

DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS E NOVOS PRODUTOS NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

Marcelo Ribeiro de Araujo

Mestre em Engenharia de Produção na COPPE/UFRJ, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ. Caixa Postal 60507, CEP: 21945-970. Email: araujo@pep.ufrj.br

Ricardo Manfredi Naveiro

Professor do Programa de Engenharia de Produção e da Escola de Engenharia UFRJ, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ. Caixa Postal 60507, CEP: 21945-970. Email: ricardo@pep.ufrj.br

ABSTRACT: : This paper stresses the importance of new materials adoption in the automobile industry, highlighting that they are source of various innovations such as the product development method and the processing method for this new material. The new materials are being developed simultaneously to the development of the automobile part or subassembly, with superior performance related to the former material. Some of the actual experiences of new materials development in the automobile industry are reported in the paper.

KEYWORDS: new materials, technology innovation, automotive industry.

RESUMO: Este artigo mostra a importância dos novos materiais na indústria automobilística, destacando que os mesmos são fontes de várias inovações no desenvolvimento do produto e no seu processamento. Os novos materiais estão sendo desenvolvidos simultaneamente ao desenvolvimento de peças e subcomponentes do automóvel, com desempenho em engenharia superior ao material tradicional utilizado. Algumas das atuais experiências no desenvolvimento de novos materiais são descritas nesse artigo.

1 - INTRODUÇÃO

Os novos materiais estão na base do novo paradigma tecnológico, constituindo o elemento organizador que influencia a estrutura de custos relativos e age como veículo de propagação da mudança tecnológica. Estes materiais têm penetração em diversos segmentos da indústria, sendo responsáveis pelo desenvolvimento de novos setores, atividades e processos de produção.

Mudanças tecnológicas contínuas (1) estão relacionadas com progresso técnico ao longo de uma “trajetória tecnológica”, definida por um paradigma tecnológico, enquanto descontinuidades (2) estão associadas à emergência de um novo paradigma tecnológico. Os novos materiais – por suas características poupadoras de energia, de matérias-primas e de mão-de-obra – estão na base de um novo paradigma tecnológico, bem como servem de insumo para setores industriais “estratégicos”.

Nesta última década, a pesquisa científica e tecnológica, vem assumindo novas formas no sentido de uma concepção sistêmica e integrada. De uma maneira geral o que mais chama atenção nesse processo, no campo dos materiais, é a grande variedade de descobertas de propriedades dos novos usos e da variedade de aplicações desenvolvidas. O resultado final é o número muito grande de materiais alternativos aos que vinham sendo tradicionalmente utilizados. Há um abandono do multiuso – um mesmo material para vários produtos – no sentido de uma especialização maior – várias opções de material para um mesmo produto - (3).

A tendência é que os materiais sejam desenvolvidos com propósitos específicos e por setores envolvidos com seu uso final, e não somente, com a produção do material em si. Sendo assim, um produto não repousa mais sobre um dado material, ao contrário, diversos materiais passam a competir entre si para assumir determinada função, a um determinado custo, promovendo a inversão na lógica da produção. Anteriormente, o estágio inicial (material) determinava o estágio final (produto incorporando o material), hoje há condições para uma seleção do material mais adequado às especificações de um determinado produto. Para os produtores de materiais, os fornecedores de peças e as montadoras um fator chave para o sucesso no próximo século é os mesmos trabalharem em conjunto, definindo as novas características e avanços no campo dos materiais, isto é: um futuro apontando para a *engenharia simultânea*.

Tudo isso torna o atual processo de substituição dos materiais revolucionário na razão direta da profundidade e amplitude das transformações geradas. As mudanças qualitativas e quantitativas são frutos de um complexo de inovações científicas, tecnológicas e organizacionais que afetam todo

o sistema econômico industrial. Além disso, o desenvolvimento dos novos materiais assume um caráter multidisciplinar, uma vez que exige conhecimento produzido em diversas áreas. Isso é um importante resultado não mensurável, já que a parceria de especialidades torna a própria pesquisa uma forma de aprendizado que transfere conhecimentos durante sua execução por toda equipe. A difusão de conhecimentos necessárias a introdução das novas tecnologias na produção é rápida e direta dispensando mecanismos intermediários.

Nos dias de hoje a questão dos materiais empregados nos automóveis têm se tornado um ponto de grande importância. Por outro lado, o aumento nos tipos e no desempenho dos materiais disponíveis para a indústria automobilística tem oferecido um automóvel 96% menos emissor de gases poluentes e 100% mais eficiente no consumo de combustível quando comparados com os automóveis do final da década de 70. Ao mesmo tempo, o objetivo alvo neste mercado altamente competitivo está sendo direcionado para um mercado cada vez mais global.

A penetração dos novos materiais na indústria automobilística é um fato evidente e irreversível. Em alguns casos tem-se observado o desenvolvimento de novas peças e novos componentes ou mesmo a sua substituição completa. Assim, essa indústria vem enfrentando desafios na reestruturação do modelo de produção anterior, incorporando as inovações tecnológicas em geral e os avanços dos materiais em especial, com um enfoque estratégico de sobrevivência dentro do novo paradigma tecnológico. A eletrônica embarcada, a melhoria no desempenho dos motores e de sua eficiência, além das adaptações necessárias para atender às exigências ambientais e de segurança que têm sido crescentes, são motivos que tem levado à substituição dos materiais componentes de todas as partes do automóvel numa competição constante entre os materiais.

2 – CARACTERÍSTICAS QUE INFLUENCIAM NA ESCOLHA DO MATERIAL

Durante a crise do petróleo na década de 70, a indústria automobilística direcionou seus esforços para aumentar a eficiência dos combustíveis nos automóveis. Desenvolvimentos avançados em muitas áreas foram realizados, incluindo motores mais eficientes, melhorias na aerodinâmica e combustíveis alternativos. Entretanto o método mais óbvio e eficaz para economizar combustível é

através da redução do peso do veículo. Uma redução de 10% no peso do veículo, por exemplo, resultará em uma economia de combustível de 7% na cidade e de 4% em rodovias (4).

Como a indústria automobilística é uma indústria de produção em massa, a redução de custo torna-se uma característica dominante no ciclo de desenvolvimento do produto. Historicamente, este objetivo é alcançado através de substituição direta de uma peça em particular, onde o material alternativo possa oferecer o mesmo desempenho a baixo custo. Mas, recentemente, os esforços na redução de custos têm direcionado as montadoras a considerar os custos de submontagem. Assim, devemos considerar materiais alternativos que até possam encarecer a peça, mas que possam diminuir os custos de montagem.

Um novo material deve proporcionar um grau de desempenho em engenharia superior ou não encontrados nos materiais convencionais. As características de engenharia mais críticas no projeto de automóveis desde a década de 70, tem sido a rigidez específica (módulo do material dividido pela sua densidade) e a resistência específica (resistência do material dividido pela sua densidade). Em outras palavras, a indústria automobilística busca materiais que reduzam o peso do automóvel. Um critério no projeto do produto, para que a substituição de um material por outro tenha sucesso, em muitos casos, é que esse novo material consiga reduzir o peso total do automóvel sem sacrificar o desempenho do veículo e sem aumentar excessivamente os custos.

Outro ponto de grande importância é baseado na compatibilidade do material e seu processamento com o desenvolvimento do produto em particular. Por exemplo, a competição entre o aço e o plástico é cada vez mais discutido, não somente em termos de unidades processadas, mas também o tempo necessário para processar a peça. O custo com equipamentos e ferramentas para peças de plástico são mais baratas do que para peças em aço, baixo volume de produção e tempo de vida do produto curto favorecem peças feitas em plástico, enquanto que grande volume de produção e longo tempo de vida do produto favorecem o aço.

Nos últimos ano a questão ambiental tem tornado-se um ponto de grande importância para as mais variadas indústrias, não podendo se diferente para a automotiva. A seleção dos materiais e seu processo de manufatura podem ter grande efeito em áreas, como: depredação de recursos naturais; consumo de energia; poluição; e refugos. Além de fatores que surgem e forçam a indústria automobilística a levar cada vez mais a sério a questão ambiental, tais como: legislações; redução no custo de manufatura; e imagem da companhia. Então, procura-se materiais que apresentem boa

reciclabilidade, sejam de fácil desmontagem e que seu processo não gere subprodutos que agridam o meio-ambiente (5).

3 - OS MATERIAIS NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

No decorrer dos anos a indústria automobilística vem sofrendo grandes transformações e não poderia ser diferente no processo de escolha dos materiais empregados nos automóveis. O primeiro grande passo foi quando em 1911 a SAE (Standard American Engineering) padronizou o primeiro aço, o SAE 1050. No mesmo ano, mais ênfase foi dada a metalurgia dos materiais, graças aos avanços no desenvolvimento dos microscópios e a consciência de se tratar o *tratamento térmico* como ciência. Quando Ford lançou seu famoso Modelo T, ele utilizou uma nova liga de aço contendo *vanádio*, que era três vezes mais resistente e era mais fácil de usinar do que os, até então, aços padronizados. O alumínio começou a ser empregado na indústria automobilística em 1915 e na década de 30 já estava substituindo o ferro fundido no pistão do motor. Em 1936, na Alemanha, a Volkswagen começou a utilizar magnésio fundido no eixo de manivela, no sistema de transmissão do motor e em outras pequenas partes, o que proporcionou um automóvel 50kg mais leve, cerca de 7% do peso total. Na década de 40 a Du Pont introduziu o *nylon* como material automotivo, sendo este o primeiro material polimérico sintético utilizado em automóveis (6).

Novas ligas de zinco e alumínio foram desenvolvidas na década de 40 pela Alemanha para substituir o bronze, já que a mesma não possuía jazidas de cobre em seu território. A partir da década de 50 começaram a ser lançados automóveis com peças de carrocerias feitas de materiais “plástico”. O plástico oferecia uma novo material para se escolher. Ele era leve, resistente e podia ser facilmente moldado em formas complexas. Porém esse novo material oferecia problemas, já que seu processo de fabricação era lento e era muito trabalhoso pintá-lo. Mas, mesmo assim, os plásticos em uma década, 1960 a 1970, aumentaram sua participação nos automóveis em 34kg, esse aumento ocorreu principalmente em componentes decorativos no interior dos automóveis.

As maiores vantagens dos plásticos em relação ao aço, os quais são apontados para justificar o crescimento da participação dos plásticos nos automóveis, são a redução de peso e sua grande resistência à corrosão. A decisão das montadoras de adotar este ou qualquer novo componente ou material em maior escala depende cada vez mais da avaliação da contribuição que os mesmos trazem

para a elevação da eficiência da indústria, consideração crescentemente relevante em função da intensa concorrência a que estão submetidas (7). Dentre esses critérios, ressaltam-se:

- Oferecimento aos consumidores de maior qualidade em termos de desempenho, durabilidade e substitutos;
- Os custos totais de produção, incluindo montagem final, devem ser mais baixos do que os anteriores ou substitutos;
- Custo e qualidade da peça, que inclui serviços e reposição, devem ser competitivos;
- O peso deve ser reduzido.

Dada a elevada capacidade de modelagem do plástico, a integração entre as peças é facilitada, potencializando a montagem de subconjuntos por fornecedores, tendência mundial adotada pela indústria automobilística. O sistema de encaixe das peças elaboradas em plásticos pode proporcionar a eliminação de acessórios de fixação de metal, diminuindo custos de ferramentaria e montagem. Por sua maior flexibilidade, adequa-se mais facilmente as novas tendências de *design*, de formas mais arredondadas. Assim, desde que, usados os melhores processos, os plásticos podem ser competitivos em termos de custos finais.

Representam dificuldades para a obtenção dos ganhos citados a duração do ciclo de produção das peças e a impossibilidade de reciclagem, fatores que variam com o tipo de plástico empregado. A problema da reciclagem vem se tornando um critério rigoroso regulado por normas e leis, como nos EUA e na União Européia, o que influencia a seleção do material empregado. Várias pesquisas estão em andamento a nível mundial, mas, atualmente, não existe um método considerado apropriado para a reciclagem do poliuretano e outros termofixos, usados amplamente. Já a maior parte dos termoplásticos, destacando-se o polipropileno, podem ser fundidos e reutilizados com mais facilidade. A tabela 1 ilustra a quantidade de plástico utilizados nos automóveis americanos, europeus e brasileiros em 1995. A tabela 2 mostra a distribuição dos plásticos nos automóveis em 1995.

Em uma indústria com alto volume de produção como a indústria automobilística, a velocidade de produção é uma função crítica para satisfazer as exigências dos seus consumidores. Assim, o processo de manufatura é uma consideração chave para que este consiga satisfazer a demanda, portanto, o projeto de um componente ou estrutura deve estar dentro de certas limitações do

processo de fabricação escolhido. O uso de materiais compósitos na indústria automobilística desenvolveu-se gradualmente durante a década de 70 e 80 (4). Porém, o uso destes materiais em automóveis fabricados em série foram limitados à aplicações decorativas e semi-estruturais (interior do painel, capô, piso e pará-choques em um segundo caso). O passo seguinte foi a extensão do uso dos compósitos para aplicações estruturais, tais como: na carroceria e no sistema chassis-suspensão.

Região	Peso (kg)
EUA	90-120
Europa	70-100
Brasil	60-90

Tabela 1 - Peso de Componentes Plásticos em 1995

Fonte: Relatório BNDES, 1995

Aplicação	%
Equipamentos internos	63
Corpo externo	15
Motor	9
Sistema elétrico	8
Chassi	5

Tabela 2 - Distribuição de Peças Plásticas nos Veículos em 1995

Fonte: Relatório BNDES, 1995

A fibra de carbono é o material preferido da indústria aeroespacial, devido a sua combinação superior de rigidez, resistência mecânica e resistência à fadiga. Para ilustrar, a tabela 3 mostra o potencial que a fibra de carbono poderia oferecer à indústria automobilística, caso alguma grande descoberta ocorresse e reduzisse o preço do material, foram resumidos dados sobre um protótipo (LTD) construído pela Ford, comparado diretamente com um mesmo veículo produzido em aço.

Embora o veículo em fibra de carbono pesasse 1138kg comparado com os 1705kg de um veículo similar em aço; uma avaliação feita entre os veículos não indicou diferenças perceptíveis entre os mesmos. A qualidade e as condições dinâmicas do veículo em fibra de carbono na estrada foram consideradas pelo menos iguais a um veículo LTD produzido com aço de alta qualidade. Apesar disso, a aplicação de materiais compósitos na estrutura do automóvel depende; da larga escala de produção, da capacidade de se usar um processo de fabricação rápido e econômico, para se adequar ao volume de produção em massa da indústria automobilística.

Componente	Peso		
	Aço (kg)	CFRP (kg)	Redução (kg)
Carroceria	192,3	72,7	115,0
Chassis-suspensão	128,6	93,6	35,0
Rodas	41,7	22,3	19,4
Capô	22,3	7,8	14,7
Piso	19,5	6,5	13,1
Portas	64,1	25,2	38,9
Pára-choques	55,9	20,0	35,9
Barra de direção	9,6	6,8	2,8
Peso total do veículo	1705	1138	566

Tabela 3 – Redução no peso de um automóvel CFRP

Adaptado de Encyclopedia Advanced Materials

Os novos materiais cerâmicos são ao mesmo tempo, os mais avançados e os menos difundidos, principalmente por restrições econômicas (custos). O uso maior destes materiais depende de um processo de produção mais rápido e barato para se adequar ao volume e à demanda da indústria automobilística. Por outro lado, suas vantagens são claras em termos de melhorias no desempenho do motor e na economia de combustível, acentuados pelos interesses ambientais. Os materiais cerâmicos reduzem a emissão de gases poluentes e calor sem sacrificar a potência do motor, devido ao seu baixo peso, alta rigidez, e alta resistência a água e ao calor.

Como os plásticos, o alumínio desperta grande interesse em função de sua baixa densidade. Há muito tempo, as montadoras estão interessadas em usar alumínio nas peças dos automóveis, o uso do alumínio nos motores está aumentando de escala. Na produção de modelos modernos (com exceção do Audi A8) quase não encontramos o uso desse material na carroceria. A razão para este fenômeno se encontra no alto preço do alumínio quando comparados com o aço e o plástico, o alumínio deve provar que seus benefícios podem prevalecer seu alto custo.

4 - QUESTÕES SOBRE O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS MATERIAIS E NOVOS PRODUTOS

Nos últimos 15 anos temos observado não somente a integração de componentes, mas também dos materiais. Observamos o desenvolvimento do produto como um todo, onde os projetos podem ser visualizados e avaliados tanto do ponto de vista da engenharia como da manufatura paralelamente, combinando parâmetros envolvidos nas duas áreas, é a contribuição da “engenharia simultânea”.

Hoje, um certo número de modelos devem ser produzidos em poucas linhas de montagens, em volumes pequenos e a um custo que permita um preço competitivo, para consumidores cada vez mais exigentes e conhecedores de produto. Os novos materiais são uma função importante nesse processo, já que eles ajudam, tanto no processo de desenvolvimento do produto como à manufatura a tratar de questões de custos e a aumentar a flexibilidade, o que resulta na melhoria do desempenho (8).

O projeto para desenvolver um novo automóvel é complexo e dura muito tempo; pode envolver centenas, milhares de pessoas por muitos meses. O planejamento e o projeto são complicados, dadas as mudanças de mercado, longo *lead time* e a grande variedade de escolha. As complexidades de engenharia incluem uma enorme quantidade de peças e componentes, níveis de qualidade e custos exigidos, número de objetivos envolvidos e inerente ambigüidade da avaliação do produto pelo consumidor.

São inúmeras as questões envolvidas no desenvolvimento de um novo material, em princípio, a indústria automotiva vem priorizando a redução no peso do automóvel, o que dependerá de inovações tecnológicas em diversas áreas. A redução do peso pode ser obtido pela substituição dos atuais materiais; por novos no processo de fabricação; montagem; pelos fatores que influenciarão a qualidade exigida no veículo; e a prática da reciclabilidade, muito discutido atualmente. Os novos materiais são desenvolvidos para atuar nos sistemas mais complexos e importantes do veículo: chassis-suspensão, carroceria e motor. Mas, o emprego de novos materiais pela indústria automotiva deverá estar dentro de sua realidade, em termos de custo e com as novas regulamentações ambientais. Em geral, algumas recomendações podem ser seguidas pela indústria automobilística para o desenvolvimento de novos materiais (9):

- Um novo método poderia ser adotado pela Ciência e Engenharia dos Materiais para aumentar os materiais existentes e o desenvolvimento de novos materiais, em termo de custos e de maneira mais competitiva. Este novo método envolveria considerações do ciclo de vida do material, do processamento do material, da manufatura dos componentes e das medidas de desempenho em serviço.
- A modelagem por computador se torna necessário para integrar e assegurar o custo e o benefício do uso continuado dos materiais existentes versus a introdução de novos materiais. As questões críticas são o processamento, propriedades, meios de união, reparos e reciclagem.

- A indústria automotiva poderia priorizar o uso de alguns materiais para aplicações específicas, onde suas propriedades poderiam ser ajustadas no processamento, ao invés, de se adicionar elementos de liga. Isso poderia eliminar a necessidade de separação dos materiais antes da reciclagem.
- Custo-efetivo, redução de peso, alta resistência, de fácil manufatura e de boa reciclabilidade são pontos exigidos para o uso dos materiais na indústria automobilística. Tais objetivos podem ser obtidos com a introdução de novos materiais, como: alumínio, magnésio e cerâmicos. O desenvolvimento a baixo custo, disponibilidade de processo para a manufatura e reciclagem serão pontos cruciais para aumentar o uso de um material ou de outro.

A empresa deve ter uma abordagem sistemática para integrar o desenvolvimento do produto, de forma tal que a tomada de decisão procede com intervalos grandes de trabalho paralelo por todas as expectativas do ciclo de desenvolvimento do produto, desde do início do processo, sincronizadas por trocas comparativamente breves, para produzir consenso. Assim, os problemas típicos dos modelos sequenciais de desenvolvimento de produtos são eliminados ou minimizados. O uso computador vêm facilitando a comunicação entre engenheiros, projetistas e demais setores da empresa, além de intensificar a comunicação com os principais fornecedores. Assim, os fornecedores são informados quase que instantaneamente sobre qualquer alteração ocorrido no projeto, proporcionando menor *lead time*, maior qualidade e menores custos. O uso de sistemas CAD/CAM está possibilitando realizar testes e simulações virtuais (10). Com o projeto virtual mudanças em peças e subsistemas podem ser realizadas de maneira muito mais eficiente, a montagem de peças podem ser geradas pelo computador para verificar tolerância, encaixe final e mais, tudo isso antes que seja feito um protótipo físico. A aplicação da simulação no estágio inicial do projeto possibilita não somente aumentar a velocidade do processo, mas também eliminar ou reduzir os custos dos erros no projeto.

Como a indústria automobilística vem passando por um processo de desverticalização e de estreito relacionamento com seus fornecedores, ela acaba compartilhando responsabilidades com os fornecedores para o desenvolvimento de novos materiais . São as chamadas parcerias tecnológicas (11), entre as mais importantes podemos citar a parceria Alcoa-Audi que abriu os caminhos para uma concepção integrada de automóveis, envolvendo produtor de material e montadora, proporcionando o lançamento do primeiro automóvel feito totalmente de alumínio. Em contrapartida a reação dos produtores de aço se faz presente no ULSAB (Ultraligh Steel Auto Body), para o

desenvolvimento de ligas mais leves, reúne 33 siderurgias mundiais e montadoras (3). Outra parceria famosa é entre as três grandes montadoras americanas com seus fornecedores e o governo federal americano para o desenvolvimento de um novo conceito de automóveis.

5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Atualmente, a indústria automobilística se vê forçada a adotar um novo sistema no desenvolvimento de novos materiais para seus produtos, sistema esse totalmente integrado envolvendo os fornecedores mais importantes e a própria montadora. Todos trabalhando simultaneamente no desenvolvimento do produto para atender as exigências do consumidor, lançando novos modelos mais freqüentemente num mercado cada vez mais turbulento. Esses esforços no trabalho conjunto e paralelo, baseia-se no conceito de *engenharia simultânea* que se faz cada vez mais presente na indústria automobilística.

O envolvimento dos vários atores envolvidos no desenvolvimento de novos materiais através das “parcerias tecnológicas” (11) é um fato, e possuem objetivos comuns, como: benefícios mútuos, maior eficiência no consumo de energia, melhorias na qualidade ambiental e aumento na sua competitividade. A introdução de materiais mais leves aumentará a economia no consumo de combustível nos veículos convencionais, precisando, porém, de novas tecnologias de manufatura e contribuindo, desta forma, para uma nova geração de veículos. Mas, tais veículos precisam manter o mesmo desempenho, tamanho, utilidade, mesma ou segurança superior e atender as novas exigências ambientais.

Novos materiais e estruturas são essenciais no desenvolvimento de um automóvel mais eficiente que possa melhorar a redução de peso, reduzir sua resistência ao ar e aumentar sua resistência mecânica e à corrosão. Uma redução de 40% no peso total do automóvel é alvo do trabalho em conjunto das três grandes montadoras americanas com seus fornecedores e o governo federal americano, juntamente com melhorias em outras áreas, como nos motores e na aerodinâmica. A redução no peso tem sido obtido principalmente em dois sistemas do automóvel (carroceria e chassi, cerca de 50%). Os materiais mais utilizados na redução de peso, são: aços de alta resistência, plásticos reforçados, alumínio e magnésio. O titânio vem sendo estudado para possíveis aplicações na carroceria, titânio e compósitos para aplicações no chassi (12).

Questões ambientais estão sendo puxadas por consumidores e legislações governamentais. Portanto, engenheiros de projeto, de manufatura e a gerência, devem agora, considerar as questões ambientais como ponto de grande importância. Tais questões envolvem principalmente, o problema de reciclabilidade do material e o impacto do seu processo no meio-ambiente. Após todas essas considerações podemos mensurar a importância do desenvolvimento de novos materiais na indústria automobilística, tanto para satisfazer nossas necessidades de consumidores, como para garantir nossa segurança e a segurança do meio em que vivemos.

Bibliografia:

- 1) **DOSI G.**, The Nature of the Innovative Process in Technical and Economic Theory. Pinter Publishers, London, 1988.
- 2) **NELSON R. R., WINTER S. G.**, In Search of Useful Theory of Innovation. Research Policy 6, pp - 36-76. North-Holland, 1997.
- 3) **MEDINA H., NAVEIRO R.**, Materiais Avançados: Novos Produtos e Novos Processos, Anais do Enegep 1996.
- 4) **The Encyclopedia of Advance Materials**, Editors David Bloor, Richard J. Brook, Merton C. Flemings, Subhash Mahajan, Senior Advisor Editor: Robert W. Cahn, Pergamon UK, volume 1, pp-173-198, 1994.
- 5) **LENEL U., SMITH D.**, Selecting Materials with The Environment in Mind, Metals and Materials , pp-553-556, september, 1990.
- 6) **BRAGG G.**, Materials: Key to 100 Years of Automotive Progress. Automotive Engineering, december, pp-93-99, 1996.
- 7) **Relato Setorial: O Uso de Componentes Plásticos pela Indústria Automobilística.** Rio de Janeiro: BNDES, 1996.
- 8) **CLARK P. , FLEMINGS C. ,** Advanced Materials and the Economy in The Materials Revolution. Edited by Tom Forester. Press Massachusetts Institute of Technology, London, 1998.
- 9) **Materials Research Agenda for Automotive and Aircraft Industry, National Research Council Report for the Committee on Materials for 21st Century. Printed by National Academy Press Washington, 72p, 1993.**
- 10) **BUCHHOLZ K.**, Simultaneous Engineering Saves Time and Money. Automotive Engineering, november, pp-97-99, 1996.
- 11) **MALDONADO J.**, O Brasil Face ao Processo de Globalização Tecnológicas - O Segmento de Novos Polímeros em Foco. COPPE/UFRJ, Tese de Doutorado, Rio de Janeiro, 1996.
- 12) **Green Manufacturing and The Global Materials Industry.** Advanced Materials and Processes, pp-25-28, january, 1997.