendência crescente em alguns dos principais países que a utilizam, bem como naqueles países que estão em fase de desenvolvimento de infraestrutura com grande potencial de gerar demanda futura. Isto faz com que seja cada vez maior o percentual da população com acesso à internet e, ainda assim há uma grande parcela da população destes países caracterizando demanda ociosa<sup>[8]</sup>. Muito embora esta gradativa migração das comunicações do meio físico para o meio sem fio (wireless) tenha sido significativa na última década, a infraestrutura de longa distância ainda dependerá

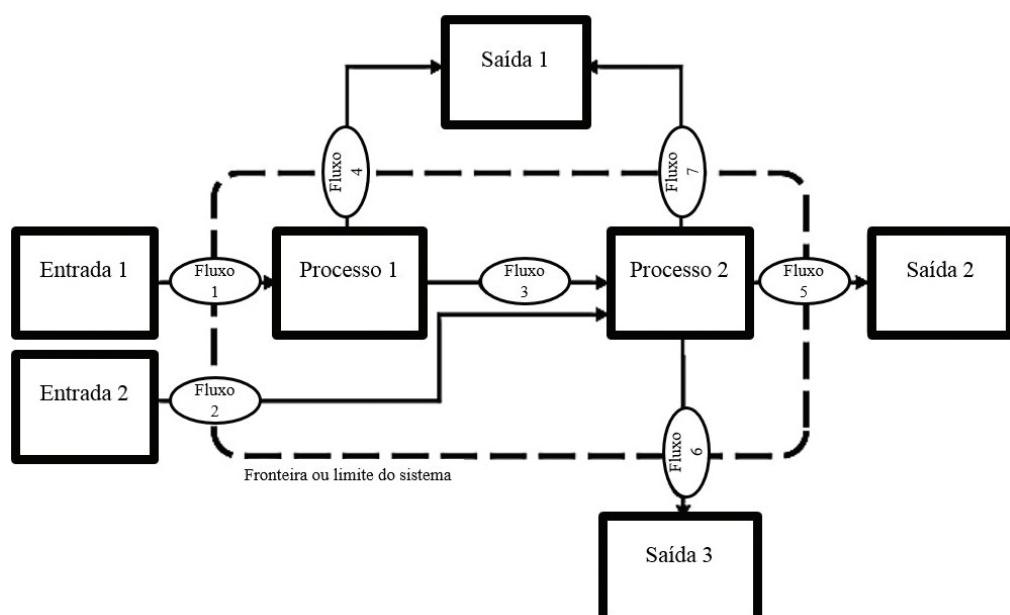
substancialmente de sistemas ópticos de comunicação pelas próximas décadas, uma vez que estes sistemas são o elo físico entre as soluções sem fio não cobertas por satélites<sup>[7]</sup>.

Fica evidente que o setor de TI é um setor altamente tecnológico e dinâmico. Os materiais utilizados precisam suprir esta demanda, impactando fortemente os processos produtivos, que precisam de constantes aperfeiçoamentos e adaptações. Além das exigências tecnológicas, como em qualquer outro setor, as pressões econômicas e ambientais também são constantes, frutos de um mercado produtivo cada vez mais competitivo e de consumidores cada vez mais conscientes. Neste contexto, a metodologia da Análise de Fluxo de Materiais (*Material Flow Management*, ou MFA) surge como uma ferramenta de grande valia para auxiliar o controle e a pesquisa por melhorias no processo produtivo. Este artigo demonstra como a MFA pode ser aplicada no processo produtivo de fibras ópticas.

### Análise de fluxo de materiais

A MFA é uma metodologia para realizar um levantamento sistemático de fluxos e estoques de materiais dentro de um espaço e tempo definidos que são demonstrados em um diagrama com informações detalhadas e de fácil entendimento. A técnica permite a visualização clara da circulação de bens e substâncias em uma sequência de processos específicos. Pode ser aplicada para uma ou todas as etapas do processo produtivo, ou em análises de grande porte, como o ciclo de vida de um bem ou substância<sup>[9]</sup>.

A Figura 1 apresenta um diagrama geral de MFA, onde as setas representam os fluxos e as caixas representam os diferentes processos analisados. Também são representados os limites ou as fronteiras do sistema, com entradas e saídas.



**Figura 1.** Representação esquemática geral de um diagrama MFA<sup>[9]</sup>.

Com a MFA é possível identificar riscos com antecedência e revelar incertezas que influenciam na tomada de decisões. As mais comuns aplicações de MFA são na ecologia industrial – objetivando melhorar o uso de energia e de recursos –, na gestão de materiais – visando entender padrões de consumo, criar previsões de escassez e planejamento de estocagem – assim como na gestão de resíduos – detalhando a composição, as emissões, os perigos e os potenciais destinos de materiais em fim de vida útil<sup>[9]</sup>.

Com o passar dos anos, porém, cada vez mais as MFA têm sido direcionadas para estudos ligados ao meio ambiente e ao tratamento de resíduos, auxiliando na compreensão do ciclo de vida de um bem ou substância conforme transita pelas etapas de sua utilização.

Os processos da Figura 2 ilustram estes ciclos e suas emissões ao meio ambiente e o fazem exemplificando outra forma de se elaborar graficamente uma MFA.

Conforme se pode ver na Figura 2, a esfera ambiental está diretamente ligada a um processo produtivo, e os impactos no meio ambiente podem ser reduzidos conforme se consegue reaproveitar determinadas quantidades de bens ou substâncias nos processos<sup>[9]</sup>.

Para elaborar uma MFA é necessário conhecer os produtos e as substâncias a serem analisadas e os processos que as modificam<sup>[9]</sup>. Para tanto, a seguir serão apresentadas as características de fibras ópticas poliméricas. Em seguida, seu processo produtivo será descrito e terá a metodologia MFA aplicada para a análise de algumas das principais pesquisas voltadas para melhoria do processo produtivo.

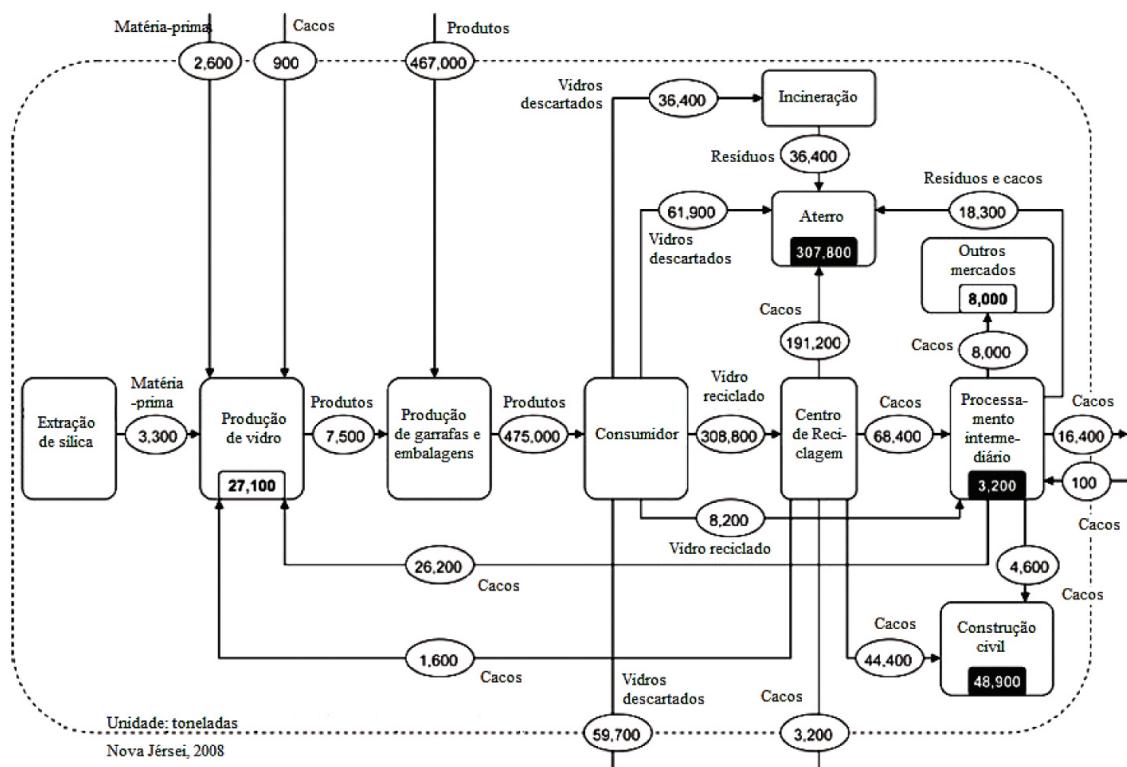


Figura 2. Análise de fluxo de materiais da produção de embalagens vítreas em Nova Jérsei no ano de 2008<sup>[10]</sup>.

### Características das fibras ópticas

A fibra óptica, cuja invenção foi atribuída ao físico indiano Narinder Singh Kapany, configura o núcleo de um cabo óptico de transmissão, e é da diferença dos coeficientes de refração no interior da fibra em si bem como entre esta a casca que a reveste que surge o efeito da reflexão total dos feixes infravermelhos projetados para seu interior. Na maioria das vezes, este conjunto composto por núcleo e casca é envolvido por outra camada de revestimento, deixando o cabo óptico mais robusto e protegendo a fibra óptica ainda mais<sup>[11]</sup>, como se pode ver na Figura 3.

Como principal elemento de um cabo óptico, a fibra óptica pode ser produzida com várias composições, variando de materiais vítreos até polímeros.

Dentre as diversas matérias-primas utilizadas nas fibras ópticas derivadas de polímeros plásticos, o acrílico é o mais comum, pois tende a ser mais flexível e menos suscetível a danos mecânicos. Apesar de ainda serem menos eficientes na transmissão de dados se comparadas às fibras vítreas, mostram-se como alternativas menos custosas para redes de curta e média distância, competindo inclusive com sistemas tradicionais compostos de cabos de cobre<sup>[12]</sup>.

Outra vantagem frente às fibras vítreas, que exigem equipamentos de corte dotados de lâminas de diamante, uma fibra polimérica pode ser cortada com um estilete, o que facilita e reduz custos de instalação e manutenção<sup>[1,12]</sup>.

As fibras ópticas também se dividem em diferentes tipos, conforme o modo de propagação da radiação infravermelha em seu interior, apresentados na Figura 4.

As fibras monomodo apresentam um núcleo de diâmetro inferior a um centésimo de milímetro (cerca de 8 $\mu\text{m}$ ), o que permite que um único feixe de radiação seja projetado para o interior da fibra, percorrendo-a praticamente sem sofrer reflexões, possibilitando atingir a melhor velocidade de transmissão possível<sup>[2]</sup>. Já as fibras multimodo têm velocidade de transmissão menor, pois em seu núcleo são projetados simultaneamente vários feixes de radiação infravermelha. Esta perda de desempenho ocorre devido ao aumento na ocorrência de reflexões e, adicionalmente, no intuito de evitar que os pulsos se sobreponham ao atingir o fotodetector, é necessário aumentar o tempo entre as emissões de pulsos diferentes. Para poderem comportar este fluxo maior de informações, portanto, as fibras multimodo têm diâmetro maior, variando entre 50 e 100 $\mu\text{m}$  para fibras multimodo gradual e entre 125 e 200 $\mu\text{m}$  para fibras multimodo degrau<sup>[2]</sup>.

A diferença entre as fibras multimodo gradual e multimodo degrau decorre da variação dos índices de refração dos materiais que as compõem. Isto quer dizer, em outras palavras, que quanto mais abruptas forem as variações nos índices de refração dentro da fibra – caracterizando degraus – maior será a dispersão dos pulsos infravermelhos. Em função disto, fibras ópticas multimodo com variação gradual dos índices de refração têm desempenho melhor frente àquelas chamadas de multimodo degrau, inclusive compensando algumas perdas de velocidade que ocorrem pelo grande número de reflexões<sup>[2]</sup>.

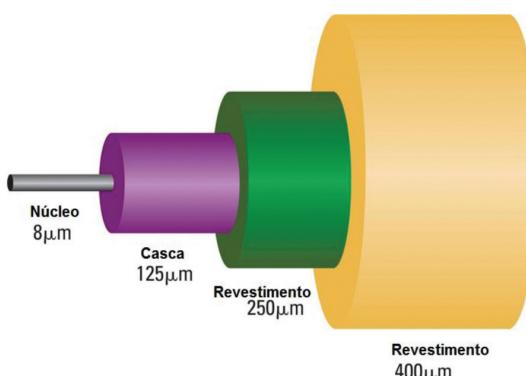


Figura 3. Estrutura de um cabo óptico.<sup>[11]</sup>

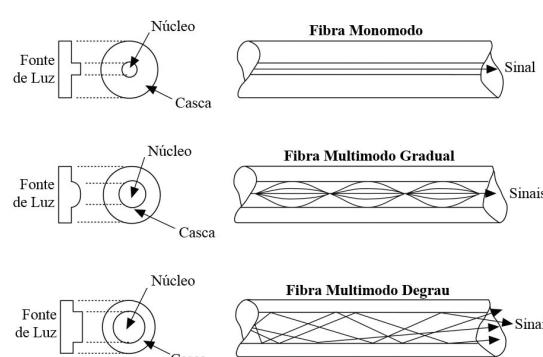


Figura 4. Tipos de fibra óptica<sup>[13]</sup>.

Outro fator importante que diferencia as fibras ópticas em função de sua estrutura é a sua capacidade de minimizar a atenuação – perda de qualidade do pulso luminoso em função da distância a ser vencida na transmissão. Após vários estudos ficou constatado também o fato de que determinados comprimentos de onda, quando apropriadamente emitidos pela fonte luminosa e eficientemente propagados pelas fibras, ajudam a minimizar estas perdas. A estes comprimentos de onda deu-se o nome de janelas ópticas<sup>[2]</sup>.

O Quadro 1 mostra uma comparação entre o comprimento de onda e seu respectivo coeficiente de atenuação para fibras vítreas e poliméricas. Assim, as fibras ópticas poliméricas são mais utilizadas em transmissões de curta ou média distância, situações nas quais as perdas de qualidade ou de potência de um sinal são menos perceptíveis, apesar de sua alta atenuação.

Fibras ópticas poliméricas são produzidas principalmente por injeção, puxamento ou por extrusão. O principal meio utilizado, porém, é a extrusão, cujo contínuo desenvolvimento tecnológico viabiliza cada vez mais aplicações destas fibras não somente em equipamentos médicos e iluminação, como também em redes de comunicação com cada vez mais capacidade e qualidade de transmissão<sup>[12]</sup>.

## Processo Produtivo de Fibras Ópticas Poliméricas

Apesar da possibilidade de se fabricarem fibras ópticas poliméricas por injeção ou por puxamento, o processo produtivo mais comumente utilizado é a extrusão, ilustrado na Figura 5.

Um dos polímeros mais utilizados para a confecção de fibras ópticas é o PoliMetilMetacrilato (PMMA)<sup>[14]</sup>, o qual pode ser inserido em forma de grânulos ou de tarugo no sistema de alimentação da torre de extrusão ( $P_1$ ). Neste mecanismo ocorre a fusão do polímero em um reator ( $P_2$ ) que opera em temperaturas que oscilam entre 110 e 150 °C, conforme variações no tipo ou composição do polímero. Em seguida, o material fundido é inserido na extrusora ( $P_3$ ) por gravidade, cujo fluxo pode ser controlado por uma válvula ou por meio de um pistão mecânico. Conforme a densidade do polímero fundido, a pressão aplicada e o diâmetro do orifício da matriz extrusora é que se determinará o calibre do filamento óptico produzido<sup>[15,16]</sup>. Sensores então averiguam o diâmetro do filamento produzido após a extrusão e, na inexistência de falhas, permitem a execução da etapa de revestimento ( $P_4$ ) com uma casca fluorada. Na maioria dos casos, o principal componente desta casca é o Tetrafluorometano ( $\text{CF}_4$ ), cujo plasma é exposto à fibra extrudada, promovendo sua deposição em camadas, as quais são responsáveis pela reflexão total dos feixes projetados. Esta etapa novamente passará por averiguação de diâmetro ( $P_5$ ) antes do embobinamento final ( $P_6$ ) para venda ou instalação<sup>[14]</sup>.

A partir do conhecimento do processo produtivo de fibras ópticas poliméricas por meio de extrusão, a Figura 6 representa a MFA conceitual proposta pelo presente artigo. Tal MFA foi elaborada de forma a abranger a realidade da maioria dos processos produtivos

**Quadro 1.** Relação entre comprimento de onda e coeficiente de atenuação em fibras vítreas e poliméricas.

Tipo de fibra	Comprimento de onda ( $\lambda$ )	Coeficiente de atenuação ( $\alpha$ )	Distância máxima de transmissão
Polimérica <sup>[11,22]</sup>	0,65 $\mu$ m	150dB/km	Inferior a 10km
	0,56 $\mu$ m	70dB/km	Inferior a 10km
Vítrea <sup>[2]</sup>	0,80-0,90 $\mu$ m	2,00-2,50dB/km	Aprox. 10 km
	1,30 $\mu$ m	0,30-0,50dB/km	Aprox. 60 km
	1,55 $\mu$ m	0,18-0,25dB/km	Aprox. 100 km

destas fibras ópticas, podendo, inclusive, ser facilmente adaptada às propostas de novos processos e materiais.

### Estudos concernentes à produção de fibras ópticas poliméricas

#### Processo produtivo alternativo

Noda e Koike<sup>[17]</sup> realizaram um estudo visando melhorar a capacidade e a velocidade de transmissão de fibras ópticas poliméricas alterando a forma como são produzidas. Na proposta dos autores, as fibras poliméricas são produzidas de forma similar às fibras vítreas (apresentadas posteriormente neste artigo), tendo seu início na confecção de uma preforma à base de Teflon e Acrílico, por meio do sistema *Rod-In-Tube*. Esta preforma seguiu então as demais etapas existentes em uma torre de puxamento de fibras vítreas até que houvesse a possibilidade de aferir medições de desempenho. Ao comparar os resultados desta fibra polimérica com suas concorrentes fabricadas por extrusão, percebeu-se menor perda de qualidade de sinal em dobras com ângulos agudos, bem como maior velocidade de transmissão.

#### Formas de extrusão

Eijkelenborg et al.<sup>[18]</sup> estão entre os pioneiros na criação de fibras ópticas poliméricas micro-estruturadas. Já haviam sido fabricadas fibras vítreas com esta característica e as novas propriedades ópticas que advém desta alteração estrutural também são percebidas em fibras poliméricas. O termo micro-estruturada deve-se ao fato de durante a extrusão ( $P_3$ ) ou durante a confecção da preforma são inseridas homogeneousemente várias lacunas de ar ou líquido entre várias fibras monomodo fabricadas simultaneamente. Isto confere mais resistência a riscos ambientais, promovendo maior segurança e facilidade de instalação. Este tipo de fibra reduz muito o custo de produção de cabos ópticos, pois são mantidos os índices de refração de cada fibra individualmente e sem distorção ou perda de sinal, apesar de agrupadas em um único cabo. Pouco tempo depois estes mesmos autores, em outro estudo, apresentam maneiras de fabricar fibras poliméricas micro-estruturadas multimodo gradual, bem como fibras com núcleo duplo ou com núcleo oco, conferindo ainda mais capacidade de transmissão a um dado cabo óptico, bem como novas possibilidades de aplicação<sup>[19]</sup>.

Em uma revisão histórica acerca das fibras ópticas poliméricas, Koike e Asai<sup>[20]</sup> chamam a atenção para estudos voltados para a produção de fibras ópticas por co-extrusão. Para tanto, monômeros são dopados,

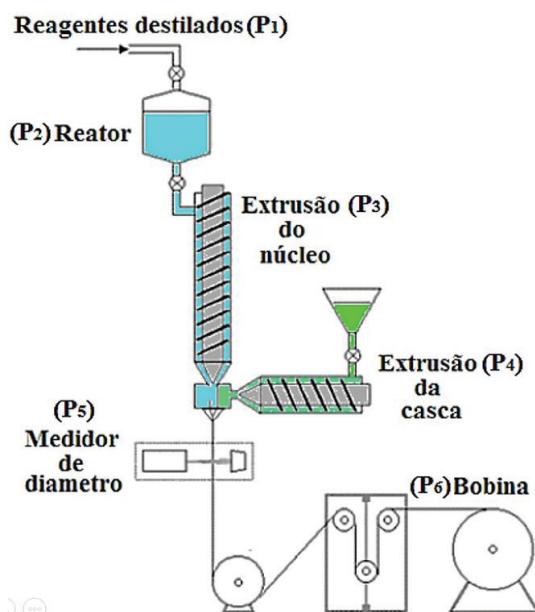


Figura 5. Extrusão de fibras ópticas poliméricas<sup>[13]</sup>.

polimerizados e fundidos para então serem submetidos à extrusão que originará o filamento óptico multimodo gradual. Tal processo reduz significativamente a perda de qualidade e velocidade de transmissão devido a dobras na fibra óptica, permitindo que dados transitem acima de 10 Gbps mesmo quando a fibra é submetida a vários nós com 3mm de raio.

#### Etapa de revestimento

Em estudo conduzido por Bartoli et al.<sup>[21]</sup> são analisados potenciais ganhos de velocidade e reduções nas perdas de qualidade de transmissão em fibras ópticas poliméricas. Para tanto, foi realizado o revestimento ( $P_4$ ) do poli metacrilato de metila do núcleo da fibra com hidrofluorcarbono (HFC) por meio de polimerização por plasma de  $CF_4$  associado a hidrogênio. Com isto, verificou-se a redução nos índices de refração de forma gradual na camada de revestimento criada, o que possibilita ganhos de desempenho.

O Quadro 2 traz uma comparação entre as pesquisas previamente descritas e resume-as sob a ótica de qualidade e custo. Tais aspectos são dicotômicos quando da tomada de decisão acerca de parâmetros de produção.

Como se pôde perceber nas pesquisas de Noda e Koike<sup>[17]</sup>, Koike e Asai<sup>[20]</sup> e Bartoli et al.<sup>[21]</sup>, há acréscimo nos custos de produção em função dos materiais ou

processos empregados no intuito de se obter maior qualidade. Por outro lado, os estudos conduzidos por Eijkelenborg et al.<sup>[18,19]</sup> tendem a reduzir custos de produção em detrimento ao mesmo tempo em que abrem mão de qualidade, ainda que de forma quase insignificante.

### Aplicação de mfa para fibras poliméricas

A Figura 7 abaixo apresenta um exemplo de aplicação prática da MFA conceitual proposta na Figura 6, tomando como base o entendimento do estudo de Bartoli et al.<sup>[21]</sup> descrito anteriormente.

O fluxograma permite fácil a leitura de sequências de processos, pois nele é possível a verificação de todas as entradas conhecidas (matérias-primas), os processos e equipamentos utilizados e as subsequentes saídas dos cabos ópticos para embobinamento. Adicionalmente, observou-se que os estudos apresentados não possuem em seu escopo o levantamento ou o detalhamento de causas e efeitos ambientais decorrentes de suas propostas de alteração nos processos produtivos. O Quadro 3 apresenta uma análise comparativa dos possíveis impactos ambientais identificados nos estudos sobre fibras poliméricas.

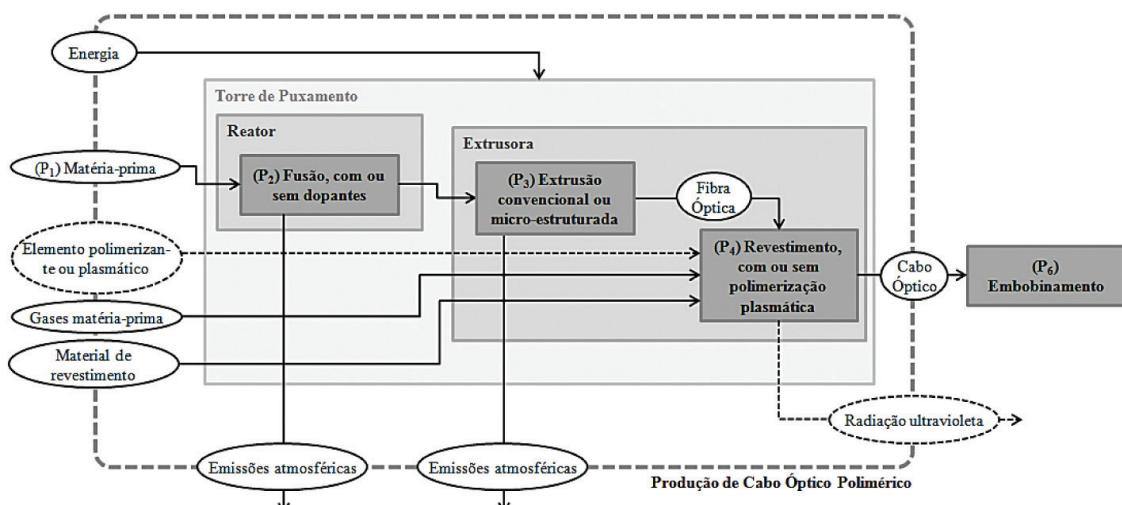
A proposta de Noda e Koike<sup>[17]</sup> para o uso do puxamento na produção de fibras ópticas poliméricas configura um risco ambiental ainda em estudo em função do uso do Teflon na fabricação da preforma. Os estudos de Eijkelenborg et al.<sup>[18,19]</sup> voltados para fibras poliméricas micro-estruturadas caracterizam uma

alternativa ambientalmente interessante sob o ponto de vista energético e suas ramificações. Ao sugerir métodos para ganho de eficiência e produtividade os autores permitem um menor consumo de energia e, como consequência indireta, a redução nas emissões de calor. Koike e Asai<sup>[20]</sup> e Yu et al.<sup>[22]</sup>, por sua vez, optam por proposições cujo consumo energético é maior frente ao processo de extrusão comumente utilizado, aumentando as emissões de calor. Adicionalmente, a proposição de Bartoli et al.<sup>[21]</sup> é uma potencial geradora de emissões de HFC (hidrofluorcarbono), gás cuja presença na atmosfera é altamente persistente e agrava o efeito-estufa em função de acelerar a quebra do ozônio.

Neste caso, o entendimento do processo produtivo e a elaboração do MFA permitiram a percepção das relações existentes entre o fluxo de substâncias e materiais e seus potenciais impactos ambientais, destacando a importância de considerar essa esfera, quando da análise de modificações no processo produtivo.

### Conclusões

Com base nos estudos dos autores e no entendimento das alterações propostas ao processo produtivo mais comum para fibras ópticas poliméricas, foi possível elaborar um modelo conceitual de MFA. Tal modelo serviu de base para um exemplo de aplicação prática da metodologia de MFA na realidade de um dos estudos analisados. Por meio da aplicação da metodologia de MFA foi possível entender os efeitos que as alterações



**Figura 6.** Modelo conceitual para análise de fluxo de materiais no processo de extrusão de fibras ópticas poliméricas. Os números entre parênteses fazem referência aos processos ilustrados na Figura 5.

**Quadro 2.** Comparação entre estudos sobre fibras poliméricas conforme qualidade e custo.

Comparativo entre pesquisas sobre fibras poliméricas	Processo produtivo				Revestimento
	Noda e Koike <sup>[17]</sup>	Eijkelenborg et al. <sup>[18]</sup>	Eijkelenborg et al. <sup>[19]</sup>	Koike e Asai <sup>[20]</sup>	Bartoli et al. <sup>[21]</sup>
Foco	Produção por puxamento de preforma	Fibras micro-estruturadas monomodo	Fibras micro-estruturadas multimodo	Co-extrusão	Polimerização com plasma
Qualidade	Maior	Similar	Similar	Maior	Maior
Custo	Maior	Menor	Menor	Maior	Maior

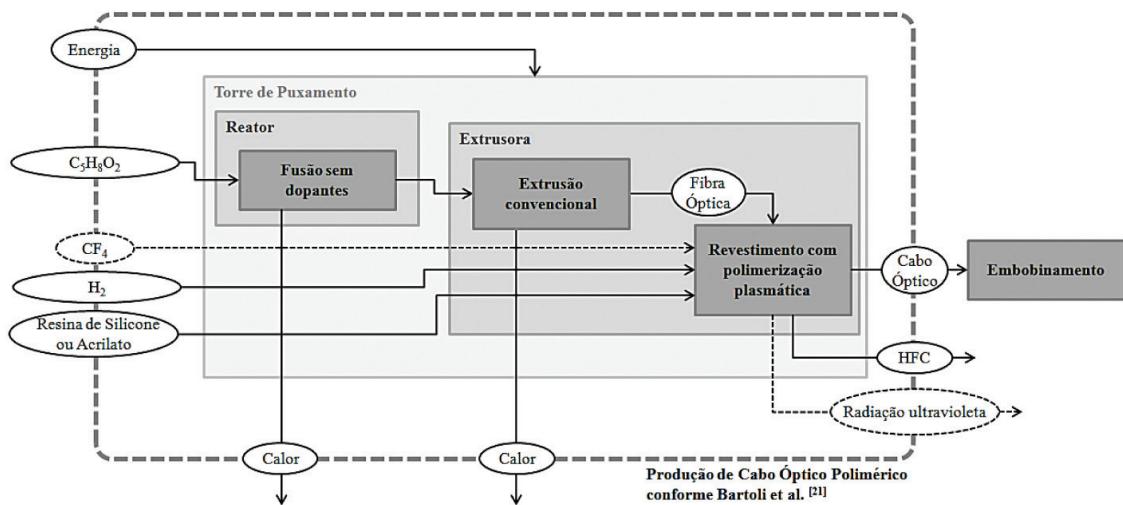


Figura 7. Análise de fluxo de materiais aplicada ao processo proposto por Bartoli et al.<sup>[21]</sup> para fibras ópticas poliméricas.

Quadro 3. Comparativo dos impactos ambientais entre os estudos sobre fibras poliméricas.

Noda e Koike <sup>[17]</sup>	Eijkelenborg et al. <sup>[18]</sup>	Eijkelenborg et al. <sup>[19]</sup>	Koike e Asai <sup>[20]</sup>	Bartoli et al. <sup>[21]</sup>
- Ainda existe polêmica acerca dos riscos ambientais no uso do Teflon em várias aplicações	- Menor consumo de energia - Reduz emissões de calor	- Menor consumo de energia - Reduz emissões de calor	- Etapas adicionais exigem mais energia - Aumenta emissões de calor	- Etapas adicionais exigem mais energia - Potenciais emissões danosas de HFC - Aumenta emissões de calor

propostas nos estudos analisados têm na dinâmica dos materiais envolvidos em cada etapa do processo produtivo.

Além disso, o uso da MFA permite a percepção da esfera ambiental e a relação entre os processos produtivos e seus impactos ambientais. A partir dos modelos de MFA propostos e de posse de dados de campo relativos a cada entrada, processo ou saída, é possível atribuir valores aos fluxos, de forma a torná-los quantitativos. Desta forma, viabiliza-se também a construção de cenários de estudos que embasem tomadas de decisão para uma produção mais sustentável.

Nas pesquisas acerca de fibras ópticas poliméricas percebe-se o recorrente objetivo de melhorar sua capacidade, qualidade e velocidade de transmissão para que possam concorrer com as fibras vítreas não somente em função de seu reduzido custo de produção. Nota-se a tendência de que fibras poliméricas ganhem cada vez mais espaço no mercado conforme evoluem suas características em função da tecnologia empregada em sua produção assim como em função de propostas que reduzam ainda mais seu custo.

Quanto aos resultados obtidos pelos autores abordados neste artigo, por sua vez, podemos obter as conclusões:

- Até o presente momento, os ganhos de qualidade, velocidade e capacidade de transmissão em fibras poliméricas advém principalmente da inserção de

novas etapas no processo produtivo, demandando maiores custos e, consequentemente, maiores impactos ambientais;

- O uso de Teflon e as emissões decorrentes da polimerização perfluorada por plasma configuram situações cujo risco ambiental ainda não é plenamente conhecido, podendo futuramente inviabilizar sua aplicação em fibras poliméricas;
- A co-extrusão apresenta-se como uma alternativa intermediária para ganhos de desempenho e custo em fibras poliméricas, situando-se entre a extrusão convencional e o processo de puxamento de preforma empregado principalmente em fibras vítreas.

## Referências Bibliográficas

1. Ribeiro, J. A. J. – “Comunicações Ópticas”, Érica, São Paulo (2006).
2. Nascimento, J. – “Telecomunicações”, Makron, São Paulo (2000).
3. Prasad, P. N. – Polymer, **32**, p.1746, (1991). [http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861\(91\)90357-O](http://dx.doi.org/10.1016/0032-3861(91)90357-O)
4. Computerworld – “Cinco tendências de cloud”, Gartner, Abr (2012). Disponível em: <<http://cio.uol.com.br/noticias/2012/04/16/cinco-tendencias-de-cloud-segundo-o-gartner>>. Acesso em: nov. 2012.
5. Computerworld – “4 tendências para o setor de telecom nos próximos 10 anos”. Disponível em: <<http://computerworld.com.br/noticias/2012/04/16/4-tendencias-para-o-setor-de-telecom-nos-próximos-10-anos>>.

- uol.com.br/telecom/2010/03/23/4-tendencias-para-o-setor-de-telecom-nos-proximos-10-anos>. Acesso em: nov. 2012.
6. Vass, S. – “Optical communications trends for 2011”, in: Lightwave Online. Disponível em: <<http://www.lightwaveonline.com/articles/2011/01/optical-communications-trends-for-2011-113365784.html>>. Acesso em: nov. 2012.
7. Fritzsche, J. M. – “Telecom segment’s top 10 trends for 2012” in: RCR Wireless. Disponível em: <<http://www.rcrwireless.com/article/20120120/opinion/2012-predictions-telecom-segment%E2%80%99s-top-10-trends-for-2012>>. Acesso em: nov. 2012.
8. ITU Data Explorer. Disponível em: <<http://www.itu.int/ITU-D/ict/statistics/explorer/index.html>>. Acesso em: out. 2012.
9. Brunner, P. H. & Rechberger, H. – “Practical Handbook of Material Flow Analysis”, Lewis (2005).
10. Tsai, C. & Krogmann, U. – J. Ind. Ecol., **17**, p.129, (2012). <http://dx.doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00509.x>
11. Lavoie, R. – “Broadcast Engineering” (2012). Disponível em: <<http://broadcastengineering.com/site-files/broadcastengineering.com/files/archive/broadcastengineering.com/images/fiber-layers-206be18-fig4-lg.jpg>>. Acesso: abr. 2013.
12. Daum, W.; Krauser, P.; Zamzow, P. & Ziemann, O. – “Polymer Optical Fibers for Data”, Springer-Verlag (2002). <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-662-04861-0>
13. Ebosa S.A. Disponível em: <<http://www.ebosa.co.cl/images/cableFO/>>. Acesso em: out. 2012.
14. Carvalho, M. C. – “Redes de Bragg em Fibras Ópticas Poliméricas”, Tese de Doutorado, Instituto Militar de Engenharia (IME), Brasil (2010).
15. Bäumer, S. – “Handbook of Plastic Optics”, Wiley-VCH (2005). <http://dx.doi.org/10.1002/3527605126>
16. Ritzhaupt-Kleissl, E.; Boehm, J. & Hausselt, J. – Mat. Sci. Eng. C-Bio. S., **26**, p.1067 (2006).
17. Noda, T. & Koike, Y. – Opt. Express, **18**, p.3128, (2010). PMid:20174148. <http://dx.doi.org/10.1364/OE.18.003128>
18. Eijkelenborg, M. A. van; Large, M. C. J.; Argyros, A.; Zagari, J.; Manos, S.; Issa, N. A.; Bassett, I.; Fleming, S.; McPhedran, R. C.; De Sterke, C. M. & Nicorovici, N. A. P. – Opt. Express, **9**, p.319, (2001). PMid:19421303. <http://dx.doi.org/10.1364/OE.9.000319>
19. Eijkelenborg, M. A.; Argyros, A.; Barton, G.; Bassett, I. M.; Fellew, M.; Henry, G.; Issa, N. A.; Large, M. C. J.; Manos, S.; Padden, W.; Poladian, L. & Zagari, J. – J. Opt. Fiber Technol., **9**, p.199, (2003). [http://dx.doi.org/10.1016/S1068-5200\(03\)00045-2](http://dx.doi.org/10.1016/S1068-5200(03)00045-2)
20. Koike, Y. & Asai, M. – NPG Asia Mater., **1**, p.22, (2009). <http://dx.doi.org/10.38/asiamat.2009.2>
21. Bartoli, J. R.; Costa, R. A.; Verdonck, P.; Mansano, R. D. & Carreño, M. N. – Polímeros, **9**, p.148, (1999). <http://dx.doi.org/10.1590/S0104-14281999000400025>
22. Yu, R.; Zhang, B.; Chen, M.; Huo, L.; Tian, Z. & Bai, X. – J. Opt. Commun., **266**, p.536, (2006). <http://dx.doi.org/10.1016/j.optcom.2006.05.045>

Enviado: 30/04/13

Reenviado: 07/08/13

Aceito: 07/10/13