

# PROCESSO DE DEPOSIÇÃO DE TINTAS CATÓDICAS POR ELETROFORESE E SUAS CORRELAÇÕES COM A QUALIDADE E O MEIO AMBIENTE

**Marcia Regina Alves Villas,**

LATEC /UFF, marcia.villas@daimlerchrysler.com

**Fernando B. Mainier,**

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE, mainier@nitnet.com.br

## RESUMO

O automóvel nestes últimos cinquenta anos tem sido um bem significativo e de importância vital para grande parte da humanidade. A partir da década de 80, tem-se notado um aumento significativo na robotização das montadoras de automóveis, sendo praticamente aceitável, em todos os níveis, que, em ambientes de alta tecnologia, os trabalhadores com funções repetitivas, como apertar parafusos ou aplicação de soldas ponteadas, tendem a ser substituídos por máquinas e robôs. Caminhando na dimensão industrial, os projetos dos carros da atualidade são baseados em visões simples e compactas. E, nesta direção, também, acompanham as próprias fábricas de autopeças, que, na maioria das vezes, já estão enviando às montadoras os grupos de peças prontas, de fácil montagem e formando um conjunto único. A preocupação com a durabilidade, a aparência e vida útil do automóvel tem sido uma constante nos ramos automotivos e coligados, conseqüentemente, o processo de pintura, objeto do presente estudo, é fundamental sob o ponto de vista de uma avaliação crítica. A eletrodeposição de tintas é um processo em que se mantém o mesmo princípio da imersão simples. As tintas usadas possuem, porém, uma formulação especial que permite sua polarização. Usando esta propriedade, a peça (carroceria) é ligada ao pólo negativo dos retificadores de corrente contínua e estabelecendo-se, entre a peça e a tinta onde ela está imersa, uma diferença de potencial, de modo que os compostos orgânicos protonizados (carga positiva) presentes na formulação sejam atraídos para o pólo negativo (carroceria metálica). Dessa forma, toda a peça fica recoberta com uma camada uniforme e aderente de tinta, com espessura na faixa 20-40  $\mu\text{m}$ . A gestão eficiente da aplicação de tintas automotivas está baseada nas normas de aplicação, na avaliação crítica da tinta acabada, na qualidade dos produtos que compõe a formulação, no nível dos contaminantes, na qualidade da água e, finalmente, no controle e na disposição dos efluentes visando à preservação ambiental.

Palavras-chaves: eletroforese, tinta, meio ambiente, contaminantes.

Tema: GS – Gestão social e ambiental

## 1 – INTRODUÇÃO

O automóvel nestes últimos cinquenta anos tem sido um bem significativo e de importância vital para grande parte da humanidade. A partir da década de 80, tem-se notado um aumento significativo na robotização das montadoras de automóveis, sendo praticamente aceitável, em todos os níveis, que, em ambientes de alta tecnologia, os trabalhadores com funções repetitivas, como apertar parafusos ou aplicação de soldas ponteadas, tendem a ser substituídos por máquinas e robôs (Mainier, 1997).

Caminhando na dimensão industrial, os projetos dos carros da atualidade são baseados na segurança e em visões simples e compactas. E, nesta direção, também, acompanham as próprias fábricas de autopeças, que, na maioria das vezes, já estão enviando às montadoras os grupos de peças prontas, de fácil montagem e formando um conjunto único.

Segundo Pétala (1997), a partir dos 80, ocorreu uma exigência que o mercado automobilístico transformou num imperativo categórico: a qualidade, que se tornou uma espada de Dâmocles sobre cada projeto, tão numerosos são os testes, tão rígidas são as especificações, os aperfeiçoamentos e, enfim, as surpresas para se alcançar sem erros, na data prevista, o nível de qualidade exigido pelo mercado.

Os elementos detonadores destas mudanças foram os desafios da concorrência nacional e internacional e as exigências dos clientes, no sentido de incorporar as inovações no seu cotidiano. Dessa forma a pesquisa e o desenvolvimento tecnológico foram impelidos no sentido de atingir a qualidade, a confortabilidade e a segurança, ditadas pelas normas sociais vigentes. A preocupação com a durabilidade, a aparência e vida útil do automóvel tem sido uma constante nos ramos automotivos e coligados, conseqüentemente, a pintura, objeto do presente estudo, é fundamental sob o ponto de vista de uma avaliação crítica.

A proteção anticorrosiva e a aparência são dois pontos básicos na pintura automotiva. A proteção anticorrosiva está fundamentada na preparação da chapa, na fosfatização, na eletroforese e no *primer*, enquanto, a aparência deve estar baseada nas tintas de acabamento, que também devem oferecer características protetoras contra o desgaste e o intemperismo.

A complexidade dessa operação ou fase de processo na indústria automotiva pode ser analisada através das diferentes situações a que um veículo automotor pode estar exposto: como lama, chuva, sol, poluentes atmosféricos, ambiente marítimo, cascalhos, clima frio e seco ou quente e úmido, neve, tempestades, etc., além de uma infinidade de produtos que se depositam sobre a pintura dos veículos diariamente.

A situação fica mais complexa, devido ao grande volume de veículos produzidos em um só dia por uma montadora, cada um deles poderá, durante o uso, enfrentar qualquer das situações acima, sendo que um mesmo veículo poderá enfrentar todas essas situações durante sua vida útil.

Dentro desse quadro, a indústria automotiva vem aperfeiçoando continuamente seus sistemas de pintura, bem como desenvolvendo novas tecnologias e produtos, de maneira a se manter sempre um passo à frente das exigências do mercado.

A gestão eficiente da aplicação de tintas automotivas está baseada nas normas de aplicação, na avaliação crítica da tinta acabada, na qualidade dos produtos que compõe a formulação, o nível dos contaminantes, na qualidade da água e, finalmente, no controle e na disposição dos efluentes visando à preservação ambiental.

## 2 – PINTURA ELETROFORÉTICA

A pintura automotiva, em geral, é um processo contínuo e ininterrupto, pois paradas não programadas dentro de uma linha automatizada de pintura podem trazer prejuízos altíssimos, tanto do ponto de vista econômico quanto na qualidade final da pintura. Por

exemplo: uma parada de 10 minutos em uma linha de montagem final que produza um veículo por minuto provoca uma perda de 10 unidades.

A eletroforese conseguiu impor-se como processo moderno de pintura em série nas indústrias de automóveis e aparelhos eletrodomésticos desde a década de 60. Hoje em dia, na Europa, Japão, Estados Unidos e também no Brasil, praticamente todos os automóveis produzidos são pintados por eletroforese.

A eletrodeposição de tintas é um processo em que se mantém o mesmo princípio da imersão simples. As tintas usadas possuem, porém, uma formulação especial que permite sua polarização. Usando esta propriedade, a peça (carroceria) é ligada ao pólo negativo dos retificadores de corrente contínua e estabelecendo-se, entre a peça e a tinta onde ela está mergulhada, uma diferença de potencial, de modo que os compostos orgânicos protonados (carga positiva) presentes na formulação sejam atraídos para o pólo negativo (carroceria metálica), conforme mostram, a seguir, os esquemas apresentados nas figuras 1 e 2.

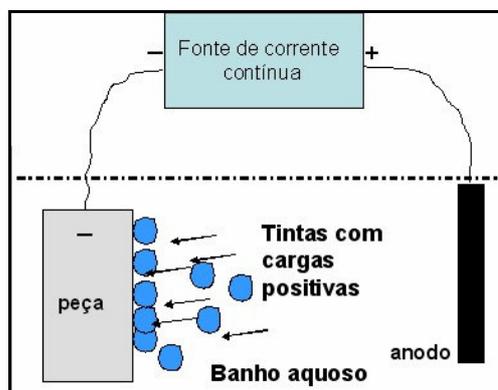


Fig.1 - Esquema do processo de deposição da tinta

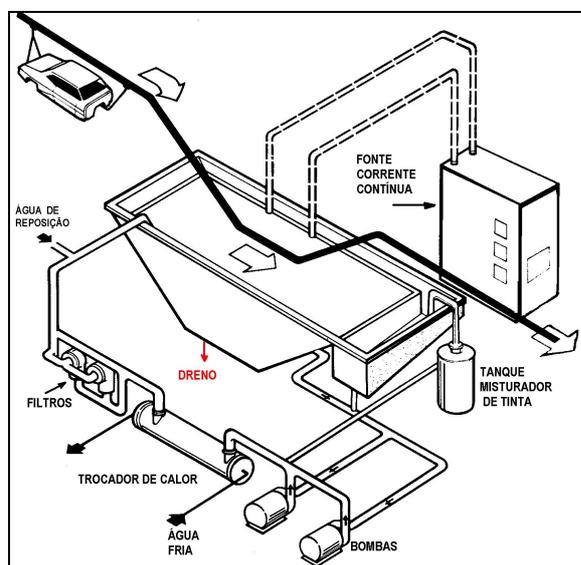


Fig.2 – Esquema de pintura eletroforética industrial

Geralmente, o pólo positivo (anodo) é constituído de uma chapa de aço inoxidável ou de uma liga de titânio, entretanto, em alguns casos o próprio tanque serve como pólo positivo, o que pode acarretar reações de contaminação ao banho pelo ataque anódico aço-carbono constituinte do tanque.

A tinta aplicada vai, continuamente, cobrindo toda a peça com base na adsorção das cargas positivas neutralizadas pelas cargas negativas da peça (Brett & Brett, 1996). Dessa

forma, toda a peça fica recoberta com uma camada uniforme e aderente de tinta, com espessura na faixa 20-40  $\mu\text{m}$ .

Tendo em vista que as formulações das tintas são aquosas, a aplicação da corrente elétrica nos eletrodos, gera, continuamente, hidrogênio e oxigênio conforme mostram as reações catódicas e anódicas apresentadas, a seguir :



As formulações de tintas eletroforéticas são constituídas de compostos orgânicos, macromoléculas de alto peso molecular, geralmente de radicais amínicos e parcialmente solúveis em água. O pH do banho é preferencialmente ácido, de tal forma, que as moléculas orgânicas possam ser protonizadas, ou sejam, capazes de adquirir carga positiva e desta forma se deslocarem para o pólo positivo (carroceria), e adsorvendo-se ou quimissorvendo-se sobre a superfície metálica formando, conseqüentemente, uma película aderente e isolante conforme mostra, a seguir, o esquema da fig.3.

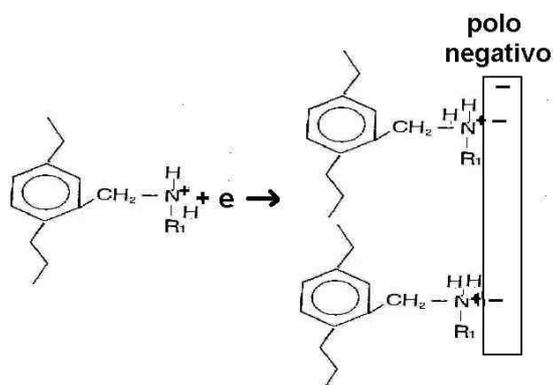
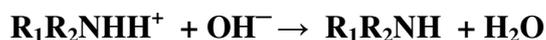


Fig 3 – Esquema da deposição das aminas protonizadas na superfície metálica catódica

A resina anódica adquire uma carga negativa, permitindo, assim sua dispersibilidade no meio racional. Dessa forma, a coagulação ocorre como uma inversão da fase de solubilidade induzida pela reação com os íons  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  formados durante o processo eletrolítico, segundo as reações, a seguir:



A quantidade de tinta aplicada é função direta da tensão aplicada, geralmente, variando de 280 a 350 volt. O pH do banho é mantido numa faixa de 6,0 a 6,4 por meio da adição controlada de ácido acético, enquanto, a condutividade do banho varia de 0,95 a 1,6 mS/cm numa temperatura de 25 a 27°C. Visando manter as especificações rígidas do banho são realizadas análises cromatográficas constantemente para aferir o teor de amina e outros aditivos importantes na deposição.

Conforme mostra o esquema da figura 4, a tinta fica sempre circulando no tanque de imersão, passando constantemente, pelo sistema de resfriamento, por filtros e finalmente por um sistema de ultrafiltração. Tais procedimentos evitam a incorporação de impurezas

particuladas na tinta e além disso, a paralisação da circulação acarretaria a coagulação e a perda irreversível da tinta.

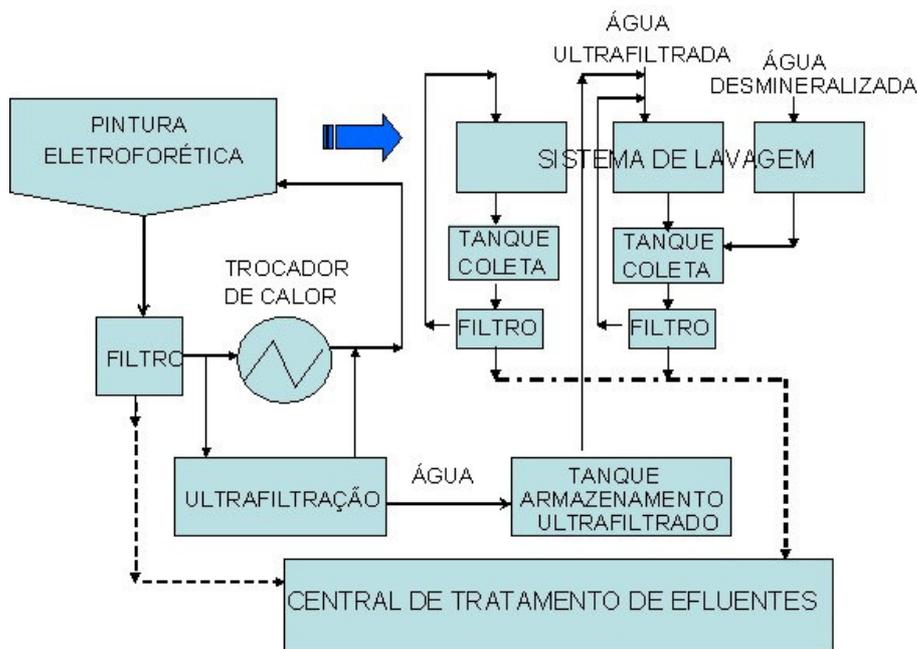


Fig.4 – Fluxograma simplificado do sistema de pintura eletroforética

Após passar pelo processo eletroquímico, a carroceria se desloca para o sistema de lavagem, onde o excesso de tinta não aderida à superfície, espumas e outras impurezas dispersas são removidas por água (fig.5).

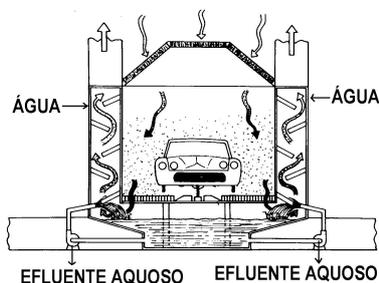


Fig.5 - Remoção do excesso de tinta não aderida à carroceria

A carroceria, então, passa por uma segunda lavagem (enxaguada) com água proveniente da ultrafiltração e finalmente com água desmineralizada, proporcionando superfícies pintadas, muito limpas.

Finalmente, a carroceria é introduzida em estufas para que a película aplicada venha a se formar por ativação térmica. O tempo de cura é da ordem de 15 minutos e sob uma temperatura de 180°C resultando numa espessura de tinta seca na ordem de 15 a 20 µm.

### 3 – GESTÃO DO SISTEMA DE PINTURA

Conforme dito anteriormente a proteção anticorrosiva e a aparência são dois pontos fundamentais na pintura automotiva. A proteção anticorrosiva está fundamentada na preparação da chapa, na fosfatização, na eletroforese e no *primer*, enquanto, a aparência deve estar baseada nas tintas de acabamento, que também devem oferecer características protetoras contra o desgaste e o intemperismo.

Do ponto de vista da técnica de processos, as vantagens da pintura eletroforética estão alicerçadas nos seguintes fatores:

- economia de material e custos;
- automatização;
- proteção ao meio ambiente;
- confiabilidade do processo;
- cobertura uniforme da camada;
- redução dos riscos de incêndios e explosões (tintas à base d'água);
- economia de energia.

Por outro lado, por ser um processo eletroquímico, as vantagens enumeradas anteriormente podem ser questionadas e até refutadas em função dos seguintes parâmetros:

- características físico-químicas das tintas;
- qualidade das águas utilizadas no processo;
- nível de contaminações no processo de eletrodeposição;
- reutilização das águas de processo na lavagem e em outras atividades industriais.

Visando atender aos requisitos de qualidade da tinta final aplicada nas carrocerias com os requisitos básicos da preservação ambiental, é proposto na figura 6, a seguir, um esquema de gestão que qualifique tanto a pintura aplicada quanto a preservação ambiental.



Fig.6 – Esquema de gestão aplicado para deposição de tinta eletroforética

O modelo de gestão aplicado à eletrodeposição de tinta no setor automobilístico está fundamentado, interligado, direta e indiretamente, e além disso em consonância com os seguintes parâmetros; avaliação constante do sistema de automação, controle laboratorial da pintura, avaliação crítica das impurezas presentes no banho eletrolítico, avaliação da qualidade da água em todas as fases do processo (água desmineralizada, água ultrafiltrada), tratamento de efluentes, reutilização da água e finalmente a pesquisa e o desenvolvimento de novas formulações de tintas aplicadas ao processo eletroforético. Desta forma, com base na análise crítica do processo de eletrodeposição são feitas as seguintes considerações:

- o sistema totalmente automatizado quando comparado aos sistemas tradicionais de revestimentos, verifica-se uma redução de custo em função de

menor custo de mão-de-obra, de energia e redução de intervenções na manutenção;

- a automatização também proporciona uma incidência reduzida de rejeição das peças revestidas;
- o processo de eletrodeposição propicia uma cobertura contínua e uniforme em função da densidade de corrente (ampére/área), pois, à medida que a área vai diminuindo, a densidade de corrente aumenta e todos os pontos são cobertos pela tinta;
- um banho eletroquímico bem formulado, ou seja, com uma condutividade construída com base em ensaios físico-químicos pode reduzir o tempo de 3 minutos de imersão para um minuto, aumentando, conseqüentemente a produtividade;
- o aumento da concentração de sólidos na película depositada e a penetração em pontos muitas vezes inacessíveis são fatores positivos quando comparado aos processos convencionais;
- os banhos eletroquímicos com cerca de 80 % de água reduzem a concentração de solventes orgânicos propiciando uma redução substancial na emissão de gases poluentes no meio ambiente e um menor risco de incêndios e explosões;
- a utilização de anodos de aço-carbono pode provocar a formação de íons ferrosos conforme mostra a reação:  $\text{Fe} - 2e \rightarrow \text{Fe}^{2+}$ ; acarretando a formação de depósitos, como o hidróxido ferroso -  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  e causando contaminações que podem alterar as características da tinta;
- a presença de íons  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ;  $\text{Mn}^{2+}$  e  $\text{Cr}^{3+}$  presentes no banho eletroquímico podem causar manchas na pintura;
- é obrigatória a filtração contínua da tinta para remoção de impurezas sob forma de particulados e tinta coagulada; a confiabilidade do sistema é aumentada por um programa de avaliação laboratorial contínuo;
- é fundamental a filtração e/ou a ultrafiltração da tinta visando à remoção de partículas sólidas em suspensão, coaguladas, floculadas, sedimentadas, etc. pois podem alterar significativamente as propriedades físico-químicas da tinta a ser eletrodepositada; caso as partículas possuam carga positiva podem migrar para o catodo (carrocera) impregnando a tinta aplicada;
- o processo de ultrafiltração com membranas proporciona o reuso da água proveniente do banho eletroquímico (fig.4) tanto no processo de lavagem das carrocerias quanto em outras atividades industriais;
- o processo de eletrodeposição necessita de uma água de alta qualidade obriga um tratamento adequado com o uso de resinas de troca iônica visando à produção de água desmineralizada;
- o controle laboratorial deve ser dimensionado para atender ao monitoramento contínuo da água que alimenta o banho eletroquímico e o sistema de lavagem final;
- o tratamento particular e sistemático do sistema de pintura propicia um tratamento mais efetivo destes efluentes quando comparado aos sistemas de tratamento do tipo convencional *end-of-pipe*.

## 5 – CONSIDERAÇÕES

Antigamente, o passivo de uma empresa só era relacionado às perspectivas econômicas, diretas ou indiretas, do negócio. Atualmente, em função do novo ordenamento mundial, têm surgido outros passivos que, direta ou indiretamente, acabam formando um grande problema empresarial, como os de ordem social, ocupacional, tecnológico e ambiental (Carvalho, 1998).

O passivo social de uma empresa pode ser formado pelos litígios trabalhistas e outros problemas ligados aos funcionários; o passivo ocupacional é devido ao acúmulo de acidentes e doenças adquiridas pelos trabalhadores no exercício de suas atividades e o passivo tecnológico significa não só a obsolescência técnicas das máquinas e dos processos, mas também relativas à instrumentação, aos controles, ao conhecimento, às adequações de *software*, etc.

O passivo ambiental, segundo Costa (1998) corresponde ao investimento que uma empresa deve fazer para corrigir os impactos ambientais gerados e não controlados ao longo dos anos de operação. Antigamente, era apenas um detalhe nas negociações de fusões ou incorporações empresariais. Atualmente, o problema é sério pois, dependendo do valor e do tipo de passivo a incorporação empresarial poderá não ocorrer e caso ocorra a Empresa incorporadora adquire um passivo difícil de ser tratado e removido. Na maioria das vezes o custo da remediação e/ou remoção é inviável.

Muitas empresas no segmento automotivo têm adotado um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) moldado na Norma ISO 14.000 e ISO 19000 (ABNT-NBR ISO 19001, 2002; ABNT-NBR ISO 14001, 1996; ABNT-NBR ISO 14004, 1996; ABNT-NBR ISO 14010, 1996; ABNT-NBR ISO 14011, 1996) em atendimento as legislações ambientais vigentes visando se tornarem competitivas frente às questões relacionadas com o meio ambiente.

Este sistema possui mecanismos para garantir que as exigências legais de regulamentações, de contratos empresariais relativas aos impactos ambientais identificados sejam conhecidas, analisadas, documentadas e atualizadas pela organização. Os objetivos e as metas deste sistema são mensuráveis, constituindo assim uma excelente ferramenta de gestão e de melhoria contínua, possibilitando o controle e o monitoramento do processo pela alta administração.

Além disso, este programa tem por finalidade envolver e sensibilizar todos os funcionários da empresa na importância da preservação ambiental, mostrando que a implantação de um programa de qualidade ambiental possibilita uma melhoria de qualidade de vida para ele e todos que o rodeiam

Por outro lado, na ótica de Tigre et al.(1994) a decisão empresarial de investir em tecnologias ambientais é função dos seguintes fatores: a) concorrência entre os pares; b) pressão dos clientes; c) pressão da opinião pública; d) incentivo e/ou pressão dos governos. É claro, que as pressões forçam tomadas de decisões empresariais, entretanto os próprios empresários começam a perceber que investir na preservação ambiental pode ser uma fonte de receita e não um fardo ou uma obrigação legal.

Atualmente, existem empresas comprometidas com o meio ambiente que adotam e/ou estão dimensionadas, segundo suas metas e produção, em duas vertentes: o tratamento dos resíduos no final do processo (*end-of-pipe*) e a tecnologia produção limpa (*clean technology*).

Dependendo do tipo e da idade do processo, da localização, das fontes das matérias primas, em fim das várias premissas que levaram a implantação da indústria, é quase impossível modificar a filosofia do tratamento dos resíduos no final do processo (*end-of-pipe*). Muitas vezes, a modificação na visão ambiental requer uma grande transformação estrutural, que do ponto de vista econômico é descartado. Dessa forma, a única solução viável é tratar seus efluentes no final do processo.

A tecnologia limpa pode ser definida como o conjunto de métodos e técnicas que objetiva a minimização dos resíduos e tem como eixo central à preservação do meio ambiente, conseqüentemente, adotando normas de gestão ambiental. As matérias primas e a energia necessária ao processamento industrial devem ser otimizadas e integradas ao ciclo produção e consumo, de tal forma, a minimizar o impacto ambiental. As operações, as condições operacionais e os equipamentos envolvidos devem ser gerenciados com base na gestão crítica, que visa diminuir a possibilidade de falhas e danos.

Finalmente, a tecnologia limpa deve ter como princípio fundamental a finalidade de propiciar uma melhor qualidade de vida para o homem, ou seja, a tecnologia limpa deve ser sempre um direito do cidadão no presente e no futuro.

Na ótica de Fresner (1998) e Dlasenter & Tavares (1999), a administração industrial limpa pode ter duas vertentes: a produção limpa (*clean production*) e a produção mais limpa (*cleaner production*). A produção limpa é uma estratégia preventiva que visa minimizar os impactos dos processos e produtos no meio ambiente. Sua principal diretiva é criar nas empresas a conscientização para a prevenção da poluição, procurando a fonte dos desperdícios e as emissões, por meio de um programa para uso eficiente dos recursos.

A produção mais limpa é a aplicação continuada de uma estratégia ambiental preventiva e integrada aos processos, produtos e serviços a fim de aumentar a eficiência e reduzir os riscos para o homem e o sistema ambiental. Deve incentivar a industrialização com base na eficiência, prevenindo a poluição do ar, água e solo; reduzindo os resíduos na fonte de poluição e minimizando os riscos para a população humana e o ambiente.

## 6 – CONCLUSÕES

Com base no exposto pode-se concluir que o modelo de gestão de pintura eletroforética proposta está baseada nas normas do Sistema de Gestão Ambiental e tem como meta integrar o processo eletroquímico nas diretrizes de uma produção mais limpa, ou seja, objetiva a minimização do uso de água e energia, estimula o reuso de água nos processos de lavagem, otimiza a eliminação de produtos tóxicos e perigosos, reduz os riscos de incêndios e explosões e desenvolve tecnologia própria no tratamento e disposição dos resíduos, visando à redução do impacto ambiental.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT-NBR ISO 14001: Sistemas de Gestão Ambiental - Especificação e Diretrizes para Uso, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- ABNT-NBR ISO 14004: Sistemas de Gestão Ambiental - Diretrizes Gerais sobre Princípios, Sistemas e Técnicas de Apoio, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- ABNT-NBR ISO 14010: Diretrizes para Auditoria Ambiental - Princípios Gerais, ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- ABNT-NBR ISO 14011: Diretrizes para Auditoria Ambiental - Procedimentos de Auditoria de Sistemas de Gestão Ambiental, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- ABNT-NBR ISO 19001: Diretrizes para auditorias de sistemas de gestão da qualidade e/ou ambiental, Rio de Janeiro, 2002.
- CARVALHO, A.B.M. de, Quanto vale sua empresa? São Paulo: Revista Meio Ambiente Industrial, Ano III, Edição 13, nº 12, maio-junho, 1998, p.40-41
- COSTA, A.B., Passivo ambiental: uma preocupação adicional, São Paulo, Gazeta Mercantil, 03/09/1998, p.C-1.

- DALSENTER, F.D.H. & TAVARES, L.B.B. A Proposta ZERI -*Zero Emissions Research Initiative* e sua aplicabilidade. *Revista de estudos Ambientais*. Blumenau v.1, n.3, 1999, p. 30-39.
- FRESNER, J. Cleaner production as a mean for effective environmental management. In: *Journal of Cleaner Production* v.6, n.3/4, 1998, p.171-179.
- MAINIER, F.B - Reflexões: o computador, o desemprego e o processo educativo. *Anais: 4ª Jornada de Pesquisadores em Ciências Humanas*, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, 8/10 Outubro, Campus da Praia Vermelha, UFRJ, 1997, p.35
- OLIVEIRA BRETT, A. M. & BRETT, C.M;A. *Electroquímica, princípios, métodos e aplicações*, Coimbra, Portugal,; Editora Almedina, 1996.
- PÉTALA, P. *Conceber um produto em meio complexo: o caso do automóvel*. *Ciência e Tecnologia Hoje*, Nicolas Witkowski (coordenador), São Paulo: Editora Ensaio, 1997, p.48-49.
- TIGRE, P.B.; WANDERLEY, A.; FERRAZ, J.C.; RUSH, H. *Tecnologia e Meio Ambiente. Oportunidades para indústria*. Rio de Janeiro: Instituto de Economia Industrial, UFRJ, 1994, 139p.