

Aplicação da descarga plasmática de dupla barreira dielétrica (DBD) em fibras têxteis hidrofóbicas – estudo da força colorística

Double barrier dielectric plasma treatment on hydrophobic textile fibers – the color strength study

Fernando Ribeiro Oliveira

Doutorando, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Portugal

Pedro Souto

Doutor, Professor Auxiliar, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Portugal

Noémia Carneiro

Doutora, Professor Associado, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Portugal

Resumo

A aplicação da descarga plasmática *DBD* na indústria têxtil apresenta um grande potencial para melhorar diversas operações de tingimento e enobrecimento em artigos têxteis de origem natural e também em artigos de fibras sintéticas, permitindo reduzir a carga poluente e otimizar o dispêndio energético. Neste trabalho foram aplicadas diferentes dosagens de descarga plasmática de dupla barreira dielétrica (*DBD*) em substratos têxteis de diferente composição fibrosa. Com essa experiência, pretende-se verificar modificações estruturais e químicas e estudar o comportamento tintorial destas fibras com diferentes classes de corantes. Os resultados obtidos provaram que as modificações superficiais realizadas pela descarga plasmática *DBD* nas fibras de lã, acrílica, poliéster e poliamida aumentaram significativamente a hidrofiliidade destes materiais. As modificações estruturais detectadas justificam os resultados do comportamento tintorial das fibras de lã e poliamida com os corantes, ácidos, diretos e reativos, através de um aumento de polaridade associado a um aumento da molhabilidade. Após aplicação do tratamento plasmático foi possível verificar que a temperatura do processo de tingimento pode ser reduzida consideravelmente para a fibra de poliamida 6.6 com excelentes resultados de esgotamento do banho de tingimento, permitindo poupanças significativas e limitação importante da poluição na fonte.

Palavras- chave: Descarga Plasmática, Dupla Barreira Dielétrica, Fibras Têxteis, Tingimento.

Abstract

The application of DBD plasma discharge in the textile industry has a great potential to improve several dyeing and finishing operations in natural and synthetic fibers, reducing the pollutant load and optimizing energy expenditure.

In this work different dosages of DBD plasma were applied in textile fabrics of different fibrous composition, with the objective to verify the structural and chemical modifications and to study the tintorial behavior with different dye classes.

Results proved that surface modifications caused by DBD plasmatic discharge in wool, acrylics, polyester, polyamide and acetate fibers were proved to significantly increase materials hydrophility.

Structural changes detected by different analytical methods proved that tintorial behaviour of wool and polyamide fibers using acid, direct and reactive dyes is affected mainly due to an increase of polarity directly related to an increase of wettability.

After the application of a plasmatic treatment to polyamide 6.6 fibers it has been possible to achieve dyeing processes at lower temperatures with very high dye exhaustion allowing to anticipate important economical savings and a reduction of pollution at the source.

Keywords: *Plasmatic Discharge. Double Barrier Dielectric. Textile Fibers. Dyeing.*

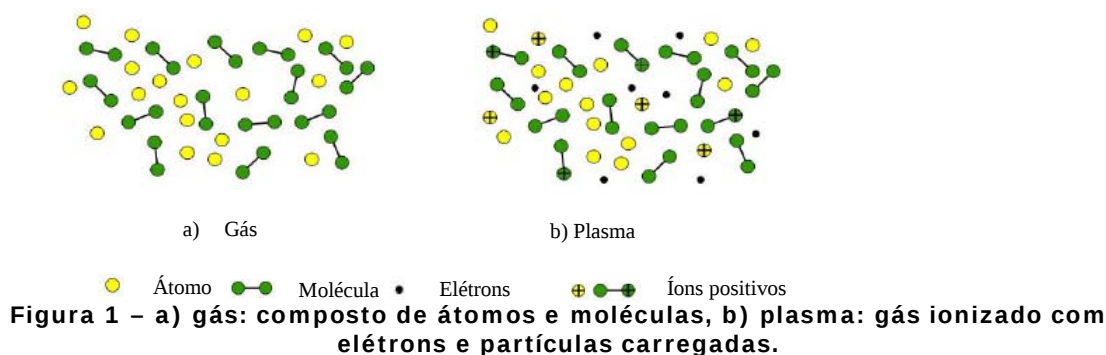
1 Introdução

O progresso da indústria têxtil mundial, especialmente o setor de beneficiamento, está ligado às mudanças que provêm dos novos campos de investigação tais como a nanotecnologia aplicada à funcionalização e à produção de tecidos inteligentes, ecologicamente mais sustentados. Estas são áreas não convencionais em que as tecnologias plasmáticas apresentam um papel decisivo no aumento da capacidade de adesão, reatividade, penetração com ou sem o enxerto de novos grupos químicos e/ou polímeros, obtendo assim melhorias significativas que aumentam o valor agregado do produto final. (CARNEIRO et al., 2008; MORENT et al., 2008).

A matéria, tal como a conhecemos, pode encontrar-se em três estados: sólido, líquido e gasoso. É neste último estado que as moléculas têm forças intermoleculares mais fracas, sem que as substâncias percam as suas propriedades químicas intrínsecas à sua estrutura molecular.

O plasma é uma mistura de fótons (UV, Vis e IV), elétrons, partículas carregadas negativamente e positivamente, radicais, átomos e moléculas neutras. (ROTH, 1995).

O plasma é considerado como sendo uma fase de estado mais ativado que o sólido, líquido ou o gasoso. Desta forma, o estado plasmático é frequentemente apelidado de quarto estado da matéria (figura 1).



A ionização do ar à pressão atmosférica normal deve-se a diversos fatores tais como:

- diferença de potencial elevada;

- fortes campos magnéticos;
- temperaturas elevadas.

A produção de plasma pode ser realizada através da aplicação de feixes de partículas, rádio frequência, microondas, *lasers*, “luz”, tochas e arcos voltaicos.

A descarga plasmática DBD é um plasma frio de baixa frequência gerado por uma descarga elétrica em ar nas condições atmosféricas normais, a uma voltagem de 10kV e com uma frequência de 40 kHz, num condensador formado por dois eletrodos separados por um espaço muito pequeno, onde o material têxtil seco se movimenta de forma contínua e a velocidade controlada.

Segundo Carneiro et al. (2001), a descarga plasmática sobre materiais têxteis é uma operação que decorre em meio seco, permitindo, assim, racionalizar água, energia e produtos químicos que se gastam em grandes quantidades na indústria têxtil. Esta experiência cumpre, deste modo, os requisitos das novas demandas mundiais impostas por motivos ambientais.

A descarga plasmática de Dupla Barreira Dielétrica (DBD) surge como uma inovação tecnológica, apresentando diversas vantagens que proporcionam modificações no substrato têxtil, capazes de promover qualidade, diminuir custos de processo e aumentar os níveis de sustentabilidade energética e ambiental. Diversos estudos e aplicações industriais já foram relatados na literatura, e constantemente novas oportunidades surgem através do uso desta tecnologia.

De acordo com Maximov (2000), atualmente o tratamento plasmático para a modificação superficial de polímeros vem sendo muito utilizado para numerosas aplicações.

O aumento na molhabilidade destes substratos tem sido relatado em diversos estudos em diferentes tipos de fibras, nomeadamente para o politetrafluoretileno (LIU et al., 2004), polietileno (OOSTEROM et al., 2006), poliamida 6 (DUMITRAKUS et al., 2006), poliamida 6.6 (YIP et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2009), polipropileno (YAMAN et al., 2009), poliéster (LEROUX et al., 2009), aramida (CHEN et al., 2008; FREITAS et al., 2006).

Para a determinação da hidrofiliidade, molhabilidade e da energia superficial, uma técnica bastante utilizada é a medida do ângulo de contato, a qual tem sido frequentemente empregada para investigar as propriedades superficiais de materiais têxteis. (DI et al., 2001; DUMITRASKUS et al., 2006).

Muitos estudos foram também realizados para verificar a influência da descarga plasmática no processo de tingimento. Yip estudou o tratamento plasmático com vários tipos de gases, (oxigênio, tetrafluoreto de carbono e amônia), para modificar fibras como a lã e a poliamida 6.6. Após tratamento, estas fibras modificadas foram tingidas com corantes naturais e o rendimento do tingimento da lã tratada com plasma aumentou de forma significativa (YIP, 2002).

De acordo com Oliveira et al. (2010), o tratamento plasmático modifica fibras hidrofóbicas, melhorando a interação corante/fibra e aumentando o fluxo das moléculas de corante para o interior da fibra.

Liao et al. (2000) realizaram um estudo com a poliamida 6.6 utilizando um corante disperso-reativo amarelo. Comprovou-se, com isso, a formação de uma ligação covalente entre a fibra e o corante. A aplicação de uma descarga plasmática em condições atmosféricas em um tecido de lã produziu um aumento significativo de força colorística (K/S) em um tingimento realizado à temperatura de 50°C e em pH ácido (3.0–6.0), sem a utilização de qualquer agente igualizador (NAEBE et al., 2009).

O tratamento plasmático em tecidos compostos por mais de um tipo de fibra também foi estudado. Borcia, através de uma descarga plasmática DBD com nitrogênio, ar e argônio, conseguiu modificações superficiais em tecidos naturais, sintéticos e suas misturas. (BORCIA et al., 2006).

Neste trabalho, pretende-se estudar o efeito da aplicação da descarga plasmática em alguns substratos têxteis, nomeadamente: Acetato, Poliamida, Poliéster, Acrílico e Lã, verificando as alterações superficiais bem como o comportamento tintorial através da força colorística (K/S) com diferentes classes de corantes e diferentes pHs, antes e após o tratamento plasmático.

2 Experimental

O procedimento experimental deste trabalho foi realizado com o objetivo principal de comparar o tingimento das cinco fibras em estudo com diferentes classes de corantes, após realização de modificações superficiais com descarga plasmática de dupla barreira dielétrica.

Estas etapas podem ser assim resumidas:

- Tratamento superficial com descarga plasmática com o objetivo de verificar as condições ótimas para realização dos tingimentos;
- Avaliação química e física das amostras tratadas;
- Tingimento das fibras em estudo, com verificação do rendimento tintorial;
- Análise comparativa dos tingimentos realizados, amostras sem e com tratamento plasmático, verificando a influência do tratamento na força colorística dos materiais (K/S).
- Estudo da possibilidade de melhoria do processo de tingimento da poliamida 6.6, com corantes reativos após o tratamento plasmático.

2.1 Materiais

Um tecido multifibra usado como testemunho para testes ISO de solidez de tintos foi utilizado neste estudo (figura 2), separando os cinco tecidos que o integram e testando sobre eles a influência da descarga plasmática.



Figura 2 - Tecido Multifibra composto por diacetato, poliamida, poliéster, acrílico e lã, respectivamente.

2.2 Tratamento Plasmático

O equipamento utilizado para efetuar a descarga plasmática foi um protótipo laboratorial denominado LISBOA (figura 3). Trata-se de um equipamento com largura útil de 50 cm, composto por um eletrodo metálico revestido de cerâmica e um contraeletrodo metálico recoberto com silicone, um gerador elétrico e um transformador de alta tensão. A velocidade e a potência são variáveis, sendo o tecido passado pelos eletrodos de forma contínua.

A equação que define a dosagem plasmática aplicada é: (CARNEIRO *et al.*, 2004).

$$Dosagem = \frac{N \times P}{v \times l} \text{ W.min/m}^2$$

N = Nº de Passagens
P = Potência
v = Velocidade
l = Largura (0,5 m)



Figura 3 – Protótipo da Máquina de Plasma Softal [Pat. PCT/PT 2004/ 000008(2004)]

A tabela 1 mostra diferentes dosagens aplicadas para definir o tratamento ótimo a ser utilizado nos tecidos.

Tabela 1: Dosagens plasmáticas aplicadas

Velocidade (m / min)	Número de Passagens	Potência (W)	Dosagem (W.min / m²)
4.0	1	600	300
4.0	2	600	600
4.0	4	600	1200
4.0	6	600	1800

2.3 Ângulo de Contato

O equipamento *Dataphysics*, usando o programa OCA com sistema de captação de imagens nos modos estático e dinâmico, foi utilizado para medir o ângulo de contato de uma gota de água nas amostras em estudo. Para cada substrato foram realizadas cinco medições.

2.4 Espectroscopia Fotoeletrônica de Raio-X

A análise de XPS (*X-Ray Photoelectron Spectroscopy*) fornece informações sobre as alterações na composição química e análise elementar dos materiais. O equipamento *VG Scientific ESCALAB 200A* foi utilizado para obter uma análise mais completa e detalhada do tecido de poliamida com e sem tratamento plasmático.

2.5 Calorimetria Diferencial de Varredura

O equipamento *DSC Mettler Toledo DSC822* foi usado com o objetivo de avaliar alterações estruturais nas amostras em estudo antes e após o tratamento plasmático, sendo o varrimento utilizado de 20°C/min. Foram feitos três ensaios para cada substrato, usando amostras de 3,00 mg.

2.6 Método de Tingimento

As amostras foram tingidas em máquina laboratorial da marca IBELUS acoplada a um sistema automático de controle de temperatura. Os tingimentos foram realizados simultaneamente com todos os tecidos (tingimento competitivo) em dois diferentes pHs: 5,0 e 9,0, usando uma concentração de 1,0% sobre o peso do material e com uma relação de banho de 1:50. A figura 4a mostra o programa de tingimento utilizado. Os corantes usados neste estudo foram os seguintes: *Sirius Yellow K-CF* (Corante Direto); *Levafix Golden Yellow E-RA* (Corante Reativo); *Telon Yellow* (Corante Ácido); *Astrazon Golden Yellow GL-E* (Corante Catiônico); *Dispersol Flavin XF* (Corante Disperso).

A figura 4b mostra o programa de tingimento aplicado para a poliamida 6.6 com o objetivo de melhorar o processo. Para este estudo foram usados os corantes reativos Levafix *Brilliant Red E-BA* e Remazol *Red RB*. A concentração e os pHs foram os mesmos utilizados anteriormente.

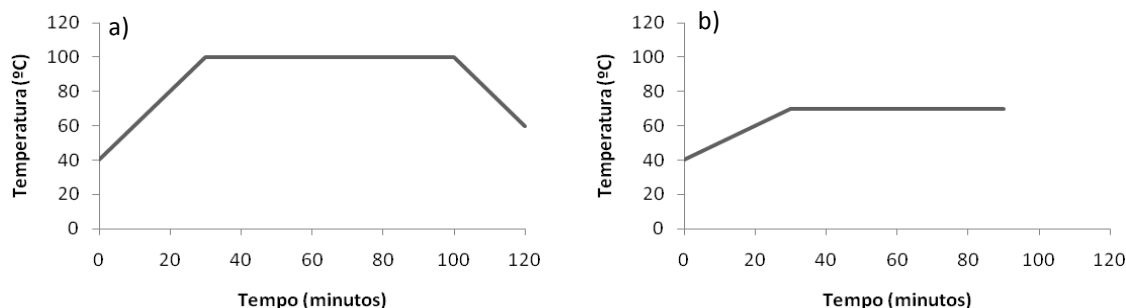


Figura 4 – Programa usado para o processo convencional de tingimento (a) e para o novo processo com temperatura inferior(b) da poliamida.

2.7 Força Colorística (K/S)

Todas as avaliações colorísticas efetuadas e apresentadas neste estudo são referentes a medições de refletância e coordenadas de cor efetuadas entre 400 e 700 nm, utilizando o espectrofotômetro *Datacolor Spectraflash SF 600 Plus CT*, para o iluminante D_{65} e um observador situado a 10° . A força colorística é calculada de acordo com a equação de Kubelka-Munk (K/S) definida como:

$$K/S = [(1 - R)^2 / 2R]$$

3 Resultados e Discussões

3.1 Ângulo de Contato

A molhabilidade das amostras em estudo é aumentada quando o tratamento plasmático é aplicado, como pode ser observado na figura 5. Os resultados do ângulo de contato estático dos diferentes substratos são apresentados na figura 6 e estão de acordo com publicações relacionadas com diferentes fibras sintéticas e naturais (DI et al., 2001; YAMAN et al., 2009), as quais mencionam que estas modificações são provocadas devido à criação de grupos polares e de microporosidade.

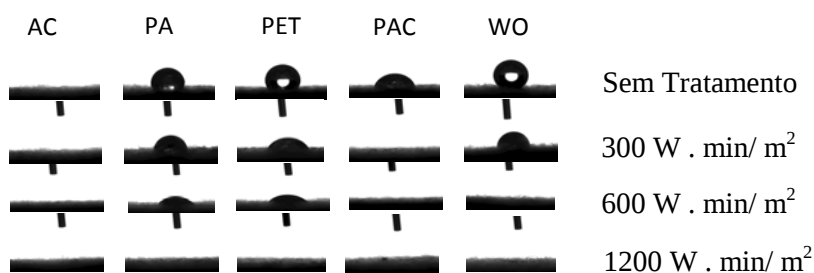


Figura 5 – Ângulo de contato de uma gota d'água nas amostras com diferentes tratamentos.

Estas modificações superficiais são responsáveis por transformar uma fibra hidrofóbica em hidrofílica, característica essencial para uma melhor absorção de soluções aquosas.

A diminuição do ângulo de contato (figura 6) pode ser atribuída à destruição de uma camada externa da fibra devido à descarga plasmática *etching*, como no caso da lã, e a introdução de mais grupos polares, devido às modificações químicas causadas pelo plasma (WAKIDA et al., 1998).

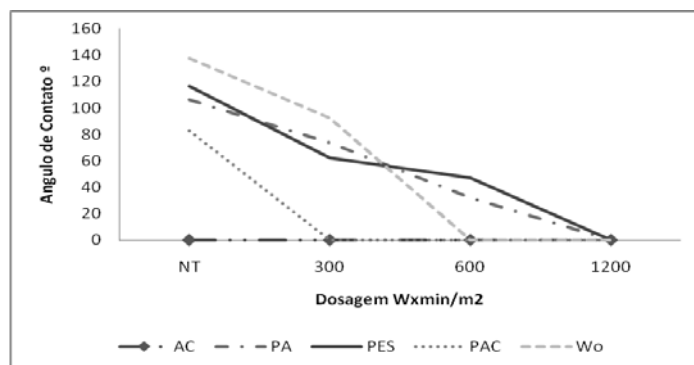


Figura 6 – Ângulo de contato versus tratamento plasmático em cinco diferentes fibras.

3.2 Espectroscopia Fotoeletrônica de Raio-X (XPS)

Pela análise quantitativa obtida pela técnica de XPS na amostra de poliamida após tratamento, pode-se verificar que a razão entre os átomos O_{1s}/C_{1s} e N_{1s}/C_{1s} aumenta de 0.24 para 0.28 e 0.10 para 0.14 respectivamente, conforme pode ser observado na tabela 2. Esta mudança pode ser explicada pela incorporação de átomos de oxigênio e nitrogênio na superfície da fibra de poliamida durante o tratamento plasmático. Este aumento está diretamente relacionado ao aumento dos grupos polares e, conseqüentemente, ao aumento da hidrofiliidade deste substrato.

Tabela 2: Composição elementar (%) e razão atômica (amostras tratadas/ não tratadas).

Amostra	At %			Razão Atômica	
	C_{1s}	O_{1s}	N_{1s}	O/C	N/C
PA sem tratamento	74.67	17.75	7.58	0.24	0.10
PA com tratamento	70.25	19.83	9.92	0.28	0.14

3.3 Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)

Com o objetivo de identificar alterações nas transições térmicas dos substratos em estudo, os gráficos de DSC das amostras, com e sem tratamento, foram analisados. Algumas diferenças foram observadas nas fibras de acrílico, acetato e poliamida, como se pode verificar nas figuras 7a, 7b e na tabela 3.

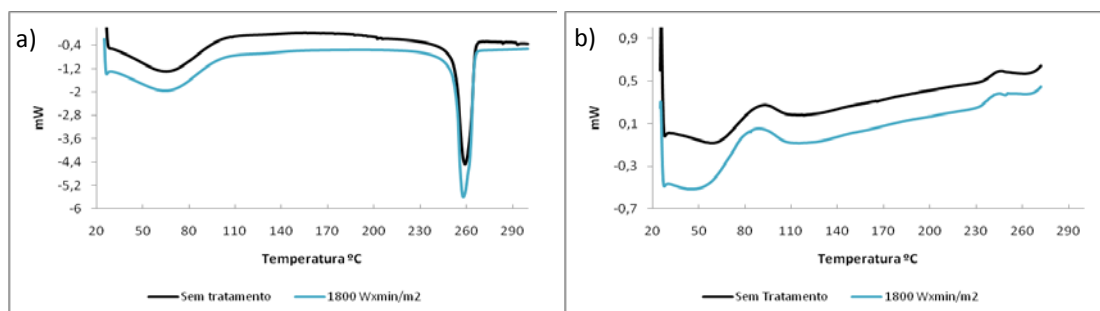


Figura 7 – Gráfico DSC das fibras de (a) poliamida e (b) acrílico (sem tratamento plasmático e tratado com dosagem de 1800 W.min/m² respectivamente).

Tabela 3: Resultados da análise de DSC amostras com (*) e sem tratamento plasmático

Fibras	Tg ponto médio (°C)	Diferença (°C)	Integral Energia (mJ)
Acetato(*)	187.77	- 2.11	-1.63
Acetato	189.66		-2.78
Acrílica(*)	100.02	-1.46	8.33
Acrílica	101.48		6.15
Poliamida(*)	65.29	-3.05	-319.17
Poliamida	68.24		-266.58

A fibra de poliamida é mais afetada pelo tratamento plasmático do que as fibras de acetato e acrílica. Observa-se uma diminuição de 3°C na temperatura de transição vítrea de 2ª ordem e uma significativa perda de energia correspondente ao ponto de fusão.

Estes resultados podem ser atribuídos a um lento processo de aquecimento o qual confere movimento suficiente para as moléculas dos polímeros se arranjam ordenadamente (YIP *et al.*, 2004). Uma outra possibilidade é relatada para a cisão das cadeias na região amorfa durante o bombardeamento dos íons (ABDOU *et al.*, 2002). A redução na temperatura de transição vítrea depois do tratamento plasmático apesar de não ser uma modificação superficial pode ser uma característica capaz de justificar o aumento da hidrofiliabilidade e consequentemente da capacidade de absorção dos banhos de tingimento. Estes resultados estão de acordo com os propostos por Yip *et al.* (2004), em que o aumento da dosagem de tratamento plasmático com oxigênio contribuiu para a diminuição da temperatura de transição vítrea da fibra de poliamida.

3.4 Comportamento Tintorial

A figura 8 mostra os resultados de K/S para o tingimento das diferentes fibras com corante reativo (comercializado para algodão) realizados em pH 5 e pH 9, sem

tratamento e com diferentes dosagens plasmáticas aplicadas. Na figura 9 são apresentados os mesmos resultados com o corante ácido.

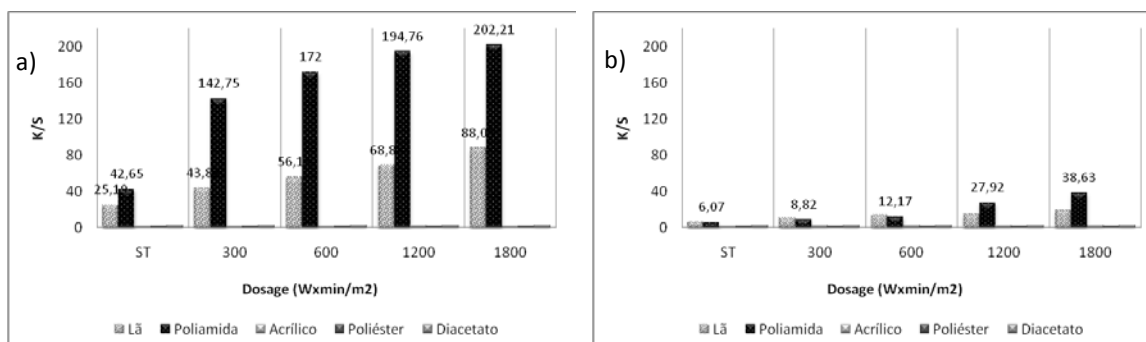


Figura 8 - Valores de K/S das amostras tingidas com o corante Reativo Levafix Golden Yellow E-RA, a) pH 5 e b) pH 9, respectivamente.

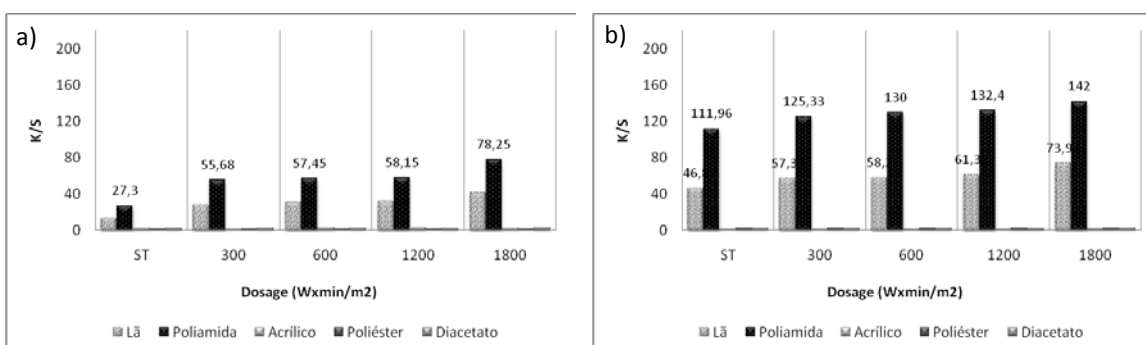


Figura 9 - Valores de K/S das amostras tingidas com o corante ácido Telon Yellow em pH 5 e pH 9, respectivamente.

A modificação superficial nos tecidos de poliamida e de lã depois do tratamento plasmático permite obter cores muito mais intensas com estas duas classes de corantes (reativo e ácido), sem o uso de qualquer tipo de auxiliares químicos no banho de tingimento. Resultados equivalentes são obtidos para os corantes diretos e reativos para lã. Estes resultados estão de acordo com os propostos por Yip et al. (2002) e Oliveira et al. (2009), em que a descarga plasmática com oxigênio e ar atmosférico contribuíram para o aumento da força colorística das fibras de lã e poliamida 66 respectivamente.

As fibras de poliamida e lã possuem cargas positivas em meio ácido, devido aos grupamentos amina. Esta é a razão dos melhores resultados obtidos em pH 5, pois neste meio ocorre uma maior afinidade destas fibras com as cargas negativas dos corantes aniônicos utilizados. Depois do tratamento plasmático, a acessibilidade tintorial da poliamida é altamente potencializada, mostrando as mudanças de efeito químico e estrutural (aumento dos grupos químicos contendo nitrogênio e diminuição da temperatura de transição vítrea).

Com as fibras de poliéster, acrílica e diacetato, não foram obtidos bons resultados com estas classes de corantes aniônicos nas condições testadas.

As figuras 10a e 10b mostram respectivamente os resultados dos tecidos tratados (com a dosagem de $1800 \text{ W} \cdot \text{min}/\text{m}^2$) e sem tratamento, ambos tingidos em dois diferentes pHs (5 e 9) com as classes de corante disperso e catiônico.

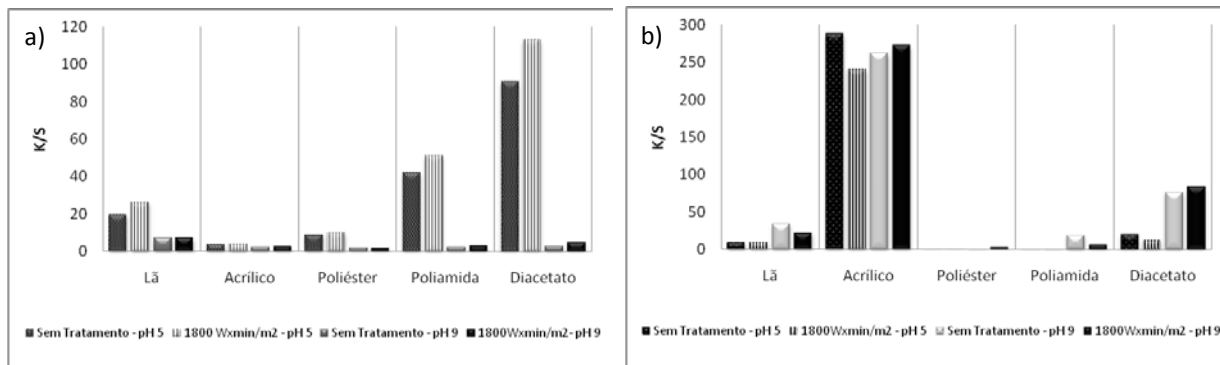


Figura 10 – Valores de K/S das amostras tingidas com corante disperso (a) e corante catiônico (b) amostras sem tratamento e com tratamento de $1800 \text{ W} \cdot \text{min}/\text{m}^2$.

Para o corante disperso, a afinidade e a acessibilidade das fibras de diacetato, lã e poliamida são melhores em meio ácido (pH 5,0), e o aumento da força colorística (K/S) é verificado quando o tratamento plasmático é aplicado. Para os corantes catiônicos, os materiais com tratamento plasmático não apresentaram um efeito positivo, demonstrando que o mecanismo de ligação predominantemente eletrostático não é favorecido.

3.5 Melhoria do Processo

Para verificar os efeitos do tratamento plasmático no esgotamento do banho de tingimento, a poliamida 6.6 foi tingida à temperatura de 70°C . Os valores máximos de esgotamento do corante aplicado pelo processo convencional a 100°C , para as amostras com tratamento plasmático e as amostras sem tratamento, foram comparados com os valores do esgotamento para as amostras com tratamento plasmático e tingidas pelo processo com temperatura mais baixa (tabela 4). A figura 11 mostra as curvas de esgotamento para o processo a 70°C com dois corantes reativos sobre a poliamida 6.6.

Tabela 4: Comparação do esgotamento máximo dos processos de tingimento.

Corantes	Esgotamento %		
	Sem tratamento (ting. Convencional 100°C)	Com tratamento (ting. Convencional 100°C)	Com tratamento (ting. 70°C)
Remazol Red RB	18.9	92.0	88.2
Levafix Red EBA	48.1	97.2	93.1

O processo de tingimento, no qual se reduziu a temperatura em 30°C e o tempo de tingimento em 25%, além da redução de energia, trouxe também ótimos resultados de esgotamento do banho para todos os corantes estudados neste processo. A redução do esgotamento, se comparado com o processo convencional com tempo e temperatura superiores, foi 4.1% para o Levafix Red EBA e 4.2% para o corante Levafix Red EBA. O tingimento a temperatura inferior e a redução do gradiente de temperatura contribuíram para que a montagem dos corantes ocorresse de uma forma mais suave, conforme se pode observar na figura 11.

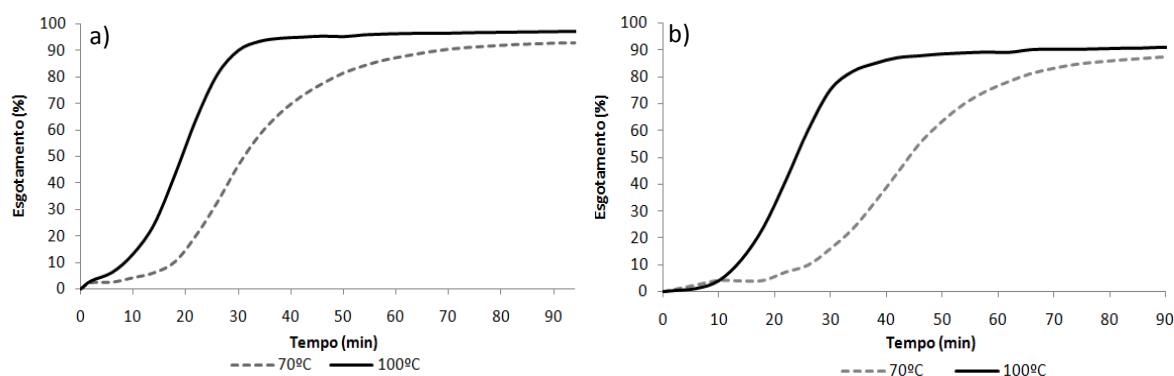


Figura 11 – Comparação dos gráficos de esgotamento dos processos de tingimento 70°C e 100°C dos corantes: a) Reativo Levafix b) Reativo Remazol.

Pelos gráficos obtidos, pode-se verificar uma curva de esgotamento muito mais suave para o processo melhorado (70°C com gradiente de 1°C/min) do que para o processo realizado a 100°C. Apesar de se obter um esgotamento um pouco inferior para os corantes estudados, através deste novo processo é possível um tingimento a temperaturas inferiores e com menores riscos de manchamentos.

4 Conclusão

Os resultados obtidos sugerem que as modificações superficiais realizadas pela descarga plasmática DBD nas fibras de lã, acrílica, poliéster, poliamida e diacetato aumentaram significativamente a hidrofiliabilidade destes materiais.

As modificações detectadas pelas análises de ângulo de contato, XPS e DSC justificam os bons resultados do comportamento tintorial das fibras de lã e poliamida com os corantes ácidos, diretos e reativos. Para os corantes dispersos, o tingimento das fibras de lã, poliamida e acetato foram positivamente afetados pelo tratamento plasmático em meio ácido. No processo de tingimento com corantes catiônicos, não se obtiveram resultados promissores após a aplicação da descarga plasmática para os parâmetros utilizados.

Após a aplicação do tratamento plasmático foi possível verificar que a temperatura do processo de tingimento pode ser reduzida consideravelmente para a fibra de poliamida 6.6 com excelentes resultados de esgotamento do banho de tingimento, permitindo poupanças significativas e limitação importante da poluição na fonte.

A tecnologia plasmática DBD surge então como uma técnica emergente que pode e deve ser estudada com mais profundidade para utilização no tingimento das diversas fibras têxteis e, futuramente, ser aplicada industrialmente.

5 Referências

- ABDOU S.M.; MOHAMED R.I. Characterization of structural modifications poly-tetrafluoroethylene induced by electron beam irradiation. **Journal of Physics and Chemistry of Solids**, v.63, p. 393-398, 2002.
- BORCIA, G.; ANDERSON, C. A.; BROWN, N. M. D. Surface treatment of natural and synthetic textiles using a dielectric barrier discharge. **Surface & Coatings Technology**, v. 201, p. 3074-3081, 2006.
- CARNEIRO, N.; SOUTO, A. P.; FORSTER, F.; PRINZ, E. Continuous and semi-continuous treatment of textile materials integrating CORONA discharge. Patent in internationalization phase (2004) /patent number PCT/PT2004/000008 (2004).
- ____ et al. Dyeability of CORONA treated fabric. **Coloration Technology**, v.117, n. 5, p. 298-302, 2001.
- ____ et al. DBD plasma machine in textile wet processing. IFATCC INTERNATIONAL CONGRESS, 21., Barcelona, Maio de 2008.
- CHEN, X. et al. Plasma penetration depth and mechanical properties of atmospheric plasma-treated 3D aramid woven composites. **Applied Surface Science**, v. 255, p. 2864-2868, 2008.
- DI, J.; PERWUELZ, A.; E GUEGUEN, V. The surface energy of PET fabrics coated with silicone. **Journal of the Textile Institute**, v. 92, p. 184–192, 2001.
- DUMITRASKU, N.; BORCIA, C. Adhesion properties of polyamide-6 fibres treated by dielectric barrier discharge. **Surface & Coatings Technology**, v. 201, p. 1117–1123, 2006.
- FREITAS, D. et al. Tratamento em plasma de tecido 100% aramida para análise de molhabilidade. **Revista Brasileira de Aplicações de Vácuo**, v. 25, p. 215-218, 2006.
- LEROUX, F. et al. Atmospheric air plasma treatment of polyester textile materials. Textile structure influence on surface oxidation and silicon resin adhesion. **Surface & Coatings Technology**, v. 203, p. 3178–3183, 2009.
- LIAO, S. K.; HO Y. C.; CHANG, P. S. Dyeing of nylon 66 with a disperse-reactive dye using supercritical carbon dioxide as the transport medium. **Coloration Technology**, v. 116, n. 12, p. 403-407, 2000.
- LIU, C. J. et al. Effects of DBD plasma operating parameters on the polymer surface modification. **Surface & Coatings Technology**, v. 185, p. 311–320, 2004.
- MAXIMOV, A. I. **Encyclopedia of low-temperature plasma**. Moscow, Fortov V. E., 2000. v. 4, p. 399. Nauka (Science).
- MORENT, R. et al. Non thermal plasma treatment of textiles. **Surface and Coatings Technology**, v. 202, n. 14, p. 7847-7854, Apr. 2008.
- NAEBE, M. et al. Effects of leveling agent on the uptake of reactive dyes by untreated and plasma-treated wool. **Textile Research Journal**, v. 80, n. 7, p. 611-622, 2010.
- OLIVEIRA, F. R.; SOUTO, A. P.; CARNEIRO, N. Tingimento da poliamida 6.6 com corantes reativos para lã e algodão após descarga plasmática de dupla barreira dielétrica. **Revista Química Têxtil**, v. 95, p. 20-34, 2009.
- ____ et al. Surface modification on polyamide 6.6 with Double Barrier Discharge (DBD) plasma to optimize dyeing process by direct dyes. **Journal of Materials Science Forum**, p. 636-637, 2010.

OOSTEROM, R. et al. Adhesion performance of UHMWPE after different surface modification techniques. **Medical Engineering & Physics**, v. 28, p. 323-330, 2006.

ROTH, J. R. **Industrial plasma engineering**: principles. Filadélfia: Instituto de Física de Bristol, 1995. v. 1.

WAKIDA, T. et al. Effect of low temperature plasma treatment on color of wool and nylon 6 fabrics dyed with natural dyes. **Textile Research Journal**, v. 68, n. 11, p. 848-853, 1998.

YAMAN, N. et al. Plasma treatment of polypropylene fabric for improved dyeability with soluble textile dyestuff. **Applied Surface Science**, v. 255, p. 6764-6770, 2009.

YIP, J. et al. Study of physic-chemical surface treatments on dyeing properties of polyamides. Part 1: Effect of tetrafluoromethane low temperature plasma. **Coloration Technology**, v. 118, n.1, p. 26-30, 2002.

____ et al. Comprehensive study of polymer fiber surface modifications Part 2: low temperature oxygen-plasma treatment, **Polymer International**, v. 53, p. 634-639, 2004.

Currículo Resumido dos Autores

Fernando Ribeiro Oliveira tem mestrado em Química Têxtil pela Universidade do Minho (2009) e é graduado em Engenharia Têxtil pelo SENAI-CETIQT (2003). Possui também 4 anos de experiência profissional no segmento têxtil na área de desenvolvimento, produção e controle de qualidade de fios para aplicações técnicas. Atualmente cursa o 2º ano do programa doutoral em Engenharia Têxtil na Escola de Engenharia da Universidade do Minho – Campus de Azurém - Guimarães-Portugal.
Email: fernando.oliveira@det.uminho.pt

António Pedro Garcia de Valadares Souto tem doutorado em Engenharia Têxtil pela Universidade do Minho (2003), Mestrado em Tecnologia Têxtil (1992) e é graduado em Química - Ramo Científico pela Universidade de Coimbra (1988). Tem mais de 20 anos de experiência como professor universitário e em projetos de investigação relacionados ao segmento têxtil. Atualmente atua como docente dos cursos de Engenharia Têxtil, Design de Marketing de Moda, Mestrado em Química Têxtil, Mestrado em Micro-Nano Tecnologias e Mestrado em Têxteis Avançados na Universidade do Minho - UM Portugal.
Email: souto@det.uminho.pt

Noémia Maria Ribeiro de Almeida Carneiro Pacheco é graduada em Engenharia Química pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (1977) e tem doutorado em Química Têxtil pela Universidade do Minho (1987). Desde 1979 exerce funções de docente e investigadora no Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho, nos domínios da estrutura de fibras têxteis, da ciência e tecnologia dos acabamentos e da colorimetria. Coordenou projectos na área das tecnologias plasmáticas e actualmente é responsável por uma linha de investigação em nanocompósitos para aplicação em acabamentos funcionais de materiais têxteis.
Email: noemiac@det.uminho.pt