

# Artigo técnico - Plasma: o agente promotor de adesão em polímeros e sua facilidade de inserção em processos produtivos

Plástico Moderno  
8 de junho de 2015

Texto: Bruno Bellotti Lopes

A tecnologia de plasma já está bem estabelecida como promotor de adesão em peças poliméricas em países como Estados Unidos, Alemanha, França, dentre outros. Aos poucos esta nova tecnologia está anhando espaço nas indústrias brasileiras. Assim como, sólido, líquido e gasoso, o plasma também é considerado um estado da matéria. Mais precisamente, é denominado o quarto estado da matéria ou um gás ionizado. A justificativa para tal denominação é porque para se gerar plasmas é necessário fornecer energia para um determinado gás e este, se tiver energia suficiente, muda de estado. Para melhor compreensão, o mesmo fenômeno de mudança de estado ocorre ao fornecer energia a um bloco de gelo, pois este muda para o estado líquido.

Portanto, o plasma é um estado extremamente energético e é visto fisicamente em forma de uma tocha fria (30°C) gerado a partir de gases, como por exemplo o ar comprimido – processo sem insumos, solventes e efluentes.

Quando esta tocha entra em contato com os materiais, há uma quebra imediata na tensão superficial, permitindo assim, a aplicação de adesivos, selantes ou tintas sem a necessidade de flambagem ou lixamento. Com esta tecnologia, novos campos da engenharia de materiais são abertos, pois além de em alguns casos poder substituir o uso de primers, pode também permitir o uso de polímeros mais baratos, como o polipropeleno, em aplicações onde somente o ABS obteria boa *performance* na adesão ou pintura.

**INTRODUÇÃO** - Existem diversos tipos e maneiras de se gerar plasmas, desde os naturais como as auroras boreais que podem ser vistas no céu do extremo hemisfério norte; de formas mais comerciais como as conhecidas "TVs de plasma" ou até mesmo as lâmpadas fluorescentes.

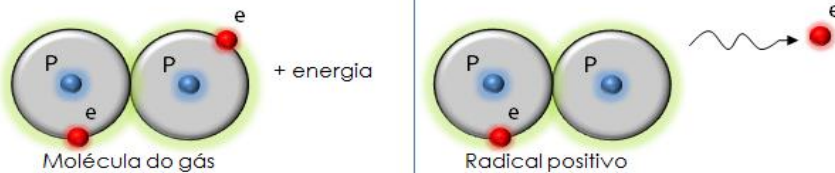
Porém, seu uso em processos industriais pode ser utilizando de duas maneiras: (a) vácuo, como na fabricação de componentes da indústria de microeletrônica e algumas técnicas de metalização; ou (b) atmosférico, através de tochas quentes que chegam a temperaturas na ordem de 2500-3000°C e são utilizadas para fazer cortes em peças metálicas, ou através das tochas frias (35°C) que permitem o pré tratamento de polímeros sem danificá-los. Esta última, plasmas frios, será a base deste artigo cujos princípios e possíveis aplicações serão discutidos com maiores detalhes.

**Figura 1:** Bicos aplicadores de plasma. Direita: SURFACE-SAP01, para aplicações de alta precisão. ESQUERDA: SURFACE-SAP02 para uso industrial. Imagem: [www.surfacebrasil.com.br](http://www.surfacebrasil.com.br)



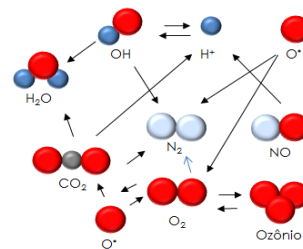
Conforme exposto anteriormente, o plasma é um gás ionizado, ou seja, ao fornecer energia para as moléculas ou átomos do gás perdem um elétron tornando-se radicais positivos. Tanto estes elétrons quanto os radicais possuem energias suficientes para desestabilizar outras ligações químicas quando encontrarem outras partículas.

**Figura 2:** Processo de ionização de uma molécula. Ao fornecer energia para o sistema, os elétrons ganham velocidade e são ejetados, dessa forma é formado um radical positivo.



A partir deste momento, uma série de reações em cascata ocorrem quando estes elétrons e radicais encontram os elementos do ar atmosférico. Dessas reações outra série de radicais são formados e recombinados, conforme exemplificado de forma simplificada na figura 3.

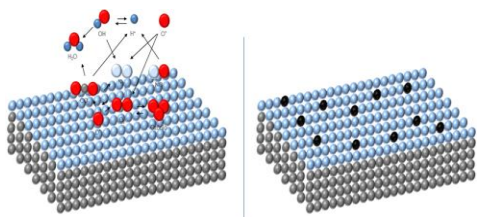
Dessa forma, essa “sopa química” ao encontrar uma superfície, de um plástico por exemplo, fornecerá energia para desequilibrar as moléculas mais superficiais (5 a 10 nm de profundidade) criando novos sítios de ligação química sem modificar as estruturas internas do material (propriedades mecânicas, elétricas e químicas).



**Figura 3:** Formação de radicais em cascata. Elementos como H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> e O<sub>2</sub> disponíveis no ar formam radicais e se recombinam

**Adesão aprimorada** – Para um determinado material (tintas, resinas, adesivos, etc) obter um bom desempenho na adesão a uma superfície são necessárias no mínimo duas condições: (i) área de contato entre a superfície e o material que se deseja aderir e (ii) ligações químicas disponíveis para estabelecer as conexões necessárias.

A relação dessas condições está intimamente ligada a uma regra básica inescapável: todo material tende ao seu menor estado de energia em busca de equilíbrio e alívio de tensões internas. Em outras palavras, materiais que não apresentam boas propriedades de adesão contêm moléculas que se acomodaram química e fisicamente e não possuem mais “interesse” em novas ligações (figura 4).



**Figura 4:** Superfície interagindo com o plasma. Os elementos reativos do plasma rompem as ligações da superfície, preparando-a para novas possibilidades de ligação química.

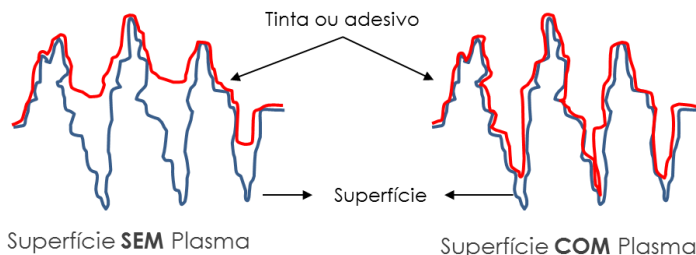
Portanto, para perturbar este equilíbrio as ligações da superfície precisam ser quebradas para gerar a instabilidade e esta “querer” formar novas ligações para se estabilizar novamente. Um método mecânico utilizado para romper as ligações da superfície é o lixamento. Entretanto este método gera alguns efeitos colaterais indesejáveis em um processo produtivo, por exemplo: suspensão de particulados, rugosidade, necessidade de recursos humanos e sua conseqüente insalubridade, necessidade de processo de limpeza posterior, entre outras.

Com a tecnologia de plasma, todos os radicais químicos formados, conforme figura 3, possuem energia

suficiente para romper as ligações da superfície gerando a instabilidade necessária para promover a abertura de novos sítios químicos e obter a adesão. Porém, não apenas abre estas possibilidades de ligação química, mas também reveste a superfície de radicais polares o que implicará em uma molhabilidade superior entre a superfície e o material aderente.

Esta característica de molhabilidade é o reflexo da quebra de tensão superficial residual do material. Com isso, o material aderente percorre mais intimamente as microestruturas (rugosidade) da superfície. Este efeito pode ser facilmente percebido na figura 6 quando uma gota de tinta é posicionada sobre a face superior de uma fita adesiva do tipo 'crepe' que é revestida com um material anti-aderente. Pode ser observado que o poder de atração da nova superfície após o plasma é tão intenso que a gota de tinta se espalha completamente, diferentemente, da superfície com baixo poder de atração.

**Figura 5:** Relação entre molhabilidade e área de contato. Superfície sem exposição ao plasma a relação área real é menor que área útil. Já para superfícies tratadas com o plasma a área real é próxima da área útil.



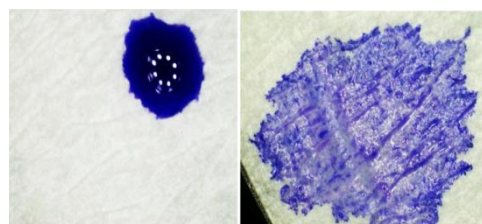
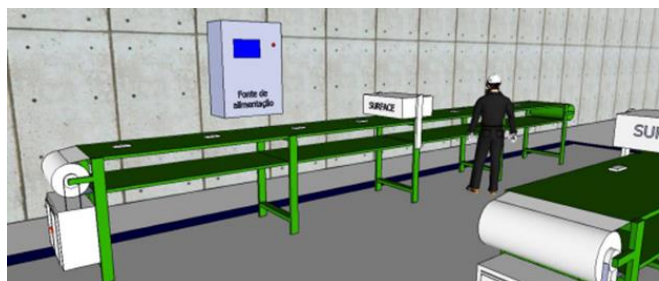
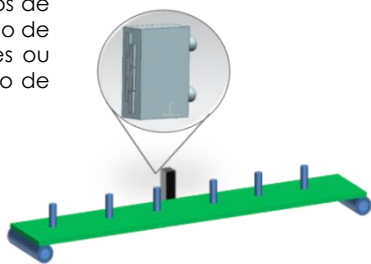
**COMO UTILIZAR A TECNOLOGIA** – O plasma pode ser inserido em processos industriais de forma contínua e, preferencialmente, imediatamente antes do processo de recobrimento, seja este adesivo ou tinta. Por exemplo, em aplicações de adesivos, um bico aplicador como ilustrado na figura 1, pode ser fixado com o auxílio de um suporte ao braço robótico, pois a dosadora de adesivos irá percorrer o mesmo trajeto percorrido pelo plasma sobre uma determinada superfície. Dessa forma, o plasma irá ativar a superfície e sequencialmente, ela receberá o adesivo.

É possível também associar paralelamente bicos aplicadores de plasma sobre um cabeçote para formar uma espécie de "pente". Com esta associação é possível tratar superfícies com áreas maiores (1 a 2 metros), por exemplo, chapas de aço galvanizado ou fibra de vidro – clássica aplicação na produção de painéis.

Em processos que utilizam esteiras em linhas de montagem, serigrafia, etiquetas ou aplicação de adesivos, pode-se posicionar cabeçotes de plasma com capacidade de tratamento de 15 a 20 cm na lateral de esteiras ou associados em túnel para promover o tratamento superficial.

**Figura 7:** Associação de bicos de plasma permitem a formação de um túnel sobre as superfícies ou uma coluna para tratamento de superfícies verticais.

Imagem:  
www.surfacebrasil.com.br



Fita SEM plasma

Fita APÓS plasma

**Figura 6:** Quebra de tensão superficial. Sem a aplicação do plasma o escoamento de uma gota de tinta base água não é completo, porém após a exposição ao plasma, o espalhamento é completo.

**EFEITOS DO PLASMA** – Um dos desejos mais francos da indústria é otimizar seus processos a fim de reduzir custos. Isso pode ser promovido mediante, basicamente, duas ações: (i) substituir substratos por novos materiais ou (ii) reduzir etapas/insumos de um processo.

O plasma vai ao encontro direto das duas premissas. Por exemplo, o uso de ABS como substrato plástico encontrou um grande espaço devido a uma menor tensão superficial se comparado com o polipropileno. Essa característica para processos de adesivação é importante e necessária para garantir um bom desempenho. Dessa forma, opta-se por um material mais caro para parcialmente suprir a deficiência de outros mais baratos. Caso essa opção seja feita devido aos coeficientes

coeficientes mecânicos superiores do ABS (resistência ao impacto IZOD 200-400 J.m<sup>-1</sup>), pode-se eventualmente adicionar cargas inorgânicas, por exemplo, talco, ao polipropileno (20-100 J.m<sup>-1</sup> quando puro) para se alcançar uma resistência ao impacto da ordem de 100 a 300 Jm<sup>-1</sup>.

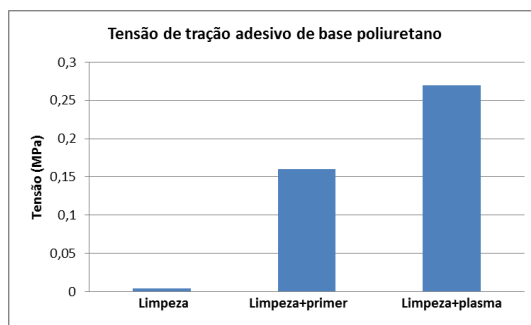
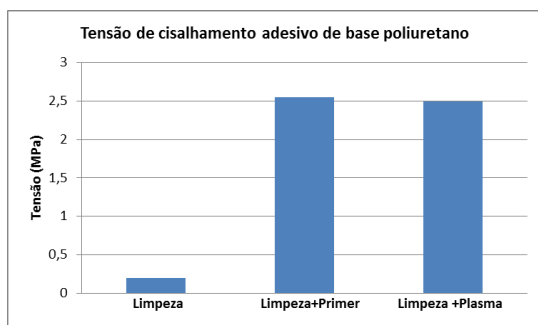
Nesse cenário, ensaiou-se o efeito do plasma apoiado nas duas condições de otimização de processo: (i) eliminar o uso de primer em processo de adesão e (ii) substituir o ABS por polipropileno com carga. Para satisfazer as condições acima citadas, os ensaios de tração e cisalhamento deveriam atingir o caso de falha adesiva do tipo coesiva, em outras palavras, o adesivo deveria se romper e não se soltar da superfície, conforme ilustrado na figura 8.

**Figura 8:** Falha coesiva do adesivo poliuretano. Teste de tração em polipropileno com 20% de carga tratado com plasma.



Para isso, após o processo de limpeza em todas as amostras, um adesivo de base poliuretânica foi aplicado sobre as amostras em três condições: (a) sem nenhum pré tratamento, (b) aplicação de primer e (c) aplicação de plasma. Este ensaio visa comparar o efeito do ganho do primer e do plasma nos substratos.

Preparadas as amostras, ensaios de tração e cisalhamento foram executados obtendo os seguintes resultados: Para o ensaio de cisalhamento, os substratos com o primer ou com o plasma, obtiveram bom desempenho, entretanto, no teste de tração, superfícies tratadas com o plasma obtiveram quase 70% de ganho em adesão, em comparação com as amostras que receberam o primer.



**Figura 9:** Ensaios de tensão ao cisalhamento e à tração em substratos de polipropileno com 20% de carga e adesivos de base poliuretano

**CONCLUSÃO** – O plasma é uma tecnologia nova que é capaz de alterar as propriedades químicas das superfícies sem alterar negativamente as propriedades do substrato. Para processos industriais, é especialmente interessante, pois não requer insumos além de energia elétrica e ar comprimido, dessa forma, torna-se uma tecnologia que não produz efluentes tóxicos caracterizando-a como uma tecnologia verde.

Pode ser utilizado como processo de pré-tratamento para melhorar as propriedades de adesão em substratos com alta tensão superficial. Para tanto, deve-se expor ao plasma, por poucos segundos, o material cuja superfície se deseja ativar e, na sequência, aplicar o revestimento desejado (tinta ou adesivo).

Pode-se constatar por meio de ensaios mecânicos de adesivo de base PU que o pré tratamento a plasma pode substituir o uso de primers, que além de reduzir custo de processo e a quantidade de VOCs dispersa em ambiente fabril, automaticamente elimina uma etapa na produção, proporcionando um aumento na produtividade.

Desta mesma maneira, abre-se a oportunidade para inserção de materiais de menor custo em aplicações de alta performance, como no caso estudado: a substituição de ABS por polipropileno com carga.

**O AUTOR** - Bruno Bellotti Lopes é engenheiro de controle e automação, mestre em Ciência e Tecnologia de Materiais e doutorando em equipamentos de plasma de alta precisão na UNICAMP. Atualmente, além de professor, é gestor de Engenharia de Plasmas na Surface Brasil LTDA e membro executivo da rede de tecnologia de plasmas na Alemanha – BALTICNET.

Contatos:

bruno@surfacebrasil.com.br / www.surfacebrasil.com.br