



**48**

**CETEM**

**Série Estudos & Documentos**

# **Inovação em Materiais na Indústria Automobilística**

**Heloísa Vasconcellos de Medina**

PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Fernando Henrique Cardoso  
VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA: Marco Antônio Maciel  
MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA: Ronaldo Mota Sardenberg  
SECRETÁRIO EXECUTIVO: Carlos Américo Pacheco  
SECRETÁRIO DE COORDENAÇÃO DAS UNIDADES DE PESQUISA:  
João E. Steiner

## CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

DIRETOR: Fernando A. Freitas Lins  
COORD. DE PROJETOS ESPECIAIS (CPE): Juliano Peres Barbosa  
COORD. DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (CTM): Adão Benvindo da Luz  
COORD. DE METALURGIA EXTRATIVA (CME): Ronaldo Luiz C. dos Santos  
COORD. DE QUÍMICA ANALÍTICA (CQA): Maria Alice C. de Góes  
COORD. DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (CES): Carlos César Peiter  
COORD. DE ADMINISTRAÇÃO (CAD): Cosme Antônio Moraes Regly

ISSN - 0103-6319

# **Inovação em Materiais na Indústria Automobili- stica**

## **HELOÍSA VASCONCELLOS DE MEDINA**

Economista com DSc em Engenharia de Produção pela Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, desde 1980 vem atuando como pesquisadora no CNPq na área de novos materiais e questões relacionadas a mineração e meio ambiente. Sua linha de pesquisa tem ênfase em temas como: desenvolvimento sustentável, inovação tecnológica e organização industrial. É também colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Engenharia da COPPE/UFRJ em gestão da inovação na indústria automobilística, desde 1996.

**SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS**  
**CONSELHO EDITORIAL**

**Editor**

Carlos César Peiter

**Subeditor**

Maria Laura Barreto

**Conselheiros Internos**

Francisco E. de Vries Lapido Loureiro

Francisco R. C. Fernandes

Gilson Ezequiel Ferreira

**Conselheiros Externos**

Alfredo Ruy Barbosa (Consultor)

Gilberto Dias Calaes (ConDet)

José Mário Coelho (CPRM)

Rupen Adamian (UFRJ)

Saul Barisnik Suslick (UNICAMP)

A **Série Estudos e Documentos** publica trabalhos que busquem divulgar estudos econômicos, sociais, jurídicos e de gestão e planejamento em C&T, envolvendo aspectos tecnológicos e/ou científicos relacionados à área minero-metalúrgica.

O conteúdo deste trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Jackson de F. Neto COORDENAÇÃO EDITORIAL  
Vera Lúcia Ribeiro EDITORAÇÃO ELETRÔNICA

Medina, Heloísa Vasconcellos de

Inovação em materiais na indústria automobilística/Heloísa Vasconcellos de Medina. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2001.

67 p. (Série Estudos e Documentos; 48)

1. Novos materiais. 2. Indústria automobilística.  
I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Título. III. Série.

ISBN 85-7227-153-8

ISSN 0103-6319

CDD 338.6048

# Sumário

---

<b>Resumo/Abstract</b>	<b>5</b>
<b>Introdução</b>	<b>7</b>
<b>1 O Automóvel e sua Indústria: um panorama da evolução mundial</b>	<b>12</b>
<b>2 Progressos e Desenvolvimentos em Materiais Automotivos: um breve histórico</b>	<b>19</b>
<b>3 Processo de Substituição e de Seleção de Materiais Automotivos</b>	<b>24</b>
<b>4 Novas Tendências: qual o futuro para os materiais automotivos?</b>	<b>33</b>
<b>5 Pesquisa de Campo: os materiais inovadores na Renault</b>	<b>40</b>
<b>5.1 Contexto do Projeto Clio II: uma escolha justificada</b>	<b>40</b>
<b>5.2 Apresentação e Análise dos Exemplos Selecionados</b>	<b>43</b>
<b>5.2.1 Os pára-lamas de Plástico numa Carroceria Multimaterial</b>	<b>43</b>
<b>5.2.2 A Motorização do Clio II: as inovações em materiais e processos simplificando a produção</b>	<b>51</b>
<b>5.3 Análise dos Exemplos Apresentados</b>	<b>56</b>
<b>6 Conclusão</b>	<b>60</b>
<b>Bibliografia</b>	<b>64</b>



# Resumo

---

Este livro trata de um estudo de caso realizado para a tese de doutoramento em engenharia de produção na COPPE/UFRJ sobre a inovação em materiais automotivos entre 1998 e 1999. Dividido em cinco capítulos, o texto se inicia com um panorama do automóvel e de sua indústria seguido da história dos materiais automotivos e do processo de substituição de materiais, e das principais tendências para os novos materiais e tecnologias associadas. Passando então ao contexto do Projeto Clio II e apresentação da gestão de P&D e os novos materiais na Renault, para chegar a análise dos cinco exemplos selecionados. Finalmente mostra as principais conclusões tiradas a partir do estudo de situações concretas de introdução de novos materiais e do processo de difusão de inovações no projeto do Clio II. Na conclusão são destacadas as interações entre a introdução de novos materiais e a organização da produção fazendo-se um balanço das alterações que a entrada de novos materiais automotivos vêm provocando em toda a cadeia de produção do automóvel, desde a simplificação da linha de montagem final até as novas formas de projeto em engenharia simultânea para antecipar problemas e soluções.

**Palavras Chaves:** Projeto Industrial; Difusão de Inovações; Novos Materiais; Indústria Automotiva

# Abstract

---

This book is based on the author PhD thesis that investigated the process of diffusion of new materials in the automobile industry through the analysis of the vehicle design activities. It presents the case study conducted at Technocentre Renault, from 1998 to 1999, and where it was verified that the diffusion of materials innovation is compressing the vehicle development cycle and altering the profile and boundaries of all activities involved, such as research and development, design, vehicles engineering and production. It was also observed the parallelism between research and development, viability studies, conceptual design and production. Multidisciplinary design teams were formed in order to accelerate the contributions and shorten the lead time to arrive at results which are both innovative and promoters of the diffusion of innovation. In conclusion it claims that the new materials introduced in the Clio II Renault confirm the initial hypothesis of the thesis, highlighting the automotive reengineering from the car design to the industrial plant downsizing.

**Keywords:** Industrial Design; Diffusion of Innovations; New Materials; Automobile Industry



# Introdução

O automóvel é originalmente, um objeto técnico mecânico que, em fins do século XIX, se diferenciou das carruagens não só por seu motor a combustão interna mas pelos novos usos de materiais tradicionais metálicos ou orgânicos, como o aço e a madeira, e também pelas inovações em materiais como os pneus de borracha os quais fizeram a grande diferença, em termos de conforto, entre esses dois meios de transporte.

Um carro é portanto um produto múltiplo, de diversos outros produtos intermediários, montado à partir de 20 a 25 mil peças feitas dos mais diversos materiais. Além dos metais, que representam hoje 70 % de um automóvel, existem ainda mais de 50 tipos de plásticos, e outras famílias de materiais, menos numerosas, como os vidros, os têxteis, as tintas etc. que, associados a diferentes tecnologia, processos de produção, de tratamento e de montagem, conferem a este produto de extrema complexidade.

Assim, embora ele seja o produto mais característico do nosso século, é na verdade um famoso desconhecido porque as pessoas desconhecem os materiais que o constituem e que são responsáveis tanto pelo seu desempenho como pela sua aparência. Elas compram carros pelo conforto, facilidade de deslocamento e bom desempenho esperando nunca precisar abrir o capô, e muito menos escolher uma peça de acordo com o material de que ela é feita.

Aparentemente, para o consumidor, as inovações em materiais fazem parte do que Clark e Fujimoto chamam de «inovações invisíveis», ou seja, aquelas que o cliente não vê, ou não valoriza senão que indiretamente pela vantagem que representam. Mas nem por isso essas inovações são menos importantes do ponto de vista do evolução tecnológica do produto e de sua indústria. Ao contrário, os novos materiais participam de uma estratégia de inovações globais que ultrapassa as fronteiras das fábricas de automóveis. Assiste-se hoje em dia, mais do que a uma transição de modelos de organização da produção, a uma reestruturação ampla do setor automobilístico que ainda é o mais representativo das modernas formas de organização industrial de nosso século.

Na verdade, a cada novo projeto, tem-se a impressão que o carro e seus modelos de produção são reinventados. De uma indústria de montagem puramente metal-mecânica, completa e verticalmente centralizada, as

montadoras vem se transformando em coordenadoras de uma rede intersetorial, complexa e integrada de grandes grupos industriais produtores de materiais e de auto peças que chegam a ser, por vezes, mais poderosos que o que as próprias montadoras. Esses grupos, pertencentes principalmente aos setores químico e eletrônico, que vieram se juntar à rede de industrialização do automóvel nas últimas duas décadas, são por exemplo: Péchynei, GE Plastics, Plastic Omnium, Krupp Hoecht Automotive, Siemens Automotive Systems, Delphi Automotive e ITT Automotive. Em parceria, as diversas especialidades são compartilhadas e novos conhecimentos são colocados à disposição das montadoras para projetos cada vez mais inovadores. Todos os setores, sejam tradicionais ou avançados, aumentam suas atividades de P&D em redes de cooperação contínua e global que impulsionam a evolução do automóvel em ritmo cada vez mais acelerado.

O objetivo principal desse estudo foi o de analisar, teoricamente, e identificar, empiricamente, a relação entre a introdução de novos materiais e a organização da produção industrial numa visão global e sistêmica, desde a pesquisa tecnológica até a montagem do produto final. Trata-se de uma investigação sobre como e porque a difusão de inovações no campo dos materiais afeta toda a organização da produção.

Tem-se como pressuposto básico que existe uma relação de interação dinâmica entre mudança tecnológica e organização da produção, a qual vem comandando, de forma cada vez mais evidente, as estratégias empresariais, notadamente na indústria automobilística. Tem-se ainda como premissa que essa relação pode ser claramente observada através do processo de difusão dos novos materiais no automóvel, o que permite uma abordagem integrada do processo de inovação e da evolução dos sistemas de organização da produção a partir de um estudo de caso em uma grande montadora mundial.

Dentro dessa visão identifica-se uma estratégia de inovação global que integra no nível do projeto a pesquisa e desenvolvimento de materiais, de produtos e processos, o “design” e engenharia de produto, a realização de protótipos e a industrialização final do veículo até as atividades de “marketing”, venda e pós-venda. Assim dentro de um espírito de flexibilidade estendida que abrange toda a organização industrial do setor, inclusive sua rede de fornecedores e distribuidores, as empresas mudam suas formas de organização e suas relações à medida projetam novos modelos.

Nesse quadro, de transformações amplas e de longo prazo, os novos materiais desempenham um papel central mas nem sempre visível. Foi exatamente para colocar em evidência esse papel que realizamos um estudo de caso sobre a difusão das inovações em materiais dentro do processo de reorganização da indústria automobilística numa grande montadora mundial. A Renault foi escolhida por pautar sua estratégia industrial e tecnológica num processo de inovações globais como núcleo da sobrevivência desse objeto técnico símbolo de um estilo de vida. O Technocentre, um dos mais modernos centro integrado de PD&E (pesquisa, desenvolvimento e engenharia) é um complexo, ainda em expansão, onde trabalham cerca de 10.500 pessoas, em mais de 5 projetos simultâneos e distintos e realizam ainda dezenas de desenvolvimentos complementares, em parceria com diversos fornecedores e colaboradores externos. Trata-se de em uma organização transversal, também chamada de organização por projeto ou matricial que abriga desde a concepção de novos modelos até sua industrialização.

O objetivo específico do trabalho de campo foi o de identificar os impactos da inovação em materiais na organização da produção caracterizando um processo sinérgico, global de mudanças profundas no conceito do automóvel e em suas formas de produção. Na Renault foram analisados exemplos de novos materiais introduzidos nos anos 90 sempre observando o entorno das mudanças tecnológicas e organizacionais ocorridas, focalizando em especial o projeto do Clio II do qual apresentaremos 5 exemplos: pára-lamas de plástico, mancais de Teflon, juntas de silicone, sedes para válvulas em aço sinterizado e rampas e dutos em termoplástico.

A metodologia de trabalho de campo, realizado junto à Renault na França, baseou-se em entrevistas com especialistas das áreas de P&D, projeto industriais, engenharia de materiais engenharia de veículos e mecânica, além de visitas à fábrica de Flins e aos centros de pesquisa como o Centre Technique de la Mecanique em Rueil e o Technocentre em Guyancourt. Todas as entrevistas foram gravadas com autorização dos entrevistados e sua transcrição original encontra-se no anexo 1 da tese completa.

Nossa pesquisa desenvolveu-se dentro dos princípios básicos da observação direta dos resultados de um projeto, o X 65<sup>1</sup>, enriquecida pelo depoimento dos principais atores de uma estória particularmente bem su-

---

<sup>1</sup> Lançado na Europa como Clio II, no Brasil como Novo Clio.

cedida de inovações em materiais, conduzidas dentro de uma estratégia de inovação global adotada pela Renault.

É importante ressaltar alguns aspectos específicos referentes ao trabalho de campo desenvolvido. A observação e análise da relação entre inovação em materiais e reorganização produtiva da indústria automobilística foi instrumentalizada por três enfoques principais:

1. Os novos materiais como propulsores de inovações globais: a difusão de inovações tecnológicas e de mudanças organizacionais como estratégia industrial-tecnológica;
2. A reorganização da indústria automobilística: as novas formas de organização da produção e do trabalho, e do aprendizado organizacional e individual;
3. O projeto industrial como difusor de inovações: a engenharia simultânea projetando mudanças amplas e radicais.

Para melhor focalizar esses pontos foi elaborado um roteiro de questões em cinco blocos sendo os quatro primeiros ligados aos principais temas que instrumentalizam a tese e o último sobre o projeto X65 (Clio II), objeto selecionado para a pesquisa de campo.

As entrevistas realizadas na Renault baseadas nesse roteiro foram guiadas por perguntas abertas, permitindo aos entrevistados se pronunciarem o mais livremente possível sobre os diversos assuntos abordados. Além disso, as questões foram selecionadas para serem apresentadas aos entrevistados de acordo com suas especialidades e o grau de envolvimento que tiveram no projeto e na industrialização do Clio II.

São citados a seguir os especialistas entrevistados, com a designação original em francês de seus cargos respectivos, seguindo o roteiro geral das entrevistas cuja reprodução também em francês encontra-se no anexo I da tese completa: Gérard Maeder, *Directeur de la Direction de l'Ingénierie des Matériaux*; Joël Le Gal, *Expert Fonderie de la Direction de l'Ingénierie des Matériaux*; Bruno Cosatti, *Chef de Service Fabrication Prototypes de la Direction du Développement de l'Ingénierie Véhicule*; André Massias, *Chef du Département de l'Ingénierie Véhicule Décentralisée, Usine de Flins*. Ex-chefe do projeto industrialização do Clio II

Além das entrevistas, tivemos reuniões na Diretoria de Pesquisa com Bernard Criqui, nosso primeiro correspondente no Technocentre Renault, Secretário Técnico do Departamento de Processos e Tratamentos de Materiais e com Jean-Claude Monnet, Chefe do Grupo de Pesquisa em Sócio-Economia. Visitamos ainda o Centro Técnico de Mecânica de Motores em Rueil, onde nos reunimos com Sylvain Bourdillon, Chefe do Serviço de Industrialização de Engenharia de Produção de Motores, e registramos os depoimentos de Pierre Pickel Especialista em Processos de Montagem de Motores e Nicolas Pousselle engenheiro do Serviço de Engenharia de Produção de Motores.

Foram um total de 33 perguntas, além das quais buscamos também identificar junto aos interlocutores: todas as informações disponíveis, publicadas ou registradas de alguma forma, sobre os novos materiais que entraram no projeto do Clio; a existência de patentes de invenção Renault ligadas às inovações de produto/processo a esse projeto; e ainda a possibilidade de separar dentre elas as de novos materiais e/ou técnicas de tratamento, processamento, fabricação de peças e montagem final. Vale registrar, como comentário final, que essa forma de abordagem foi muito bem aceita pelos especialistas da empresa, que se mostraram interessados em colaborar com o trabalho e confirmaram em grande parte os pressupostos dessa tese e superaram em muito nossas expectativas pessoais sobre os resultados do trabalho de campo.

# 1. O Automóvel e sua Indústria: um panorama da evolução mundial

A história do automóvel pode ser contada pelos materiais que o compõem: borracha, aço, alumínio e plásticos; ou pelos modelos de organização da produção que caracterizam sua indústria, como: Fordismo, Toyotismo, Volvismo, ou os modelos híbridos ainda em desenvolvimento. Nós vamos reunir essas duas vertentes já emblemáticas dessa indústria para contar a história do produto mais “inovante” deste século, ou seja um objeto que a um só tempo produz, incorpora e difunde inovações tecnológicas e organizacionais revolucionando conceitos e práticas muitas vezes por ele mesmo estabelecidas. Um produto que se recria de forma permanente e cada vez mais acelerada mas que mantém sua designação genérica inicial de “automóvel” a qual será sem dúvida levada ao extremo no futuro próximo quando então ele nos conduzirá de forma totalmente autônoma: literalmente teleguiado pelos avanços das eletrônica e das telecomunicações<sup>2</sup>.

Assim como o próprio automóvel, os materiais automotivos, desde sua primeira utilização, não cessam de evoluir, seja em suas propriedades mecânicas e físico-químicas, seja em suas funções térmicas, mecânicas ou elétricas, contribuindo sempre para o melhor desempenho do automóvel. Assim, se, por um lado é verdade que os materiais novos e tradicionais sempre conviveram lado a lado no automóvel, por outro é também verdade que os aços especiais, os bi-galvanizados ou os de deformação programável (ou controlada)<sup>3</sup> do Clio II pouco ou nada têm em comum com os aços tradicionais, seus ancestrais, presentes no Ford T.

Ainda no campo da melhoria de desempenho dos materiais dentro do sistema automotivo, assiste-se hoje a mudanças no sentido da integração de funções para as quais a contribuição dos novos materiais tem sido decisiva.

---

<sup>2</sup> Ver detalhes em “ La voiture qui fait tout, c’est pour demain”, revista Le Point, avril/1998, número 1335, pp.76-84.

<sup>3</sup> A expressão em francês é “matériaux à déformation programmable” e se refere a materiais que dissipam a energia do choque e protegem o interior do veículo, ou seja não transmitem o impacto externo à parte interna do veículo.

Esse complexo objeto é o resultado de várias inovações e desenvolvimentos tecnológicos frutos de avanços científicos em diversas áreas do conhecimento que só foram reunidas e industrializadas em conjunto em fins do século XIX. Ao longo de um século, ele vem incorporando ao seu perfil metal mecânico as contribuições da engenharia elétrica, da eletrônica, da química e da ciência e engenharia de materiais. Assim, a difusão de novas ligas metálicas, dos materiais plásticos e dos compósitos, mais leves e resistentes, inicialmente desenvolvidos para indústria aeroespacial, conferem hoje ao automóvel características de um produto de alta tecnologia em termos de segurança, conforto e desempenho.

Esse processo de transferência de tecnologia intersetorial vem sendo acompanhado há décadas por especialistas em materiais e em difusão da inovação<sup>4</sup> e encontra igualmente desdobramentos teóricos junto às teorias do desenvolvimento industrial e da inovação na linha dos evolucionistas neo-schumpeterianos como Pavitt, Teece entre outros<sup>5</sup>. O caso da Renault<sup>6</sup> é exemplar pela atuação do grupo em diversos setores da indústria de manufatura metal-mecânica, tendo sido até responsável pelo desenvolvimento de produtos de alta tecnologia como o TGV (*Train à Grand Vitesse*).

O balanço de seu primeiro século de existência indica que o automóvel é um sucesso, mesmo diante do ambiente instável e competitivo que vem enfrentando nas últimas duas décadas. Contudo, a concorrência internacional crescente exige uma evolução permanente e cada vez mais rápida tanto do automóvel quanto de suas formas de produção. Nesse ponto concordamos com Chanaron (1993) quando ele diz que o tempo do automóvel é descontínuo e fragmentado. São tempos longos durante os quais a cultura metálica impôs um certo atraso ao desenvolvimento dos plásticos. Mais adiante, ainda sobre a mudança cultural da metalurgia para a plasturgia, Chanaron (1993, p.14) fala do processo de difusão dos plásticos no automóvel, a partir de seu estudo de caso na Renault: “primeiro eles têm que vender sua inovação no interior da empresa, conquistar adeptos ... e um

---

<sup>3</sup> A expressão em francês é “matériaux à deformation programable” e se refere a materiais que dissipam a energia do choque e protegem o interior do veículo, ou seja não transmitem o impacto externo à parte interna do veículo.

<sup>4</sup> Ver especialmente Lambert 1993 e 1999 e Adamian (1996) e Adamian e Willinger (1992).

<sup>5</sup> Ver Medina H. V. 1995 Tese de mestrado.

<sup>6</sup> O grupo se compõe de quatro grandes empresas industriais: Automóveis; Veículos pesados (ônibus e caminhões), Máquinas agrícolas e industriais e Equipamentos de transportes.

dos meios essenciais para desenvolver uma rede de aliados internos é fazer circular o pessoal da Diretoria de Pesquisa pelas demais diretorias.” E mais adiante ele conclui que trabalhar em rede é a melhor forma de inovar, o que nós pudemos comprovar no exemplo estudado do pára-lama de “plástico” do Clio II, como veremos mais adiante.

O testemunho de André Cosatti<sup>7</sup>, chefe do serviço de realização de protótipos do *Technocentre* Renault, se situa dentro desse mesmo espírito, quando ele diz que já se pensava em pára-lamas de plástico na Renault em 1975, e isso reforça esse exemplo sobre o qual não se tem informações registradas antes de 1980. Mas esse caso, na verdade, se situa dentro da evolução dos plásticos no automóvel.

Os plásticos apareceram com força nos anos 70 nas primeiras tentativas de tornar o carro mais leve por razões ligadas ao consumo de combustível, diante das crises do petróleo de 1973 e 1976. Seguiu-se então uma década de rápidas conquistas, começando pelo interior do veículo e carroceria, primeiro no lugar da madeira e dos metais, passando depois a constituir novos acessórios ligados à introdução da eletrônica, a partir dos anos 80. De fato, em 15 anos os plásticos dobraram sua participação no peso total dos veículos mas não mantiveram esse ritmo de crescimento por diversas razões, entre as quais as ligações de interface entre o projeto e a industrialização final do produto. Ou seja, havia como sempre dificuldades técnicas na fabricação da peça, na sua montagem, no tratamento dos materiais e na incorporação da peça de plástico ao sistema e à montagem final do veículo em grande série. Na verdade não é só o material que interessa: é preciso pensar ao mesmo tempo em todas as mudanças necessárias em seu entorno. Do tratamento do material, passando pela fabricação da peça até sua entrada na linha de montagem final, que é ainda um espaço de domínio técnico da metalurgia, tudo tem que ser detalhadamente projetado e por vezes isso exige uma série de inovações em paralelo, como veremos mais uma vez no caso dos pára-lamas do Clio II.

Outro grande impulso, para a geração e incorporação de novas tecnologias e novos materiais, foi a eletrônica embarcada, que estendeu os limites dessas transformações lentas mas contínuas, imprimindo-lhes um ritmo mais acelerado e um perfil mais inovador. Os sensores que coman-

---

<sup>7</sup> Ver entrevista no anexo I da tese completa.



dam sistemas de segurança passiva ou ativa<sup>8</sup> como os freios ABS e “airbags”, ou acessórios que geram maior conforto como vidros elétricos, direção hidráulica, ar condicionado, até as mais novas possibilidades de sensoriamento remoto para orientação dos motoristas ou mesmo para a condução dos veículos totalmente “computadorizados”, hoje ainda encontrados somente em protótipos de “concept cars”.<sup>9</sup>

Contudo, o automóvel precisa ser visto como um sistema onde há sinergias que trabalham em conjunto. Nesse sistema, algumas soluções adotadas condicionam ou bloqueiam outras que lhe são de alguma forma associadas, o que torna extremamente complexa a escolha de um novo material, mesmo dentro de critérios estritamente técnicos, que não são os únicos nesse processo, como veremos a seguir. Em todo caso, é inegável que os plásticos, como materiais mais leves, com resistência reforçada e às vezes com características de condutibilidade elétrica similares aos metais, se impuseram e vem se impondo tanto em funções estruturais como mecânicas.

Por outro lado, a resposta dos metais não se fez esperar e vieram os aços especiais, as ligas leves de titânio ou magnésio, o alumínio de maior resistência mecânica e os novos processos de sinterização. Na indústria automobilística é cada vez mais extensivo o uso da metalurgia do pó para fabricação de peças mecânicas e partes estruturais (sedes de válvulas, guias de cilindros e sistemas de transmissão), simplificando os trabalhos de montagem pela redução das operações de usinagem nas montadoras<sup>10</sup>. Enfim os metais se tornaram também mais leves e eficientes para as novas funções que vêm sendo incorporadas a cada novo modelo de automóvel.

Já o emprego de cerâmicas para funções mecânicas está bem mais atrasado do que se esperava há alguns anos. Apesar de já fazerem parte dos motores de veículos especiais produzidos em pequenas quantidades e a preços bastante elevados, elas aguardam ainda desenvolvimentos que as tornem técnica e economicamente utilizáveis na produção em série. Foi

---

<sup>8</sup> Segurança passiva está ligada a prevenção dos choques ou seja aos componentes mecânicos como os freios ABS segurança ativa é representada pelos acessórios acionados no momento do choque tipo air bag, cintos etc.

<sup>9</sup> Para informações mais atualizadas a respeito consultar os sites Internet recomendados na bibliografia.

<sup>10</sup> Ver detalhes em Lawley (1997) Conferência proferida na Euro PM 97', 10 pp.

exatamente nesse sentido que Joel Le Gal, especialista em motores na Renault, deu seu depoimento sobre materiais que foram descartados para uso em motores por razões de desenvolvimento técnico insuficiente na montagem da peça ou do veículo. Em suas palavras: *“Eu diria que as cerâmicas. Nós (na Renault) sempre fomos contra as cerâmicas por serem frágeis e exigirem por isso muito cuidado na montagem da peça e do veículo. Aqui na Renault nós não estamos usando, a Peugeot já teve problemas com esse material no seu motor V6, 24 válvulas, que é um motor para carros muito caros, de alto luxo e de pequena escala de produção”*<sup>11</sup>

Enfim, há todo um complexo de interações e desafios que faz com que o setor automobilístico se modernize. E modernizar para a indústria automobilística hoje significa simplificar a complexidade crescente de seus produtos e processos. Dito de outra maneira a complexidade do automóvel deve apenas torná-lo mais simples e fácil de ser utilizado e montado. O que se busca, com a automação da produção e a eletrônica embarcada no veículo, é tornar o carro mais simples de ser produzido e dirigido com vantagens para produtores e consumidores.

Um estudo realizado por uma associação francesa ligada à indústria, a APEC – Association pour l’Emploi des Cadres<sup>12</sup>, conclui que esse processo de simplificação acontece em dois níveis: no nível organizacional ou da produção, interno às fábricas, e no nível dos produtos ou externo, no âmbito dos fornecedores de peças e de materiais. No nível do produto, assiste-se à transformação do setor como um todo no sentido da hibridização de uma indústria originariamente mecânica e que incorpora novos materiais e novas tecnologias e novos modos de produção em parcerias cada vez mais amplas.

Essa evolução tem levado à destruição de postos e funções tradicionais e à criação de novos postos e novas qualificações. Nesse contexto, as peças em novos materiais que chegam à linha de montagem já se apresentam como conjuntos ou sistemas completos, economizando várias operações industriais e simplificando a montagem final. Esses conjuntos de peças que chegam prontos dos fornecedores, para desempenhar funções integradas nos novos veículos, são uma tendência marcante, onde os novos

---

<sup>11</sup> Ver entrevista original na íntegra no anexo 1 da tese completa

<sup>12</sup> A APEC foi criada em 1966 e representa os quadros de empregados das empresas do setor privado na França. O Estudo citado foi publicado em 1997 sob o título : *Les métiers de L’Automobile*.

materiais tem uma grande contribuição, como pudemos constatar nas entrevistas com especialistas da Renault e nos exemplos obtidos.

Vale destacar aqui um aspecto dessa evolução, onde a contribuição dos materiais é muito importante: a renovação do conceito do automóvel. Primeiro, no início do século, ele foi visto como uma máquina moderna para pessoas de alta renda, mesmo se a carroceria quase toda de madeira não o distinguisse muito de uma carruagem: «um luxo para poucos». Depois, nos anos 20, graças à Ford e sua produção em série, ele passou a ser o veículo de passeio da classe média. Nos anos 50 estabeleceu-se como meio de transporte intensificada sua produção em série padronizada, que o tornou ainda mais barato: foi o reinado do “fusca”, a era do «carro para todos». Finalmente, hoje assiste-se a uma diversificação sem precedentes. São opções de modelos para quase todos os níveis de renda. O automóvel torna-se objeto de lazer ou de trabalho, cada vez mais acessível, cresce constantemente o leque de escolha e tem-se variedade e quantidade a um só tempo; é um carro para cada um ou até mesmo para cada uso; estamos na era da produção em série porém cada vez mais flexível.<sup>13</sup>

Portanto consideramos que, mesmo sob a designação genérica de automóvel, os carros mudaram radicalmente nesse primeiro século de existência. De fato, para o perfil tecnológico e industrial do produto, o que realmente interessa é o conceito que qualifica o objeto designado. Tomando emprestadas novas funções dos materiais desenvolvidos a partir dos avanços científicos e tecnológicos mais representativos da segunda metade deste século, o automóvel tornou-se mais leve, mais seguro, mais confortável e melhorou seu desempenho. Além disso, nos últimos 20 anos, ele ganhou novas funções, seja pela eletrônica embarcada, seja pelos equipamentos e acessórios de segurança, e sua composição e fabricação evoluíram no sentido de reduzir ou atenuar os impactos ambientais. A redução do consumo de combustível tem sido uma meta desde os anos 70. Primeiro através das mudanças de estilo, desenhos mais aerodinâmicos e redução do peso da carroceria. Mais tarde, pela melhoria de rendimento termodinâmico dos motores, pela introdução dos catalisadores e pela redução do peso do grupo motor-propulsor e suspensão.

É bem verdade que houve uma retomada do aumento de peso dos carros nos anos 80 devido, principalmente, aos equipamentos de seguran-

---

<sup>13</sup> Ver maiores detalhes em Moustacchi et Payan (1999)

ça. Segundo Maeder (1998) depois de 1984, numa mesma categoria de veículo cada modelo que substitui o anterior é, em média, 100 Kg mais pesado (em torno de 10%) que seu predecessor, qualquer que seja o fabricante. Contudo, essa tendência é cuidadosamente acompanhada, e mesmo compensada, em termos de consumo de combustível, pelas melhorias no desempenho dos motores com a entrada de novos materiais cerâmicos ou compósitos ou mesmo plásticos, em funções estáticas como a das juntas de silicones e mancais de Teflon que, no lugar da tradicional borracha, garantem uma maior estanqueidade entre as partes do motor, aumentando sua durabilidade e seu desempenho.

Em suma, os novos materiais são no fundo os grandes responsáveis pelas novas qualidades e características dos carros atuais: lazer ou trabalho, prazer ou respeito ao meio ambiente. Para atender a isso, tem-se uma grande necessidade de aços especiais, de alumínio, de magnésio; de plásticos, cerâmicas e todas as composições que podemos fazer com eles que são os materiais ditos compósitos ou conjugados. Esses progressos, que sem dúvida revolucionaram o produto-automóvel, foram fruto de uma evolução contínua.

## 2. Progressos e Desenvolvimentos em Materiais Automotivos: um breve histórico

O automóvel é mais um sistema montado como um quebra-cabeças do que um produto único propriamente dito. Como tal, sua melhor definição seria um produto múltiplo projetado para funcionar de forma integrada e com todas as sinergias existentes entre seus sistemas e subsistemas de materiais articulados. Clark e Fujimoto (1991) nos fornecem uma definição nesse sentido *“a car is a complex ‘fabricated-assembled’ product, comprising a large number of components, functions, and process steps.”* O desenvolvimento de um projeto de automovel tem portanto características peculiares. Projetar complexidades significa ter que solucionar diversos problemas a um só tempo, a partir de informações amplas e detalhadas sobre todos os materiais, peças, sistemas e funções envolvidas, para se atingir o desempenho almejado.

Historicamente, pode-se dizer que o automóvel teve seu nascimento propiciado por todos os sistemas que o compõem, os quais só foram possíveis de ser construídos a partir do desenvolvimento de materiais específicos para usos industriais.

Assim, mesmo que a primazia de sua concepção inicial seja até hoje disputada entre norte-americanos e europeus, uma coisa é certa: as idéias básicas, e mesmo o motor a explosão, já existiam quase um século antes que se tenha notícia da produção do primeiro automóvel em termos comerciais, no início deste século, pela Renault por exemplo.

Sem a pretensão de contar toda a história do desenvolvimento dos materiais automotivos, é interessante destacar o que se depreende da literatura existente como principais marcos dessa evolução desde seu aparecimento. Seguindo a cronologia de Garry Bragg<sup>14</sup>, esses avanços estão distribuídos ao longo de nove grandes fases a seguir:

---

<sup>14</sup> Esse relato baseia-se, em sua maior parte, no artigo de Bragg G. (1996) .

**1896-1906:** O primeiro passo para a transição das carruagens e carroças para o automóvel foi a obtenção de ferro e aço de alta qualidade seguido da borracha para pneus. A tecnologia de fundição tornou o aço fundido disponível em termos comerciais e possibilitou os processos de produção de grandes peças em moldes, como juntas e eixos.

**1907-1914:** O automóvel se firma como meio de transporte: um produto do estado-da-arte da tecnologia da época. Em 1910 a SAE faz as primeiras normas técnicas para padronizar materiais automotivos como a 1050 do aço carbono 0,50%. Nesse período a Ford começou a produzir (com tecnologia francesa do modelo “coupé” de 1905 da Renault) aço ligado com vanádio que triplicou a resistência do aço, rebaixou seu custo e reduziu o peso do automóvel. Em 1912, uma pequena fábrica de carroceria começou a fazer estruturas de alumínio para automóveis. Ao mesmo tempo os processos para construção dos sistemas elétricos foram desenvolvidos

**1915-1925:** Nessa época, de competição entre o transporte rodoviário e o ferroviário de carga, os avanços da indústria automobilística demandavam uma maior integração entre o desenvolvimento dos materiais e o projeto do automóvel. Uma quebra de eixo de transmissão não poderia ser tolerada num transporte de carga, por exemplo. Assim em 1915 projetistas e metalurgistas já discutiam sobre fadiga de materiais, resistência mecânica e rigidez dos aços, preocupados em manter o peso mínimo já alcançado pelo automóvel, garantindo economia, em termos de custo dos materiais, e durabilidade. Data desse período o projeto inglês de um carro em alumínio, mas o veículo pesava dois terços a mais do que os existentes. Nos Estados Unidos já estava sendo usado o alumínio em conexões de eixos e na Europa já havia blocos de motor em alumínio. Também o primeiro termoplástico começou a ser usado nessa fase, que se encerra com a Du Pont inovando na produção de tintas e no processo de pintura o que reduziu-se de dias para horas, com acabamento superior ao processo antecedente, e maior variedade de cores.

**1925-1939:** É a era do modelo Ford T, da produção em massa e do aço martensítico no lugar da liga ferro-carbono primitiva. O alumínio chegou aos pistons, e saiu dos painéis exteriores em favor do novo aço. Nessa fase, a Volkswagen projetou um carro com 18 Kg de partes em magnésio, reduzindo seu peso em 50 Kg, cerca de 7% do total. Ainda em 1935 a Du Pont sintetizou o nylon, que só uma década

da depois foi introduzido no automóvel. Foi também o começo da utilização do aço inoxidável em radiadores, maçanetas, e frisos de faróis. Mas o baixo custo dos cromados ganhou a competição. Começou a era dos cromados para partes de acabamentos que chegou a durar cerca de 30 anos.

**1939-1949:** A chamada era moderna foi marcada pela moda dos plásticos coloridos. Com a escassez da II Guerra Mundial os padrões da SAE foram modificados para economizar materiais metálicos como aço, cobre, magnésio e alumínio. A falta de cobre especialmente forçou o desenvolvimento de ligas de zinco e alumínio como substitutos do bronze.

**1950-1960:** Nessa fase, intensificou-se a produção e a evolução dos materiais no sentido de melhor resistência mecânica e térmica, além da aparência final. A demanda era por carros cada vez maiores e mais confortáveis. Transmissão automática, ar condicionado, melhorias nos freios e na direção são marcas dessa época. Do ponto de vista dos materiais, o que mais se destacou nessa era foi o início do uso da fibra de vidro. Os termoplásticos começaram a ser reforçados para usos estruturais em modelos esportivos. Em 1955, os carros continham aproximadamente 5% de plástico. Isso abriu o leque de escolha de materiais, com opções de materiais mais leves, fortes e fáceis de serem moldados e montados. Outros materiais não diretamente destinados ao automóvel foram incorporados com grande impacto pela indústria automobilística. Foi o caso dos semicondutores, a partir de cristais de germânio, dos transistores e dos microchips, que possibilitaram os avanços da microeletrônica, hoje cada vez mais miniaturizada. Já nessa época a indústria automobilística nos Estados Unidos caminhava para um novo carro, com rádios transistorizados e ignição eletrônica.

**1960-1970:** O primeiro salto tecnológico do período foi na potência do motor. Em 1963 foi lançado o primeiro carro com motor de V8 de grande potência num modelo compacto, protegido com materiais com tratamento térmico para resistir a altas temperaturas. Os plásticos continuam ganhando espaço, passando, entre 1960 e 1970, de 11 para 45 Kg num carro médio; no entanto seu uso maior era em funções decorativas e de acabamento interior. Também nessa época houve o despertar nos Estados Unidos para questões ambientais como a poluição do ar. A Califórnia começou a investir em pesquisas

para o desenvolvimento de catalisadores. Essa fase iniciou mudanças radicais nos materiais automotivos.

**1970-1985:** Foram anos difíceis para a indústria automobilística norte-americana e europeia com o surgimento do modelo japonês de produção flexível. Havia muito a fazer pelo rendimento dos motores e pela economia de combustível e o caminho era o de projetos mais coesos com esses objetivos. O primeiro grande marco no campo dos materiais foi a primeira geração de catalisadores feitos com suporte cerâmico e metais do grupo da platina (índio, paládio...) revestidos também com aço inoxidável. Mas os avanços continuaram a surgir como o soprador que aumentou a alimentação, tornando a combustão mais eficiente, a ponto de manter a compensar a perda de rendimento dos automóveis com catalisador mantendo os mesmos níveis, de desempenho e economia, dos modelos sem catalisador. O segundo marco pode ser visto como uma volta a preocupações da era inicial do carro, com redução de peso e melhoria de desempenho associados. Desde o início do século nunca foi dada tanta atenção a materiais mais leves, como alumínio, plásticos e até zinco com revestimento de estanho, para reduzir o peso do veículo. Ou seja, as dificuldades dessa época e o desafio ambiental (Clean Air Act da Califórnia em 1975) foram incentivos na busca de maior durabilidade, maior eficiência e menor emissão de gases.

**1981-1996:** Eficiência computadorizada é o que marca produto e processo de produção nessa fase. Os últimos 15 anos caracterizaram-se pela integração dos componentes e dos materiais no carro como um todo. Os carros não são mais ferro, aço, alumínio, borracha e plásticos mas também, e cada vez mais, compósitos, fibra de vidro, eletrodos e sensores de zircônio. Os novos materiais começam a realizar os sonhos de 25 anos atrás. Mas a competição é intensa e os materiais tradicionais melhoram e se desenvolvem nessa luta. O ferro e aço ainda representavam, em 1995, 67,5% do peso do automóvel médio contra 7,7% dos plásticos e 5,8% do alumínio. O aço e a cerâmica competem no mercado dos conversores catalíticos mas pode haver uma combinação desse dois materiais para um uso mais eficiente ainda nos conversores elétricos. Até mesmo o ferro fundido passa a ter uma variante melhorada que é o chamado ferro nodular que, mesmo ainda não totalmente explorado em suas potencialidades, tem o dobro de resistência à fadiga que seus antecessores e torna possível produtos mais leves e resistentes para uso em sedes de cilindros, por exemplo.



Hoje, como já fez a Volkswagen em 1936, os produtores mundiais estão buscando ligas de magnésio, alumínio e aços especiais, para reduzir o peso do veículo e aumentar sua eficiência. Outra preocupação de fases anteriores que retorna (de anos 50/60) é a melhoria do conforto, agora associada à preocupação com a segurança. Nesses dois aspectos entraram novos materiais em funções que antes não existiam; sensores para *airbags*, freios, cintos de segurança, controles de vidros e portas e demais controles eletrônicos de funções eletromecânicas (ignição eletrônica, injeção eletrônica, distribuidor etc)

Atualmente, a tendência mais marcante da difusão de novos materiais na indústria automobilística é a da concepção integrada do material/produto/processo. Ou seja, hoje, mais do que nunca, os materiais estão sendo projetados para os automóveis para além da simples absorção de inovações geradas em outras áreas, setores e ou funções, sob a forma de transferência de tecnologias muitas vezes de difícil e demorada adaptação à realidade industrial do automóvel.

Essa nova concepção do automóvel pode ser bem visualizada nos caminhos de um processo cada vez mais integrado de seleção de materiais automotivos, cujos principais fatores e critérios apresentamos a seguir.

### **3. Processo de Substituição e de Seleção de Materiais Automotivos**

Os automóveis dos anos 90 já foram projetados de forma integrada com materiais mais leves e mais recicláveis; e essa parece ser uma tendência irreversível, apesar de que os rumos da substituição de materiais têm se mostrado de difícil previsão. Observe-se por exemplo o caso dos plásticos. De 1978 a 1990 houve uma substituição crescente de aço por plásticos o que reduziu o peso médio do automóvel de 1588Kg para 1316 Kg.<sup>15</sup> Os plásticos atingiram quase 8% do peso total do veículo em 1992, mas essa participação estabilizou-se até 1996<sup>16</sup>, embora as previsões em 1990 admitissem dobrar esse valor nos próximos dez anos. Mas o que de fato ocorre é que no processo de seleção de materiais vários fatores influem numa rede complexa de interações que invalida qualquer projeção linear. Há ainda fatores intervenientes que alteram seu peso de acordo com as conjunturas políticas e econômicas internas e externas às empresas, além dos fatores técnicos ligados ao desempenho do material em si.

É marcante também nesta última década a reação dos metais, que se fizeram mais presentes, associados à importância da questão ambiental. De fato, a pressão por materiais mais recicláveis, deteve, em alguma medida, o avanço dos plásticos. O magnésio, o alumínio e mesmo o ferro e aço tiveram suas vitórias nessa luta onde nunca deixaram de ser fortes e mantêm ainda a liderança, apesar da concorrência cada vez mais acirrada. As armas mais poderosas nessa batalha são as novas tecnologias produzindo melhoramentos em forma de novas ligas e novos processos, como a metalurgia do pó, aprimorando o desempenho desses materiais, alguns renovados, outros totalmente novos. Só para dar uma idéia da presença do alumínio, o mais expressivo entre os “novos” metais no automóvel, o Quadro 1 resume seus usos em componentes automotivos, de um total de 122 itens e 33 usos diversos em processos de fundição. A mesma fonte aponta como razões para que o alumínio não tenha suas aplicações automotivas ainda mais difundidas: alto custo do material e do processamento; falta de

<sup>15</sup> Dados da SAE publicados na: Automotive Engineering May 1992, p53.

<sup>16</sup> Em 7,7% em 1995 segundo Bragg citado à pagina 113.

tecnologia mais adequada à montagem e pouco conhecimento de projetistas e engenheiros em relação à sua produção e uso em grande escala.

Quadro I - Usos do alumínio em componentes do automóvel por peças e partes

Grupo de Sistemas e Componentes	Tipo de Produtos	Número de peças
<b>Motor:</b> Cabeçote e bloco do motor, radiador, bomba de combustível e filtros	Extrudados, laminados, chapas, tubos e barras.	10
<b>Escapamento:</b> Cano de descarga	Chapas	1
<b>Transmissão:</b> Eixos e anéis	Forjados	4
<b>Injeção:</b> Distribuidor e <i>plugs</i>	Forjados e extrudados	2
<b>Carroceria:</b> Capô, tampa da mala, pára-lamas, portas, esquadrias p/ teto solar e janelas, frisos para teto	Chapas, frisos, extrudados e forjados.	49
<b>Chassis:</b> Rodas, eixo de direção, freios, suspensão, garras para pará-choques.	Forjados, extrudados chapas, canos e eixos.	7
<b>Acabamentos:</b> Painel de instrumentos, estrutura p/ assentos, <i>air bags</i> , cintos, ar condicionado.	Chapas, extrudados, e tubos.	29

Fonte: *Aluminum Materials Technology for Automobile Construction*, Ostermann, 1993, introdução.

Quanto aos avanços em processos de fabricação de materiais metálicos, a metalurgia do pó vem se firmando no mercado de auto-peças. Citando Lawley (1997): “*Globally, the automotive industry is now a major user of powder metallurgy parts and components. In the last seventeen years the weight of powder fabricated materials in a family vehicule or light truck in North America has increased from 8Kg to more than 14 Kg, and this trend is expected to continue.*” As tabelas 1 e 2 mostram os dados citados pelo autor e as previsões feitas pelo método Delphis pelo *Automotive transportation Research Institutute da University of Michigan*.

Contudo, essas tendências não se realizam senão através de um processo de seleção e substituição de materiais que vem se tornando cada vez mais complexo, seja pela crescente ampliação da gama de opções (hiperescolha), seja pelo aumento dos fatores (técnicos, econômicos e sociais) envolvidos. As novas formas de organização do trabalho, aprendizagem e gestão de projetos e da produção têm potencializado o impacto de novas tecnologias, das novas técnicas de fabricação de peças e de montagem, aumentando a complexidade da escolha de materiais na produção automobilística.

Tabela 1 - Evolução do Uso de Materiais em Automóveis: 1980 a 1997

Material	Peso em Kg		
	1980	1990	1997
Aço comum	789	638	641
Aços especiais	79	108	134
Aço inoxidável	13	15	22
Plásticos e seus conjugados	89	104	110
Alumínio	59	72	94
Cobre e bronze	16	22	21
Peças sinterizadas	8	11	14

Fonte: Adaptada partir de Lawley em PM Applications in Automotive Industry: Case Studies, Euro PM97, p. 3, fonte citada dos dados: American Metal Market

Tabela 2 - Metalurgia do Pó: Principais aplicações automotivas: participação no Mercado

Componentes	Participação em 1996 (%)	Participação em 2004 (%)
Bielas	25	55
Mancais fixos	5	35
Eixos de transmissão	10	30
Sede das válvulas	50	80
Guias das válvulas	25	78

Fonte: idem tabela anterior

Historicamente a substituição de materiais no automóvel acelerou-se a partir dos anos 70 com o acirramento da questão ambiental. As restrições ambientais estenderam as fronteiras do uso de diversos materiais e limitaram o uso de outros, mas mesmo assim há grandes esperanças no desenvolvimento de novos materiais que viabilizem os carros elétricos, híbridos ou mesmo novos motores à hidrogênio ou à pilha a combustível. Em relação à introdução dos novos materiais nesse cenário, Maeder (1998 p.12) resume bem a questão: «*Os novos materiais são mais caros que os tradicionais. Eles precisam então responder melhor às exigências de custo, apresentando uma abordagem diferente da funcionalidade das diferentes*

*peças ou componentes, via integração de funções dentro do veículo. Eles provocam também uma profunda modificação das tecnologias de fabricação e montagem e mesmo da organização das linhas de montagem. É toda a integração concepção/produção que é questionada.»* Em trabalho mais recente Maeder et Giosa (1998) destacam:

- que o material que começa na extração mineral deve retornar ao meio ambiente após transformações e usos industriais diversos;
- que no automóvel o material é um elemento de um sistema interativo que interage com toda linha de produção e o que interessa ao engenheiro não é o material em si mas a função deste na peça.
- que como elementos de um sistema interativo os materiais devem passar por avaliações complexas para serem aceitos pelo conjunto.
- que a evolução dos materiais automotivos nos últimos 30 anos revela um decréscimo dos materiais ferrosos em proveito do alumínio e dos plásticos.

Assim a seleção de materiais deve seguir critérios precisos e bem definidos no projeto, abrangendo os aspectos técnicos e industriais, econômicos e sociais desde a produção de materiais e peças até a montagem de veículos. O quadro 2 sintetiza esquematicamente esses critérios.

As múltiplas interações entre todos esses critérios e os atores envolvidos fazem com que o processo de seleção de novos materiais aconteça num cenário bastante instável, necessitando de monitoramento constante de todas as tendências técnicas e sociais. Mesmo que não se espere mudanças radicais no curto prazo em termos tecnológicos ou no estilo de consumo dos materiais em relação à indústria automobilística como um todo, modificações mais profundas já estão sendo previstas para o início do próximo século. E é exatamente para participar e mesmo se antecipar a essas transformações que alianças e parcerias são feitas mesmo para decisões bem a montante de um projeto, como a seleção de materiais. Assim, produtores de materiais de autopeças e montadoras compartilham os riscos do desenvolvimento de novos materiais para atender a uma demanda globalizada cada vez mais exigente. O quadro 3 reúne as atuais expectativas das montadoras e dos consumidores do automóvel em relação as novas funções que os materiais podem desempenhar com o desenvolvimento de propriedades especiais.

Quadro 2 - Critérios de seleção de materiais para fornecedores e montadoras

<b>Natureza dos Critérios</b>	<b>Fornecedores de materiais</b>	<b>Montadoras de automóveis</b>
<b>Técnicos</b>	Propriedades dos materiais tais como: resistência, rigidez condutividade elétrica ou térmica etc.	Exige-se produção em série, em grande quantidade em sincronia com a cadência da linha de montagem final.
<b>Industriais</b>	Tipo de técnicas de tratamento como: fundição, usinagem, sinterização, injeção, moldagem, tratamento térmico.	Assegurar a compatibilidade entre material, processo e montagem.
<b>Econômicos</b>	O preço das matérias primas; reservas mundiais. A evolução dos materiais no mercado; custo, volume e ritmo de produção.	Investimentos já realizados em máquinas e equipamentos devem ser considerados em qualquer troca de material ou mudança de processo.
<b>Sociais</b>	Tudo que afeta o consumidor: menor consumo de combustível, maior conforto, e segurança, melhor desempenho e respeito ao meio ambiente.	Inovações em materiais devem ser buscadas em parceria com os fornecedores e trabalhadas em engenharia simultânea no projeto e mesmo no anteprojeto.

Fonte: baseado em Maeder, 1998 "Le choix des matériaux dans l'industrie automobile"

Quadro 3 - As Vantagens dos novos materiais, as expectativas dos clientes e das montadoras

<b>Novos Materiais proporcionam</b>	<b>Os clientes esperam</b>	<b>As Montadoras visam</b>
Disponibilidade a preço baixo	Automóveis baratos	Montagem a baixo custo
Insonorização	Conforto e isolamento acústico	Materiais insonorizantes
Deformação programável	Segurança e proteção em caso de acidente	Absorção de choques
Resistência e fácil manutenção	Durabilidade e resistência a pequenos choques	Flexibilidade e resistência
Reciclabilidade	Respeito ao meio ambiente	Recuperação dos materiais
Melhorias técnicas e novas funções	Novidades tecnológicas, produto avançado	Materiais testados com garantia

A decisão de trocar o material em uma peça ou parte de um produto que representa um estilo de vida e estende e incorpora a personalidade de seu usuário não é tarefa simples nem fácil. Na verdade, as opções técnicas para a tomada de decisão sobre a substituição de um material no automóvel são preparadas bem antes do início do projeto propriamente dito. É na chamada fase de anteprojeto ou estudos que as soluções possíveis são discutidas e mesmo viabilizadas. Mas como o desenvolvimento do projeto afeta todo o sistema do carro a opção mais adequada só será validada ao final do projeto. Nesse processo de validação os novos materiais encontram algumas barreiras que os colocam em posição desvantajosa em relação aos materiais já em uso corrente.

Maeder (1995) divide essas limitações, que ele chama de fatores desfavoráveis à adoção de um novo material no automóvel, em três níveis: técnico, econômico, social. No nível técnico ele ressalta que os novos materiais precisam de muito tempo para serem testados o suficiente para que não coloquem em risco o automóvel, sua produção e sua manutenção ou reparos pós-venda. No nível econômico muitas vezes o preço desses materiais é desvantajoso até pelo alto valor tecnológico agregado por anos de pesquisa que precisam ser amortizados. Isso sem falar da inércia dos investimentos já realizados nas instalações industriais, as quais muitas vezes tem que ser mudadas para atender às novas tecnologias de montagem requeridas. E, em terceiro lugar, no nível social há toda uma resistência interna nas montadoras e rede de fornecedores, resultado da “cultura do aço” predominante no setor, e reage não só contra os plásticos e compósitos, mas também contra novas ligas metálicas de alto desempenho.

Conseqüentemente, a escolha de um novo material é uma decisão importante e complexa por envolver toda a cadeia à montante e à jusante das montadoras. A Mercedes-Benz na Alemanha por exemplo criou um programa de qualificação de mecânicos só para fazerem serviços de lanternagem na carroceira em alumínio do Audi. Enfim, é toda uma rede de parcerias que se forma em torno do projeto de um novo modelo de um automóvel, desde a idéia inicial, passando pela industrialização até a manutenção do veículo e incluindo até mesmo sua reciclagem após sua vida útil. Os parceiros dessa rede compartilham P&D em materiais e componentes, realizam projetos em engenharia simultânea computadorizada, projetando em tempo real, e industrializam peças e partes por vezes dentro da linha de montagem ou em diversas formas consorciadas.<sup>17</sup>

---

<sup>17</sup> O consórcio modular já implantado no Brasil pela VW em Resende/ RJ é uma delas.

Mas apesar dos esforços em comum essa aparente simplificação do trabalho de projetar um novo modelo não facilita a tarefa da escolha dos materiais que permanece sendo uma decisão complexa, pois mesmo se ela diga respeito a uma única função da peça visada ela envolve ainda muitas outras que podem prejudicar o funcionamento geral do automóvel. É preciso ter sempre em mente a concepção global do automóvel.

Mais uma vez é Joel Le Gal, do departamento de engenharia de materiais da Renault, que fala a respeito: *«Hoje o que acontece é que a carroceria tornou-se muito leve enquanto o grupo motor propulsor não alterou significativamente seu peso; assim o centro de gravidade do carro deslocou-se para a parte dianteira, na direção do motor, e isso dificulta a dirigibilidade do veículo. Isso quer dizer que vamos ter que buscar trabalhar no sentido de fazer motores mais leves. (...) Bem a via que se descortina é..., mas isso depende do Bureau d'études, mas eu diria que seria a via da miniaturização, um cárter menor um motor com a mesma potência mas bem menor.»*<sup>18</sup> Assim, a concepção de um automóvel é fruto da criação e recriação coletiva feita em redes interativas por especialistas de diferentes origens profissionais e institucionais e que têm funções ou papéis com tantas sinergias como o próprio objeto criado. Isto significa que as vantagens da volução de uma das partes pode ser neutralizada ou melhorada por outras peças ou sistemas aos quais ela esteja de alguma forma relacionada. De todo modo, mesmo sendo impossível visualizar ou prever todas as interações existentes entre as mais de 20.000 partes do automóvel, a escolha de um novo material não pode ser feita de forma pontual, como se ele fosse uma parte isolada no carro, pois este é um produto, por assim dizer, plural.

Além disso, é preciso levar em conta que a evolução dos materiais caminha, cada vez mais, no sentido da especialização dos materiais para fins automotivos. Isto é, os materiais são desenvolvidos quase que sob medida para o automóvel segundo as especificações constantes de cada novo projeto. Essa tendência é também resultado das alianças e parcerias que estão na base da estratégia de inovações globais que a indústria automobilística vem adotando para o século XXI. É nesse sentido que as grandes montadoras estão associadas em projetos de pesquisa mundiais juntamente com seus principais fornecedores de materiais. Assim, a Ford e a General Motors nos Estados Unidos, a Fiat, a Renault e Volkswagen na Europa, os 35 maiores produtores de aço do mundo, a Alcan e Alcoa em

---

<sup>18</sup> Ver entrevista no original no anexo I da tese completa.



alumínio, a Dow Chemical em polímeros, além dos principais produtores de autopeças do mundo estão todos engajados em programas de pesquisa conjuntos, como o ULASB- *Ultra Light Automobile Steel Body*-. Complementarmente, há projetos específicos envolvendo diversos níveis de parcerias nacionais em cada país, como o PNGV nos Estados Unidos ou o Next, o primeiro carro híbrido da Renault.

O PNGV -*Partnership for a New Generation of Vehicles*- é uma aliança formada em 1993 entre o Governo Federal Norte-Americano e o Conselho de Pesquisa Automotiva dos Estados Unidos (USCAR - *United States Council for Automotive Research*-) que representa as três grandes companhias americanas, Chrysler, Ford e General Motors. Essa parceria também envolve órgãos de governo, laboratórios de pesquisa, universidades e fornecedores de autopeças. O principal objetivo é projetar até 2005 um automóvel que consuma um terço do combustível, e reduza em 1/3 as emissões de CO<sub>2</sub>, em relação ao atual modelo “sedan” médio de cada uma das três montadoras (o Concorde da Chrysler, o Taurus da Ford e o Lumina da GM), com o mesmo desempenho, segurança e com maior reciclabilidade de suas partes. A P&D do projeto está direcionada para obter esse resultado através do emprego de materiais mais leves. A meta é reduzir o peso em 40% fazendo uso de polímeros, alumínio, titânio, magnésio e materiais conjugados de matriz metálica para usos estruturais de carrocerias e chassis<sup>19</sup>

O USLAB é um exemplo de “*concept car*” inovador em materiais, aços de alta resistência e ligas ultra leves, que produziu resultados em termos comerciais já em 1999. Muitas de suas inovações já foram incorporadas aos modelos Golf 4, Saab 9-S, e Mercedes Classe A, em maio de 1999. O programa foi lançado em 1994, reunindo 35 das mais importantes siderúrgicas mundiais fornecedoras da indústria automobilística, com o objetivo de fabricar a estrutura exterior de um veículo médio de luxo com uma redução de massa de 25% sem afetar os custos nem a segurança do veículo. Para alcançar essa etapa o projeto desenvolveu novos aços e novas tecnologias de fabricação, tratamento, estampagem e acabamento a laser em 3 chapas de espessuras diferentes (1.0; 1.3; 1.6) que são à deformação programável e destinam-se ao teto. Esse procedimento confere à peça grande estabilidade dimensional e maior elasticidade e leveza. Permite ainda um aumento do diâmetro da peça que reduz o número de peças, por eliminar a necessidade de outras peças para montagem da carroceria.

---

<sup>19</sup> Ver maiores detalhes em Sherman, Sommer and Froes (1997).

Também a chapa lateral (maior peça da carroceria) é uma peça com acabamento feito a laser e que foi projetada em engenharia simultânea reunindo os diversos parceiros desse projeto. Os coordenadores do projeto prevêm que em 2005 50% desses novos materiais e suas técnicas já estarão em uso comercial.<sup>20</sup>

Outro exemplo de estratégia de atuação dentro do paradigma de concepção global do automóvel, desta vez visando a “aceitabilidade ambiental” do produto, é o Next, o carro híbrido que a Renault projetou em 12 meses, graças ao uso do sistema CAD. O primeiro teste de rua em Paris foi feito em janeiro de 1997. Trata-se de um veículo de partida fria com motor elétrico desenvolvendo até 40 km/h quando então entra o motor quente, a gasolina, recarregando as baterias. Tudo é controlado por um computador de bordo que alterna a energia despendida na tração entre térmica e elétrica, reduzindo ao mínimo possível o consumo de combustível, que fica em torno de 24 km por litro. O carro atinge 140 km/h com o motor quente ou 165km/h com ambos os sistemas. Todo em alumínio e fibra de carbono, é mais leve que o Renault 19, apesar de suas duas baterias pesarem cerca de 150 kg.

Também nesse caso os resultados já chegaram à área comercial. O Clio II, que vamos analisar aqui, têm uma versão elétrica que inaugura a linha de veículos exclusivamente urbanos, uma tendência forte para o próximo século, já foi adotado em 25 cidades francesas.

---

<sup>20</sup> Fonte: *Ingénieurs de l'Automobile*, jan.-fev. 1999, pp. 12-13.

## 4. Novas Tendências: qual o futuro para os materiais automotivos?

A maior dificuldade em se identificar as tendências dos novos materiais está na imprevisibilidade tanto pelo lado da demanda como da produção. Parece-nos contudo que diagnósticos mais amplos sobre rumos da P&D em materiais automotivos são por vezes mais confiáveis e menos desatualizáveis no curto prazo do que estudos detalhados sobre aplicações de resultados de pesquisas e de novos usos de materiais. Enfim o ritmo, e a lógica, dos avanços nas pesquisa e das inovações geradas na indústria automobilística são comandados por aspectos múltiplos mesmo que predomine ainda o lado econômico.

Por isso mesmo para falar de tendências em materiais automotivos, nos baseamos aqui nos resultados de um estudo prospectivo do National Research Council dos EUA, intitulado “*Materials Research Agenda for Automotive and Aircraft Industries*”, elaborado em 1993 para o “*Comitee on Materials for the 21<sup>st</sup> Century*”, que aponta rumos para em torno de 2010 e que julgamos ser um bom indicativo da evolução da indústria e das pesquisas em novos materiais. Em relação à indústria automobilística estudo aponta que os avanços em materiais e tecnologias de processo terão um papel de crescente importância na competitividade do setor. Além disso, o relatório não vê os custos dos materiais em si como uma limitação a inovações maior do que o grau de aptidão para manufatura que novos materiais apresentam. São quatro grandes grupos de fatores analisados na moldura geral da substituição de materiais: aptidão à manufatura; competição global; limitações regulatórias e sociais; e ciclo completo de produção (*lead-time*). As recomendações gerais do estudo são:

1. ter visão sistêmica da ciência e engenharia dos materiais para tornar os novos materiais mais competitivos em todo seu ciclo de vida;
2. usar modelagem computadorizada para integrar a seleção de materiais à produção do automóvel;

3. privilegiar o alumínio e suas ligas como material automotivo por sua alta reciclabilidade.

As recomendações finais do relatório estão resumidas no quadro 4.

Quadro 4 - Objetivos da Pesquisa em Materiais Automotivos

SISTEMA/COMPONENTE	OBJETIVO/MATERIAL
Carroceria	Redução de peso: Materiais mais leves metálicos ou polímeros
Motor	Maior eficiência/menor emissão: cerâmicas e ligas metálicas mais leves, catalisadores
Transmissão	Redução de peso e tamanho com segurança: aços especiais, magnésio, compósitos de matriz polimérica
Chassis/Suspensão/Freio	Durabilidade e segurança com redução de peso: polímeros, fibra de vidro, compósitos de matriz metálica
Escapamento/sistema de exaustão	Redução de custo com mais durabilidade e melhor controle de emissões: alumínio e suas ligas

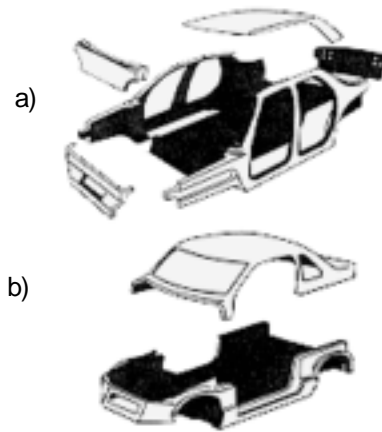
Fonte: Elaborado com base nas informações do citado relatório do National Research Council

A agenda norte-americana recomenda ainda a adoção de uma concepção integrada projeto, produção e descarte final. No entanto, como constatam Clark e Fujimoto (1991), a abordagem norte-americana do automóvel continua seguindo a divisão rígida em sistemas e subsistemas.

Hoje sabe-se que muitas das expectativas em relação a substituição de materiais no automóvel não se confirmaram. Em termos de difusão por exemplo, os plásticos não foram detidos, seja pela melhoria dos metais, seja pelo avanço das cerâmicas em funções mecânicas, que ficou, esta sim, muito aquém do esperado. Por outro, compósitos como polímeros reforçados com fibras de vidro (CFRP –Carbon Fiber Reinforced Polymer-), originalmente projetados para a indústria aeroespacial e do qual veremos um exemplo de uso automotivo no pára-lamas do Clio II. Teoricamente esse tipo de solução simplifica a montagem, na prática contudo, como veremos mais adiante no exemplo do Clio II, muitos ajustes e desenvolvimentos paralelos se fazem necessários. Na verdade a solução técnica é complexa e introduz novos procedimentos e novas especialidades, tanto nas

montadoras como junto aos fornecedores, mesmo que ao final os processos de fabricação e montagem sejam simplificados e o número total de operações industriais seja reduzido. A Figura 2 compara a forma tradicional de montagem da carroceria e a situação ideal que se pode chegar com a adoção desse tipo de novo material.

Figura 2 - Esquemas de Carroceria de CFRP: simplificada em 2 partes  
a) montagem tradicional e b) montagem



Fonte: Encyclopedia of Advanced Materials vol 1 pp.173-198.

Vale frisar que dentre todas as tendências observadas uma afirmação maior se sobrepõe é a de que toda e qualquer mudança de material afeta, de alguma forma, a peça, o sistema onde ela se insere e todo o conjunto do automóvel. Assim, o mais importante como sinalizador de tendências nesse setor é que os novos materiais, que vem se desenvolvendo cada vez mais rápido e oferecendo alternativas mais complexas, são também a pedra de toque das mudanças nos processos de fabricação e montagem.

Mais uma vez nosso exemplo estudado é testemunho dessa situação. Como veremos mais adiante, a opção feita pela Renault pelo alumínio para o capô do Clio II foi a única que se justificou em termos de custo-benefício da peça e do automóvel. Somente ele atendia às exigências de resistência térmica e mecânica da peça e ao mesmo tempo simplificava a produção final do veículo o suficiente para não aumentar sensivelmente os custos totais do novo projeto.

Atualmente quando tanto a reorganização da produção como para as introdução de novos materiais busca vantagens em termos de melhorias nas aptidões para manufatura e montagem final, pode-se dizer que as principais tendências estão de algum modo associadas a um desses quatro pontos:

- Concepção e desenvolvimento de novos materiais especificamente para fins automotivos.
- Necessidade de re-concepção de peças e sistemas para maior integração de funções possível.
- A engenharia simultânea e a simulação por computador são fortes instrumentos para a concepção integrada e mais eficiente do material, processo e produto final.
- P&D e a engenharia de materiais volta-se cada vez mais para o atendimento de exigências ecológicas em relação ao automóvel como um todo.

Assim nossos estudos e pesquisas sobre as tendências dos novos materiais automotivos nos permitem ainda afirmar que hoje não há um candidato único à substituição do aço e que a escolha se faz de forma cada vez mais múltipla entre outros metais, como alumínio por exemplo, plásticos ou materiais conjugados de matriz polimérica. Essa multiplicidade de escolha nos leva a um carro multimateriais que alarga os horizontes das qualificações profissionais envolvidas tanto no nível do projeto como na fabricação das peças e nas operações de montagem final.

Quanto as novas concepções de projeto e produção em relação às mudanças e a evolução dos materiais automotivos observa-se claramente o reflexo dessa multiplicidade de soluções no deslocamento das tendências dominantes e características desse setor. O quadro 5 resume essa mudança de perfil dos materiais e da manufatura do automóvel.

Por estranho que possa parecer à primeira vista, no nível da produção essa diversidade de oferta de modelos está ligada a uma concentração das plataformas de montagem. Entretanto, os materiais, seus novos processos de fabricação e de montagem final, estão levando a uma unificação de plataformas que estão sendo usadas de forma consorciada por vários modelos.

Quadro 5 - As Tendências em Novos Materiais e Manufatura de Automóveis

Em baixa	Em alta
1. Conjunto finito de critérios para seleção de materiais, com peso nos fatores econômicos.	1. Ampliação dos critérios para seleção de materiais com peso crescente nos fatores sociais e ambientais.
2. Substituição isolada de materiais, peça por peça;	2. Substituição integrada de sistemas ou conjuntos.
3. Separação entre produtos e materiais	3. Integração completa entre produtos e materiais
4. P&D projeto e produção vistos como fases estanques, separadas e isoladas.	4. Concepção integrada de P&D, projeto e produção como atividades interdependentes.
5. Grande número de peças, componentes e de procedimentos de montagem.	5. Redução dos procedimentos de montagem por integração de peças em sistemas/conjuntos.
6. Produção complexa e especializada em diversas plataformas.	Produção simplificada e multiespecializada, compartilhando plataformas.
7. Processos de fabricação tradicionais tanto para o material quanto para as peças.	7. Novas tecnologias e novos processos de fabricação.
8. Escolha única de materiais para cada peça entre metal, plástico, ou cerâmica.	8. Multi escolha de materiais; diversas opções para a mesma peça; predomínio dos compósitos
9. Automóveis fazem uso intensivo de materiais tradicionais em quantidade.	9. Automóveis fazem uso intensivo de materiais com grande conteúdo tecnológico
10. Concepção tradicional do produto automóvel em fases e subsistemas.	10. Engenharia Simultânea integrando todas as fases e subsistemas do sistema-automóvel.

Guardadas as pequenas diferenças entre as montadoras, uma plataforma pode ser definida como o fez Mory (1999): “a base que constitui toda a montagem das partes mecânicas: motor; caixa de marchas ; suspensão ; freios e até o sistema de ar condicionado (em alguns casos); em suma tudo que o cliente não vê”<sup>21</sup>. Segundo o mesmo autor, em torno desse núcleo, chamado de plataforma, é colocada a carroceria, vidros e acessórios exteriores e de interior para montagem final, e nesses acabamentos, digamos, está a grande diversidade de modelos que são concebidos para serem montados de forma flexível o suficiente para estarem na mesma plataforma.<sup>22</sup> Esse consorciamento de plataformas pode parecer mesmo

<sup>21</sup> Traduzido de Mory (1999) p.6

<sup>22</sup> Ver a propósito o depoimento de Andre Massias sobre a flexibilidade da linha de montagem do Clío II, onde também pode passar um Megane: entrevista no anexo I da tese completa.

surpreendente ao consumidor, pela diversidade de modelos que abrange tanto de uma mesma linha como de linhas diferentes. Assim na VW temos como exemplos de modelos montados na mesma plataforma: o Audi 3, o Golf IV, o Seat Toledo II e mesmo o novo Fusca.

No caso dos materiais eles são também desenvolvidos e selecionados dentro desse espírito, ou seja, para servirem a diversos modelos ou famílias de motores. O testemunho de Pickel, especialista em montagem de motores da Renault é exemplar nesse sentido : “Freqüentemente a rentabilidade da adoção de um material numa única linha de montagem (num só modelo) é muito fraca; é preciso fazê-lo em grande volume. Aí sim o uso (do novo material) começa a ser rentável ou seja, quando começamos a fazer no local várias peças com o mesmo material. Mas para uma única aplicação, do ponto de vista do volume de produção que fazemos, geralmente não é economicamente rentável.”<sup>23</sup>

Uma última tendência bem mais específica mas que se difunde muito rapidamente e é também reflexo do uso de materiais plásticos em motores, principalmente peças estáticas de apoio, é a simplificação da montagem por eliminação de peças, juntas e braçadeiras. A montagem de uma peça plástica se faz por encaixe e pressão bem mais fácil e barato que de uma peça metálica ou mesmo de borracha, como vamos ter oportunidade de constatar em detalhe nos casos estudados no Novo Clio.

Resumindo de uma forma abrangente toda essa riqueza de exemplos que podemos encontrar num produto complexo e múltiplo como o automóvel, retornamos a Maeder (1997) que a partir de sua experiência e conhecimentos do setor nos sinaliza com dois cenários modelos entre o que ele chama de sonho e realidade dos novos materiais no automóvel. O primeiro é o do progresso contínuo que inclui todos os melhoramentos em materiais já conhecidos e/ou em uso. O segundo é o da mudança radical implicando a adoção de materiais ainda não incorporados na produção automobilística comercial como as cerâmicas avançadas, ligas com memória de forma, compósitos de fibra de carbono etc.. Esses cenários podem se alternar e se completarem em coexistência parcial (caso a caso) pois são situações limites mas não mutuamente excludentes, ou seja, as duas tendências podem conviver nessa transição do automóvel em busca de uma nova identidade para o próximo século.

---

<sup>23</sup> Ver entrevista original na íntegra no anexo I da tese completa.



Talvez a melhor expressão para qualificar essa situação seja a que encontrou Chanaron (1995, op .cit.) ao falar que as montadoras se encontram atualmente no “Dilema dos Materiais”. Elas investem em engenharia de materiais quase um quarto dos seus recursos para pesquisa e se associam tanto à indústria química (GE Plastiques, Omniun Plastics etc), apostando em novos plásticos para pára-lamas, quanto às grandes produtoras de alumínio (Péchiney, Reynolds, Alcoa, Alcan etc), ou ainda às siderúrgicas, seus parceiros tradicionais, sustentando o melhoramento contínuo do aço.

# 5. Pesquisa de Campo: os materiais inovadores na Renault

## 5.1 Contexto do Projeto Clio II : uma escolha justificada

O Clio II é um modelo “inovante”, ou seja a um só tempo inovador e difusor de inovações, que contou, com os mais modernos métodos de engenharia simultânea além de recursos computacionais e de informática que, agilizando a comunicação entre os participantes do projeto, possibilitaram uma incorporação de inovações tecnológicas e organizacionais sem precedentes, notadamente no campo dos materiais. Lançado sete anos após o primeiro modelo, saiu em versão mais equipada e mais barata que seu antecessor. Isso foi resultado da economia de recursos no desenvolvimento do projeto realizado em engenharia simultânea por todos os especialistas da empresa e seus fornecedores em tempo real. Uma equipe de 600 pessoas durante 40 meses consumiu 7,5 bilhões de francos (mais de 1 bilhão de dólares) dos quais 4,2 bilhões de francos, mais da metade, em investimentos industriais.

A produção do Clio II foi iniciada simultaneamente em três fábricas na Europa: Valladolid na Espanha, Novo Mesto na ex-Iugoslávia, e Flins na França que fica à oeste de Paris e é a mais a maior e antiga unidade industrial da Renault em funcionamento. A fábrica de Flins foi totalmente remodelada para receber o projeto, resultando em reduções da ordem de 25 % sobre a área industrial, 19% sobre a linha de montagem final, 30% no número de peças montadas por veículo. O Clio II foi projetado nas versões 3 ou 5 portas, para 5 motorizações diferentes : 3 a gasolina (1.2; 1.4; e 1.6) e 2 a diesel (1.6 16 V. e 1.9 turbo diesel à injeção direta). Além disso, seguindo a evolução da versão esportiva experimental do Clio para competições, o Clio II sai também na versão elétrica de carros exclusivamente urbanos, com uma autonomia de 80/90 km e velocidade máxima de 90 Km/h. Quanto à estrutura externa, o Clio II utiliza diversos tipos de materiais, constituindo o que se pode chamar de uma carroceria multimateriais, onde o capô é de alumínio, os painéis laterais, portas e porta-malas são de aço bi-galvanizado, e os pára-lamas dianteiros de um novo compósito de matriz polimérica

especialmente desenvolvido pela GE Plastiques e Renault, que é um de casos estudados. Em termos de ganho em peso esses pára-lamas, ditos de plástico, são 60% mais leves que os metálicos e já praticamente se igualam em custo de produção, que inicialmente eram 20% mais caros.

Na linha da crescente difusão dos plásticos no automóvel, a incursão mais recente é a dos termoplásticos nos motores, especialmente em funções estáticas e/ou isolantes, como veremos no segundo grupo de exemplos analisados, seja com objetivo de redução de peso do conjunto motor propulsor ou de diminuir os impactos ambientais via melhor desempenho e maior vida útil do motor. O Clio II também representa avanços nesse sentido, quer seja pela melhor estanqueidade do motor, quer seja por seu menor peso, devido ao maior número de peças de plástico; o consumo foi reduzido em até 15% e as emissões até 12% para motores com igual potência. Enfim, os exemplos selecionados a partir do projeto Clio II o foram por sua grande representatividade no conjunto do automóvel e estão entre as mais importantes inovações em materiais e processos utilizados nessa nova versão do Clio<sup>24</sup>, lançada na Europa em outubro de 1998. Eles mostram como os materiais de um automóvel fazem parte de um conjunto complexo e sinérgico que se transforma continuamente, e que incorporam e induzem o desenvolvimento de tecnologias cada vez mais avançadas, seja através de processos de fabricação de peças ou de montagem final.

Outro ponto que influenciou nossa escolha é o fato de todo o projeto ter sido desenvolvido em engenharia simultânea com a participação direta dos principais fornecedores, os chamados fornecedores-colaboradores, desde o início de projeto, inclusive na P&D em materiais.

Para a Renault a engenharia simultânea consiste em desenvolver todo o sistema do automóvel ao mesmo tempo em vez de separá-lo em fases estanques e sucessivas. No projeto do Clio II tudo aconteceu paralelamente, com um excepcional ganho de tempo e de qualidade na resolução de problemas. O grande auxílio à implantação da engenharia simultânea no desenvolvimento de projetos como o do Clio II veio da eletrônica e da informática, com a instalação de mais de 5000 computadores no *Technocentre* e de um software, para comunicação entre os membros internos e externos da equipe do projeto, que foi especialmente desenvolvido

---

<sup>24</sup> Essa nova versão incorpora 11 patentes exclusivas da Renault (ver anexo VI da tese completa) além do Noryl GTX 974 dos pára-lamas de “plástico” da GE Plastiques e da fixação deslizante da Ominium Plastic (anexo II).

pela informática da Renault, o que reduziu o tempo de comunicação, que chegava a 70 dias, a zero.<sup>25</sup> O trabalho da equipe do projeto Clio II já reletia a arquitetura de uma organização por projetos concretizada no *Technocentre*. Ambos os esquemas se assemelham e difundem os princípios da engenharia simultânea por toda a empresa, incorporando atores externos, sem nunca perder de vista o cliente final. Essa forma integrada de trabalhar, com colaboradores internos e externos reunidos em torno dos objetivos do projeto, possibilitou a realização final de um carro tecnologicamente mais avançado que seu antecessor, a um custo menor, o que foge a todos os ícones teórico-acadêmicos sobre difusão de inovações, mas seus resultados são largamente comprovados pelos números do projeto apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - O Novo Clio em números e os ganhos em relação ao Antigo Clio

<b>Indicadores</b>	<b>Resultados</b>
Investimentos:	
no projeto	<b>3,3</b> bilhões de francos
na industrialização	<b>4,2</b> bilhões de francos
Redução dos custos de produção	- 12 %
Redução da área industrial em Flins	-25%
Diminuição extensão da linha de montagem	-19%
Redução do tempo de fabricação (IMVP)*	-6 horas
Redução do número de peças montadas	-25%
Redução dos pontos de fixação	-20%
Redução de operações para ajustes no motor	-37%
Redução do consumo de combustível	-15%
Redução das emissões	-12%

Câmbio: US\$ 1.00 = 7.50 FF

<sup>25</sup> Ver maiores detalhes em Monfort revista TECHMEDIA maio 98, N 13, à página 16.

## 5.2 Apresentação e Análise dos Exemplos Selecionados

Os casos aqui apresentados foram selecionados entre as diversas inovações em materiais incorporadas na nova versão do modelo Clio, que foi lançada na Europa em outubro de 1998 e no Brasil em dezembro de 1999. Eles mostram como os materiais fazem parte de um conjunto complexo e sinérgico que se transforma continuamente. A maior parte das informações contidas nessa parte foram retiradas das entrevistas, reproduzidas na íntegra no anexo I, nas quais os depoimentos foram eloqüentes e repletos de bons exemplos sobre mudanças amplas provocadas por inovações em materiais e processos de fabricação de peças em substituição a técnicas tradicionais de usinagem e montagem. Essas mudanças vêm simplificando ao extremo as linhas de montagem de veículos e de motores e viabilizando o consorciamento de motores entre diferentes modelos com vantagens operacionais, organizacionais e econômicas significativas.<sup>26</sup>

Os exemplos confirmam também que a estratégia maior dentro do processo de inovação tecnológica e industrial é trabalhar em parceria compartilhando conhecimentos e especialidades em prol do desenvolvimento rápido de novos modelos para um mercado mundial cada vez mais competitivo.

### 5.2.1 Os Pára-lamas de Plástico numa Carroceria Multimaterial

Os pára-lamas de plástico são feitos de material pertencente à grande família dos polímeros, origem comum a inúmeros materiais desde a borracha, fibras e adesivos até os plásticos e compósitos de engenharia, que têm aplicações múltiplas no automóvel. Segundo Mano<sup>27</sup> podemos dizer que se trata de um termoplástico condutor, produzido a partir de poliamida e polipropileno (PA e PP) e impregnado de carbono, que adquiriu assim propriedades de resistência térmica e mecânica semelhante as dos materiais compósitos utilizados pela indústria aeronáutica como o CFRP (*Carbon – fiber – reinforced - plastic*). É portanto um material complexo e sobre o qual vale a pena conhecermos mais um pouco.

---

<sup>26</sup> Como é o caso do motor diesel injeção direta que equipa o Clio II, o Mégane e a Espace.

<sup>27</sup> Ver Mano (1991).

Trata-se de um termoplástico condutor especialmente desenvolvido pela GE Plastiques em parceria com a Renault para ser, ao mesmo tempo, flexível e resistente, e suportar as altas temperaturas da pintura, que se faz a cerca de 190°. É importante frisar que, segundo Meiners e Weisser (1997) atualmente ainda 90% das peças de plástico são pintadas fora da linha de montagem, até mesmo pelos próprios fornecedores.

Essa parceria GE/Renault foi bem sucedida tanto no desenvolvimento do material como do processo de fabricação da peça e das técnicas de montagem. Enfim, inegavelmente, uma inovação integrada produto/processo/produção.

Mas essa história começou há mais de 20 anos, no âmbito dos programas europeus de pesquisa e desenvolvimento de novos veículos. Em 1979 o Programa VERA (Véhicule Economique de Recherche Appliquée) tinha como objetivo reduzir o consumo de combustível em 20 à 30% graças, principalmente, a uma redução programada de massa de 305 K para 188 K. Mais de 10% dessa redução foi obtida devido ao uso de chapas mais leves para carroceria em SMC (*Sheet-Molding-Compound*). Em 1986 o Conselho EUREKA aprovou o CARMAT, um projeto para desenvolvimento de materiais de estrutura e carroceria, dentre os quais os SMC para capô e os polímeros - termoplásticos injetados - para pára-lamas dianteiros e portas. Ao todo, foram dezesseis parcerias entre os setores automobilístico e químico realizadas durante 5 anos desde 1987. Tecnicamente os pontos críticos sempre foram as dilatações do material, a rigidez da peça e sua total incompatibilidade com os processos de pintura e montagem em série.

Para a Renault a colaboração técnica com a GE Plastiques levou 10 anos até chegar à fabricação dos pára-lamas em Poliamida na razão de 1.000 por dia destinados, na época a Renault 5. Em seguida melhoramentos contínuos levaram ao desenvolvimento dos pára-lamas em Noryl GTX para o Clio Esporte 16 V. E enfim, dois anos depois dos primeiros pára-lamas de plástico, uma última evolução resultou na criação de um novo material plástico condutor cuja resistência térmica permite suportar a pintura na linha de montagem. O Noryl GTX 974 é atualmente utilizado no Scénic<sup>28</sup> e no Clio II.

---

<sup>28</sup> Esses pára-lamas são utilizados no Scénic e no Clio II produzidos no Brasil e atualmente eles são importados mas os planos da Renault são trazer a Omnium Plastic para fazê-los aqui.

Quanto aos processos, técnicas e dispositivos das linhas de montagem da carroceria e do veículo, esse material levou a outras inovações técnicas importantes que foram objeto de patentes de invenção depositadas pela Omnium Plastic, na França, e pela Renault, na Europa, em 03/01/1995 e 28/03/1997 respectivamente.

Inicialmente, no Clio versão esportiva, os pára-lamas eram pintados antes da montagem da carroceria (parte fixa), às vezes pelo próprio fornecedor. Esse procedimento exigiu mudanças na linha de montagem da carroceria pintada para se fixar os pára-lamas após a pintura. Além disso, uma vez que a montagem das partes móveis da carroceria, como portas e porta malas, é uma operação metal-mecânica (fixação por parafuso e solda) foi necessário, para montar os pára-lamas plásticos, associar várias outras especialidades numa área anteriormente de domínio exclusivo da metalurgia.

Só recentemente, em 1997, a Renault desenvolveu uma nova técnica de fixação batizada de fixação deslizante (*fixation glissante*) que permite completar a montagem total da carroceria antes da pintura integrando todos os diferentes materiais que a compõe. A linha é assim mantida em sua seqüência e ritmo normais, permitindo, pela primeira vez, a produção em grandes quantidades.

A invenção desse dispositivo, com patente depositada no *Office Européen des Brevets*, garante à Renault uma posição exclusiva no mercado como única montadora detentora dessa técnica. Foi uma inovação industrial completa como constatamos no depoimento de André Massias: “*para a pintura nós modificamos pelos dois lados, fizemos melhorias no material, abaixamos a temperatura da cataforese ... nós adaptamos ao mesmo tempo a linha de produção e o material, para chegar a uma carroceira montada, com os pára-lamas, pronta para pintura... e isso surpreende nossos concorrentes até hoje*”<sup>29</sup>

Contudo, antes de apresentar o processo de inovação global representado pela introdução desse novo conjunto material/peça, cabe destacar os principais aspectos técnicos desse material, os requisitos do projeto e as motivações que levaram à opção pelo desenvolvimento de um novo material automotivo.

---

<sup>29</sup> Ver entrevista no original no anexo I da tese completa.

Para escolher um material é preciso conhecer as especificações do projeto, no caso do pára-lama é importante considerar, além de seu papel na segurança do veículo, sua interface com todas as demais partes da carroceria e os processos de fabricação, e as técnicas de tratamento e montagem pelas quais o material terá que passar. Além é claro de respeitar as normas ambientais e atender aos requisitos de 'desmontabilidade' para reparos em caso de choques.

Quanto à segurança, a resistência a pequenos choques é fundamental uma vez que 50% dos acidentes acontecem a menos de 8km/h e o pára-lama é freqüentemente a parte mais afetada.<sup>30</sup> Já no que concerne aos processos industriais, o desafio maior é passar pelas condições de pintura por cataforése, resistindo a temperaturas em torno de 190 graus durante 20 a 30 minutos. Somando-se a essas exigências o fato da carroceria ser essencialmente metálica, seja pela junção com as demais partes, seja pela resistência térmica, era preciso encontrar um material de comportamento semelhante aos metais, tanto nas condições de industrialização como de uso do automóvel.

Assim a demanda do projeto Renault para seu parceiro na indústria química GE Plastiques, consistiu em desenvolver um material mais leve que os metais mas com igual : resistência a choques, estabilidade térmica, fluidez, estabilidade morfológica, condutividade elétrica.

O material obtido o Noryl GTX 974 atendeu a todas essas condições mas restou o problema industrial de fixação da peça para que a dilatação, mesmo que teoricamente em níveis aceitáveis, não deformasse a peça de maneira a comprometer seus encaixes com as demais partes do veículo. Esse problema foi solucionado pelos técnicos da linha de montagem com a invenção de dispositivos específicos de fixação para interface metal-plástico, como parte da técnica de fixação deslizante (*fixation glissante*). Para melhor expor esse processo de inovação vamos apresentá-lo destacando, dentro da estratégia global da empresa, suas diferentes táticas para abordagem e equacionamento dos problemas que requeriam soluções inovadoras.

O problema básico era produzir um veículo equipado com pára-lamas de material plástico injetado, flexível a pequenos choques e resistente a tratamentos químico e térmicos, que fosse fabricado e montado dentro

---

<sup>30</sup> Informações citadas por Houchon (1997).



das fábricas Renault, ou seja, totalmente integrado ao seu processo industrial. A solução operacional foi buscar fazer parcerias para desenvolver soluções em diferentes níveis, a saber: primeiro, no nível da concepção do material; segundo, no nível da fabricação da peça por injeção; terceiro, no nível da validação produto/processo na linha de montagem.

No primeiro nível trata-se de uma inovação tecnológica em materiais. Foi preciso criar um novo material o que foi feito com a GE Plastiques que desenvolveu um novo termoplástico a partir de um compósito polimérico com base de Poliamida (PA) e Polipropileno (PP) atendendo às especificações técnicas de resistência térmica e mecânica fornecidas pela Renault. Nesse ponto o Noryl GTX 974 representou uma evolução sobre os demais plásticos para pára-lamas pela introdução de fibras de carbono o que tornou esse material uma nova referência comercial e gerando uma patente devido a sua inédita condutibilidade elétrica e resistência térmica que lhe permitiu suportar os tratamentos de pintura por cataforése e verniz por deposição eletrostática.<sup>31</sup>

No segundo nível, da fabricação da peça, o problema foi inovar no processo para obtenção da peça por injeção *in situ*. A cada evolução do material, todo o equipamento e instrumentação e regulagem do processo de injeção teve que ser re-projetado e re-concebido de acordo com as novas exigências e especificações do material tais como: temperatura da injeção, precisa e bem controlada, regulagem uniforme da temperatura do equipamento, pressão de injeção bastante elevada, além da grande sensibilidade do material à umidade. Assim um novo conceito de moldagem por injeção foi desenvolvido pela JAUD em parceria com a Renault para o Scénic e adaptado depois para o Clio II, para atingir a qualidade e a precisão do pára-lama projetado que muda a cada modelo (Clio Sportive, Scénic e Clio II). Segundo Debuigne (1997) o instrumento desenvolvido foi uma placa que é colocada dentro da matriz para garantir, durante o processo de injeção, a perfeita dissimulação de todos os pontos de junção entre as camadas. Ao fim do processo essa placa é retirada por um robô. Nas palavras de Debuigne (1997): “*Mas a boa mecânica do equipamento não é suficiente para se obter uma peça de qualidade. Nós estudamos com a mesma atenção tanto os sistemas de injeção quanto a sua regulagem térmica. Várias partes do equipamento foram redesenhadas para que a regulagem pudesse ser otimizada.*”<sup>32</sup>

<sup>31</sup> Ver maiores detalhes em Tanbanikia e Duteurtre (1997).

<sup>32</sup> Ver citação original em Debuigne (1977 op. cit.).

No terceiro nível o problema a considerar é a necessidade de validação das inovações de produto e de processo, realizadas em níveis intermediários, na linha de montagem do veículo. O material e a peça produzida só representam uma inovação bem sucedida se forem compatíveis, ou compatibilizáveis, com as técnicas e os processos de montagem do produto final. Isso significa que passamos para o plano das inovações industriais que ocorrem na linha de montagem do automóvel para garantir sua produção em série. E para a produção em série é preciso que todas as peças sigam a mesma cadência de montagem e passem por todas as fases na seqüência programada. Para os pára-lamas de plástico isso representa ser fixado a diferentes materiais como o aço e o alumínio para com eles formar um todo homogêneo, pronto para tratamentos anti-corrosão na catafores e ataques térmicos e químicos da pintura, mesmo se o plástico não se corroe e se dilata 10 vezes mais que o aço. Além disso, a montagem da carroceria é uma área de trabalho da metalurgia, como já dissemos, portanto estranho ao plástico. O trabalho torna-se ainda mais difícil pelo fato de ter que se fixar o pára-lama a cinco outras peças de funções e materiais diferentes: porta, pára-brisa, capô, pára-choque e grade dos faróis.<sup>33</sup> Aqui, as grandes inovações foram no processo de posicionamento (patente Ominum Plastic) e de fixação da peça (patente Renault) que alterna pontos fixos e deslizantes, permitindo pequenos deslocamentos do pára-lama em direção ao pára-choque, enquanto mantém rígida sua posição em relação às portas.

Os esquemas apresentados nas Figuras 4 e 5 foram extraídos das respectivas solicitações de patentes.

Cada número neste desenho indica pontos de fixação que são detalhadamente descritos na patente depositada pela Ominum Plastic no INPI de Paris e cuja cópia está anexo I.

Dispositivos especiais de posicionamento e fixação foram desenvolvidos a partir da primeira utilização desse pára-lama num modelo em série que foi o Scénic, e diversas adaptações das peças e da técnica foram feitas até se chegar à atual solução, validada no projeto Clio II. Fillion (1997), que também fez parte do projeto Scénic, descreve bem esse novo processo: *“para conduzir as evoluções e deixar ‘viva’ a peça na pintura evitando deformações irreversíveis e contatos indesejáveis entre o pára-lama e as demais peças que o cercam, foi preciso desenvolver um sistema e componentes de fixação especial que geraram várias patentes para a Renault”*<sup>34</sup>

---

<sup>33</sup> Ver detalhes em Fillion (1997).

<sup>34</sup> Extraído de Fuillon (1997).

É ainda Fuillon que conclui, sobre todo esse processo dizendo que a sinergia total entre as diferentes áreas e especialidades envolvidas teve como resultado, no caso do pára-lama de “plástico”, uma verdadeira inovação no mundo do automóvel. Dentre as vantagens dessa inovação, ela permitiu uma diminuição de peso da parte dianteira do veículo, importante para sua estabilidade uma vez que os pára-lamas de plástico pesam 900 gramas contra 2,5 quilos dos pára-lamas comuns em aço. Soma-se ainda a esse ganho os do capô de alumínio que pesa apenas 5 Kg, a metade da mesma peça feita de aço.

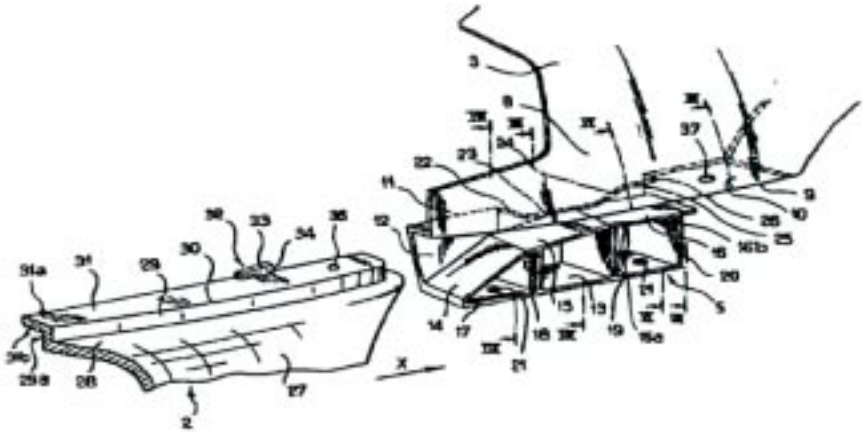


Figura 4 - Dispositivo de posicionamento da peça na carroceria

O desenvolvimento do alumínio para o capô foi feito em parceria com a Pechiney que tem grande experiência nessa área pois vem participando de todos os programas mundiais de pesquisas. Em 1995 a Renault decidiu fazer capôs em alumínio para as versões esportivas dos modelos de alta categoria, num volume de 200 unidades/dia. Hoje ele equipa a versão esportiva do Clio II, que é um carro de categoria média, em perfeitas condições operacionais de produção em série. A validação dessa inovação exigiu a participação ativa da Direção de Engenharia de Materiais, do Centro de realização de Protótipos, dos serviços da Direção de Engenharia de Montagem e Pintura de Carroceria sem esquecer, é claro, os parceiros externos.

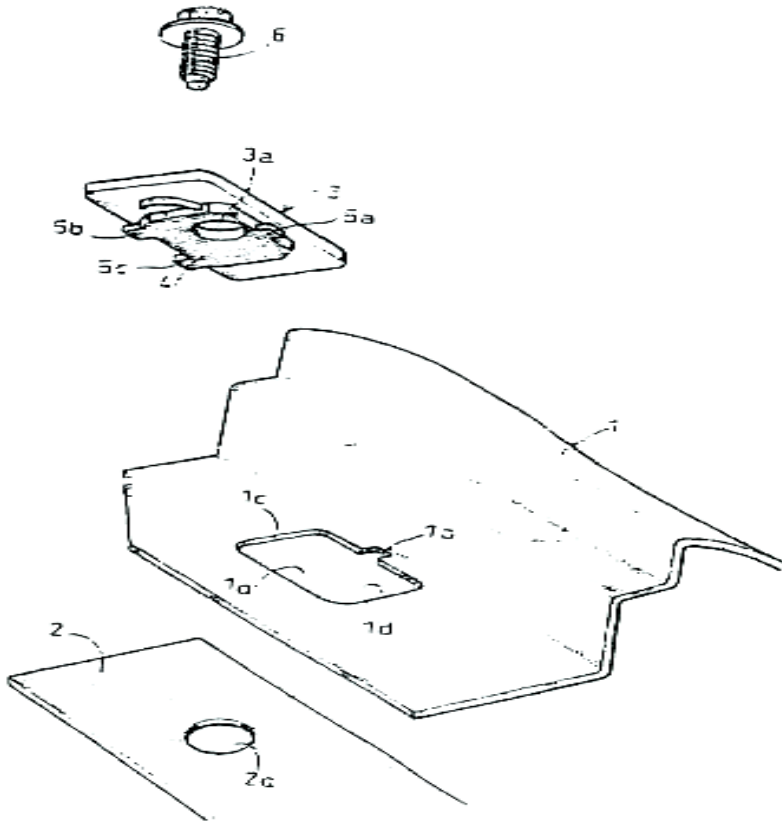


Figura 5 - Dispositivo de fixação deslissante de um pára-lama de plástico

Completando o quadro dessas inovações, consideradas as maiores dentro do projeto Clio II, é interessante lembrar o depoimento de André Massias ex-chefe do projeto industrialização do Clio II. *“a primeira grande evolução do Clio II foram os pára-lamas de plástico e a segunda foi a introdução do alumínio em grande escala industrial.(...) Escolhemos o capô por ser uma peça simples e para a qual já tínhamos desenvolvido algumas técnicas de montagem especialmente na soldagem. (...) mas assim mesmo foi preciso evoluir um pouco tecnologicamente (...) nosso objetivo era simplificar a complexidade industrial. Quer dizer fazer um mesmo veículo com menos pontos de soldagem, menos operações de montagem e menos peças, entre 20 a 25% menos. (...) Se os pára-lamas de plástico são um pouco mais caros que os de aço, por outro lado eles nos proporcionaram a*

*oportunidade de fazer grandes avanços industriais e mesmo em relação ao custo da peça. Nossos esforços de industrialização nos situam hoje melhor que qualquer outro concorrente com ganhos de competitividade importante. De agora em diante os pára-lamas de plástico se tornaram a solução técnica de base para pára-lamas na Renault.*<sup>35</sup>

## **5.2.2 A Motorização do Clio II: as inovações em materiais e processos simplificando a produção**

Do ponto de vista dos materiais, pode-se dizer que a corrida para redução do peso do automóvel está agora localizada nas partes mecânicas, mais especificamente no grupo motor-propulsão. Pelo menos é o pode-se constatar pela chegada dos plásticos, em peças como rampas e dutos de combustível, pelo uso de compósitos à base de alumínio em pontos mais frágeis ou ainda pela adoção dos termoplásticos no motor em funções estáticas, como em juntas de vedação.

Quanto à motorização do Clio II, é interessante enfatizar dois pontos. O primeiro é que em relação ao modelo anterior ele tem a mesma potência em cada uma das versões e consome até 15% a menos com uma emissão de CO<sub>2</sub> 12% menor. O segundo lugar 2 que os motores, assim como as plataformas, não são exclusivos de um modelo, sendo assim compartilhados por diversos outros da mesma gama de prestação de serviços, quer dizer de equipamentos e acessórios básicos que definem a classe do veículo. Assim, os motores do Clio II são também usados no Twingo (versão 1.2) no Mégane e no Laguna (versões 1.6 16V a gasolina e 1.9 diesel).

Os exemplos a seguir foram obtidos no Centro Técnico da Diretoria de Mecânica em Rueil<sup>36</sup> e mostram primeiramente duas difíceis escolhas: nas quais os materiais apresentam procedimentos técnicos diferentes de montagem no primeiro caso (mancais em Teflon) e ou exigem adaptações industriais para fabricação da peça no local no segundo caso (juntas de silicone líquido); e, em seguida, dois casos onde a mudança realizada no processo de fabricação da peça (sedes de válvulas feitas por sinterização) e a adoção de material termoplástico (rampas e dutos de combustíveis)

<sup>35</sup> Ver entrevista original na íntegra no anexo I da tese completa.

<sup>36</sup> Ver especialmente a entrevista com Pierre Pickel e Nicolas Pousselle no anexo I, da tese completa.

parecem realmente vantajosas em termos econômicos e simplificam bastante a montagem do motor. Os desenhos técnicos constantes dos estudos realizados pela Renault e seus fornecedores nos casos apresentados e informações adicionais sobre os materiais utilizados nos foram fornecidos pelos especialistas entrevistados e encontram-se nos anexos III, IV e V da tese completa.

#### **a) Mancais Revestidos de Teflon**

Essa é uma peça estática, que isola a parte móvel da parte fixa dentro do motor. Ela se localiza no nível do virabrequim, da árvore de manivelas, ou de comando, e dos cilindros. Funciona como um anel de vedação e suporte e serve para anular o efeito dos esforços axiais a que são submetidos a árvore de manivelas e cilindros com o motor em funcionamento. Mais especificamente trata-se de mancais também chamados de meias-luas (são em número de 2), arruelas axiais ou, simplesmente, encosto. Tradicionalmente são feitos de aço revestidos de material antifricção, normalmente borracha.

Os antigos mancais, explicou nos Pickel, eram de borracha e só tinham um ponto de contato sobre a árvore de manivelas e os novos são feitos de um tecido de Teflon e mantém toda uma zona de contato com esta peça. Eles são portanto melhores, e também mais baratos. Por outro lado, eles apresentam problemas para o acondicionamento e montagem da peça. Assim, mesmo o Teflon sendo um material que permite fazer uma peça mais barata, e que funciona melhor e por mais tempo, a borracha, por sua elasticidade é mais fácil, de montar e não apresenta riscos de deformações provocadas pelo manuseio na montagem do motor. Neste caso o processo de montagem é mais complexo, exigindo instrumentos e técnicas especiais, dada a maior rigidez desse novo material em relação à borracha. Estudos realizados por Nicolas Pousselle que estão no anexo III da tese completa apresentam as comparações entre os dois materiais (borracha e Teflon).

É importante registrar que essa troca de material só é possível em novos projetos de motores uma vez que é preciso prever essa peça que tem tolerâncias um pouco diferentes em movimento. Isto porque como virabrequim em movimento ela pode se deslocar um pouco. Isso é um problema para o projeto do motor pois apesar de ter o mesmo perfil que a peça antiga, a mesma perpendicularidade na colocação da peça, ela se comporta de forma diferente, por causa do material.

## b) Juntas de Silicone

Esse caso representa uma escolha entre uma peça em silicone rígido, fabricada por um fornecedor externo, e outra em silicone líquido depositado e polimerizado no local e momento da montagem do motor, feita, portanto, dentro da fábrica de motores seja pela Renault seja por um fornecedor. São opções técnicas diferentes que alteram diversos processos e afetam a cadência da montagem em série de um motor. Trata-se de uma junta a ser utilizada entre a parte média, o bloco do motor, e a inferior, o cárter.

Normalmente entre as três partes do motor: o cabeçote, onde ficam as válvulas acionadas pelo sistema de ignição, o bloco, onde trabalham os cilindros, e o cárter que, cheio de óleo, recebe o movimento dos cilindros sobre a árvore de comando, utiliza-se diferentes materiais como juntas de vedação.

Entre o cabeçote e o bloco, a junta era originalmente, metálica, revestida de amianto, material abandonado por questões ambientais e de saúde do trabalhador. Hoje a Renault utiliza nesse caso placas de metal sinterizado. Já entre o bloco e o cárter o material utilizado é o silicone mas a Empresa teve que enfrentar o dilema de tomar a decisão de mudança do processo é Pierre Pickel, da Engenharia de Produção de Motores e participante desse processo, que nos relata a experiência<sup>37</sup>: *“Entre o bloco e o cárter a estanqueidade entre as partes tem que ser perfeita. Antes nós tínhamos juntas de borracha, depois veio a alternativa do poliacrilato (material acrílico) que era muito caro e agora nós fazemos de silicone. Bem, há duas categorias de silicone: Na primeira temos o silicone moldado por compressão, fora da linha de montagem, por um fornecedor externo. Trata-se de um material rígido, em placa, a ser acomodado sobre a superfície entre o cárter e o bloco do motor na seqüência da montagem do motor. É uma junta de 3 a 4 mm de espessura, que vai ser comprimida seca e selada a vácuo, como permitem as propriedades típicas do silicone. Na montagem tudo é perfeito, mas o grande inconveniente desse tipo de junta está na desmontagem: tudo fica colado e o material se estraga, tendo que ser substituído. Na segunda categoria temos o silicone líquido depositado in situ; a esse processo chama-se junta pré-depositada sobre a peça. Coloca-se um “cordão” da junta líquida em todo o contorno da peça, espera-se polimerizar, secar, na temperatura ambiente ou acelerando por forno. As-*

---

<sup>37</sup> Ver entrevista no original no anexo I da tese completa.

*sim que a junta seca monta-se as duas partes do motor garantindo a estanqueidade. Esse tipo é desmontável, podendo ser reutilizado após serviços de mecânica em geral.”*

Agora é Nicolas<sup>38</sup> que complementa: *“Então essa segunda opção, do ponto de vista do processo, é bem diferente: isso altera o processo de uma forma que nunca foi feita por nenhum operário na linha de montagem, porque isso – a colocação da junta - era uma tarefa automática.”* E Pickel retoma a palavra: *“Quando se trabalha com uma junta mole e que se polimeriza em um dado tempo é preciso muita atenção para evitar problemas e garantir a qualidade do processo. E a regra de ouro na linha de montagem é controlar permanentemente tudo que é feito. Portanto é preciso garantir a estanqueidade do motor a cada nova peça que se coloca. Cada fase é testada; ao final injeta-se ar comprimido no motor para localizar possíveis fugas de ar por má vedação. Ora, o inconveniente da junta sólida é que ela pode se quebrar com a pressão do ar, o que não acontece com a junta pré-depositada. Por outro lado, do ponto de vista do investimento, freqüentemente a rentabilidade de uma única aplicação é prejudicada pelo pequeno volume. É preciso então associar esse processo à fabricação de outras peças in situ senão esse processo não será economicamente viável.”*

Nesse ponto Nicolas resume o dilema: *“Este é um exemplo onde a Renault efetivamente vai fazer uma escolha entre pagar uma peça mais fácil de montar ou fazê-la em casa, por nós mesmos ou por um fornecedor, um processo um pouco mais complexo e que altera bastante as condições técnicas de trabalho. Porque, se fizermos a junta de silicone na linha de montagem, temos também que controlar simultaneamente o tempo de fabricação da peça e o de sua montagem. Se por acaso houver uma parada na linha de montagem é preciso ter salvaguardas; tudo é preciso estar previsto, não se pode deixar a peça endurecer antes da montagem é preciso desenvolver controles especiais. Enfim, o preço da peça em si é o mesmo; o que faz a diferença aqui é o tempo de estocagem, seja para nós, seja para o fornecedor, para que a peça possa se polimerizar. No fornecedor esse tempo é de dois dias, e é pago por nós.”*

---

<sup>38</sup> Ibidem nota anterior



### c) Sedes para Válvulas Feitas por Sinterização

O terceiro caso, na mesma linha de vantagens econômicas e simplificação da montagem de motores, foi uma mudança nos processos de fabricação da peça e das técnicas de tratamento do material e do acabamento da peça na linha de montagem, onde se economizou, em grande escala: espaço físico, energia elétrica e reagentes químicos de tratamento do material.

Trata-se de sedes ou câmaras para válvulas que se localizam no cabeçote do motor. Tradicionalmente, essas peças eram produzidas por fundição e usinagem. O processo utilizava fornos para aquecer os cabeçotes a 200°C e após essa etapa as câmaras eram química mente resfriadas com reagentes. Esse processo é portanto grande consumidor de energia, para os fornos a altas temperaturas, e de reagentes químicos para o resfriamento das peças.

A mudança para as sedes de válvulas produzidas por sinterização (metalurgia do pó) foi assim relatada por Pickel: *“Nós aproveitamos a oportunidade que um fornecedor nos ofereceu nos propondo o fornecimento de câmaras produzidas por sinterização. Nós concordamos, mas dissemos que aceitaríamos se pudéssemos suprimir os fornos e a utilização de reagentes. E ele, que é o maior no mercado, disse que faria isso; parecia ser fácil para ele. Mas ele nos propôs uma peça com um perfil<sup>39</sup> diferente e aí era preciso ir com cuidado porque qualquer defeito nessa parte do motor é fatal para seu funcionamento. Então fomos olhar a concorrência, testamos todas as possibilidades sob esforço comparando as duas peças. Além disso tínhamos que considerar a novidade de um material/peça que entraria pela primeira vez em nossa linha de montagem.”*

Resumindo, ao fim de quase dois anos a decisão de mudar para a peça sinterizada foi tomada e as economias foram grandes no rebaixamento dos custos de projetos como o do Clio II. Mas como observou Pickel *“isso não se fez da noite para o dia”*. Os ensaios e testes duraram um ano porque, como ressaltou Pickel, *“há também esforços do ponto de vista do processo que podem fazer diferença.(...) Nós trabalhamos junto com o fornecedor, que é a Pleuco, em um estudo em 1996 e no final das contas com a adoção dessa peça nós mudamos nosso processo e ganhamos muito.*

---

<sup>39</sup> Ver cópia dos perfis, antigo e novo, no anexo IV da tese completa.

*Eu fiz um estudo sobre o motor G, que é o grande motor Renault a diesel para automóveis e que está no Clio II, e eu verifiquei que fizemos uma economia de 4 Francos (1 Real) peça/motor ... o que não é desprezível, uma vez que só considere os ganhos diretos com o produto e não considere outros ganhos gerais como os das cisternas de tratamento químico e espaço utilizado pelo transporte e eliminação da fase de resfriamento dos cabeçotes pelo antigo processo, o que talvez chegue a um ganho total em torno de 30 Francos (10 reais) por peça.”*

#### **d) Rampa e Dutos de Combustível de Plásticos**

Pickel mencionou ainda em seu depoimento alguns outros exemplos de vantagens econômicas e de simplificação da montagem como a troca da rampa e dutos de combustível antes metálicos, seja de alumínio ou qualquer outro metal, por termoplásticos. São mudanças que foram motivadas pela necessidade de se tornar mais leve sistema motor-propulsão seguindo a mesma tendência da carroceria.

Além disso trata-se de uma mudança de material que simplificou a montagem e a manutenção ao mesmo tempo. Como observou Nicolas: *“essas peças são agora montadas por dispositivos que basta apertar com as mãos e fazer um “clique”. Antes tinha-se colares, porcas e parafusos.”* Nesse sentido ele ressalta ainda dois aspectos que contribuem para essa simplificação: a redução do número de peças e a eliminação de procedimentos de usinagem.

### **5.3 Análise dos Exemplos Apresentados**

Do ponto de vista dos novos materiais e novos processos, e a partir dos exemplos apresentados, podemos agrupar os reflexos dessas inovações em duas grandes categorias; primários ou diretos e secundários ou derivados.

No primeiro grupo temos as mudanças de projeto da peça, de equipamentos de fabricação da peça ou de sua montagem em um sistema do veículo, até do *layout* da linha de montagem desse sistema na fábrica, como é o caso dos motores. Os impactos dessas mudanças podem ser verificados na economia de energia e de materiais, na redução do número

de peças, partes e componentes a serem montados, e na redução do tamanho e do peso dos mesmos. Enfim são mudanças provocadas diretamente pela introdução de novos materiais.

No segundo grupo podemos classificar as alterações provocadas pela integração das peças fabricadas com novos materiais, ou por novos processos, no veículo como um todo. É o momento da industrialização final do produto. São indicadores desses impactos redução de custos de fabricação do automóvel, redução da área industrial total das montadoras, diminuição da linha de montagem final, redução do tempo de fabricação, alteração do perfil de qualificação da mão-de-obra e do tipo de automação. São portanto mudanças que atingem a organização da produção através das peças ou sistemas fabricados com novos materiais e/ou por novos processos.

De todo modo, as inovações exemplificadas nesses dois grupos são apenas indicativas do processo de mudanças globais que visualizamos através da introdução de novos materiais automotivos. Os quadros a seguir sintetizam os principais efeitos das mudanças estudadas em termos do projeto e da difusão das inovações em materiais na industrialização do Clio II. No Quadro 7 tem-se os efeitos encontrados nos exemplos selecionados e no Quadro 8 as inovações dos mesmos exemplos quanto a origem, características e vantagens e seus impactos sobre a industrialização do veículo.

Quadro 7 - Efeitos das inovações estudadas na industrialização do Clio II

Exemplos	Para-lamas de plástico	Mancais de Teflon	Juntas de Silicone	Sedes para válvulas	Rampa e dutos de plástico
Mudanças no <i>lay out</i> de fábrica	S	N	N	S	N
Re-projeto da peça	S	S	S	S	S
Novos processos de fabricação ou de montagem da peça	S	S	S	S	S
Menos peças, menores e mais leves	S	N	S	S	S
Simplificação da montagem final	S	N	N	S	S
Mudanças no perfil da mão-de-obra	S	S	S	S	S
Redução de custos de produção	N	S	S	S	S
Redução da área industrial	N	N	N	S	N
Redução do tempo total de montagem	S	N	N	S	S

Quadro 8 - Inovações Integradas: Materiais, Processos, Produtos e Montagem

Origem da Tecnologia na Inovação	Novo Material ou Processo na Peça	Vantagens do Material ou do Processo de Fabricação <sup>1</sup>	Industrialização Final <sup>2</sup>
Transferência de outros setores	Teflon substitui borracha em mancais	Maior resistência, aderência e estanqueidade	Exige mudanças no projeto da peça e na montagem.
Transferência com adaptação para uso automotivo	Silicone líquido para juntas de vedação do bloco do motor	Polimerização <i>in situ</i> , melhor aderência e é reutilizável	Fabricação e montagem simultâneas reduzindo tempo e número de fornecedores
Desenvolvimento em parceria com a indústria química	NorylGTX974 plástico termo-condutor p/ pára-lamas	Leveza, maleabilidade e resistência térmica e mecânica.	Exigiu novas técnicas de fixação da peça na montagem da carroceria
Desenvolvimento de processos metalúrgicos	Sedes para válvulas em aço sinterizado	Otimiza as características do metal e produz peças com melhor acabamento.	Re-projeto da peça: melhor precisão, elimina a usinagem e ganha-se espaço na fábrica
Difusão dos plásticos em funções mecânicas	Juntas, dutos e rampas de combustível	Plásticos injetados mais flexíveis, leves e fáceis de montar	Elimina pontos de soldagem e dispositivos de fixação simplificando a montagem

Observações:

- 1) do material e da peça;
- 2) até a linha de montagem

Em suma, podemos dizer que, com a entrada de novos materiais e das novas tecnologias a eles associados, o processo de produção geral de um automóvel esquematicamente representado na Figura 6a, vem passando por mudanças no sentido de uma simplificação tal que já se desenha um processo, para as próximas décadas, onde as montadoras realizarão apenas as atividades finais de fixação, pintura e montagem, representadas na Figura 6b, e assim mesmo com um número de operações bastante reduzido. Desse modo, elas manterão o controle quase que tão somente sobre a atividade de projeto, ou seja, a concepção do automóvel.

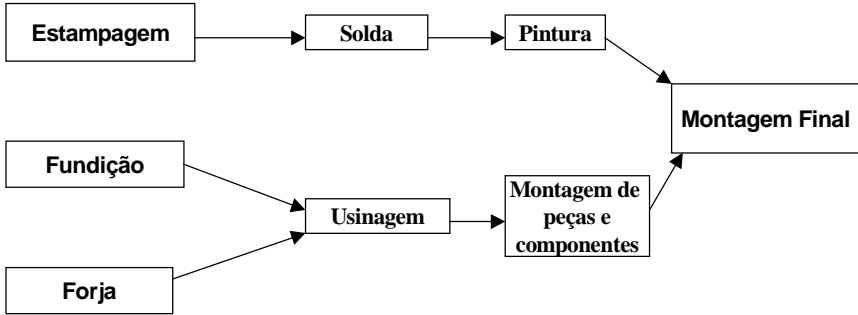


Figura 6b - Esquema simplificado da produção do automóvel

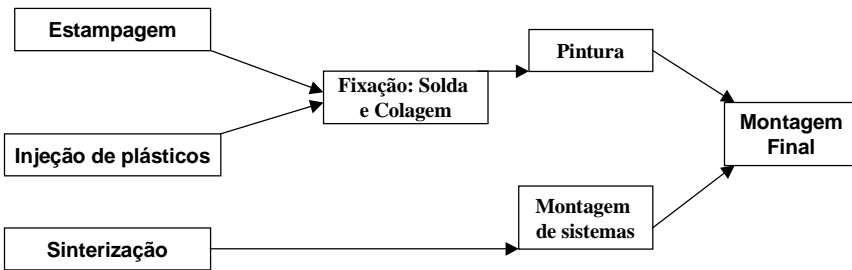


Figura 6b - Esquema simplificado da produção do automóvel

## 6. Conclusão

O carro mudou muito no seu primeiro século de existência, mesmo sob a mesma designação genérica que resta apenas um nome que não qualifica o produto em si, nem em termos funcionais nem quanto às tecnologias e materiais envolvidos em sua produção. De um meio de transporte individual, unifuncional, fortemente associado a um estilo de vida, o automóvel assumiu funções múltiplas de num produto híbrido no qual muitas das funções inicialmente consideradas acessórias hoje em dia fazem parte da conceito deste produto.

Com base nos exemplos estudados podemos dizer que, do ponto de vista das vantagens técnicas diretas, os novos materiais termoplásticos e os novos processos metalúrgicos, como reação do setor metal mecânico, vêm tornando peças e componentes automotivos mais leves e eficientes, melhorando o rendimento dos motores e contribuindo para o equilíbrio entre carroceria e motor garantindo assim a estabilidade do veículo.

Contudo, o mais interessante no conjunto de transformações observadas em torno da introdução de um novo material é que se obtém ganhos técnicos e econômicos simultaneamente, mesmo considerando os custos de P&D envolvidos. É certo também que muitas dessas inovações chegam ao automóvel depois que seus custos de desenvolvimento já foram amortizados em outros setores como o aeroespacial, equipamentos para esporte náutico e defesa, principalmente. Mas os avanços tecnológicos próprios do setor no desenvolvimento de materiais automotivos são visíveis e vem tornando os carros, ao mesmo tempo, mais baratos e melhor equipados em termos de segurança e desempenho.

Como pudemos comprovar no nosso trabalho de campo na Renault a tendência em novos materiais automotivos é de se estabelecerem como uma categoria de materiais desenvolvidos para fins específicos quase sob encomenda a cada novo projeto, seguindo o caminho que vem sendo trilhado pelos “concept cars” e pelos grandes projetos mundiais de carros para o próximo século.

Outra confirmação que obtivemos agora já no plano da produção industrial é que os novos materiais tem que trazer junto com suas novas funções vantagens não apenas técnicas para sua utilização direta na peça ou componente, mas as soluções industriais de tratamento e montagem,

aproveitando as sinergias do sistema automóvel como um todo. Encerrou-se o período de substituição pontual de um material por outro melhorado ou mais desenvolvido. O que se busca agora é otimizar o conjunto, integrar funções em peças e sistemas, simplificando, com qualidade, a montagem do veículo.

Nesse sentido duas tendências se apresentam como dominantes. Primeiro, a difusão dos compósitos de matriz polimérica tanto para usos estruturais, ou semi-estruturais, em carroceria, é o caso dos pára-lamas, como para componentes mecânicos, especialmente os que têm funções estáticas nos motores. Isso pela dupla contribuição que trazem para a redução do peso do veículo e para a simplificação dos processos de montagem. E segundo, a utilização de processos metalúrgicos mais desenvolvidos no sentido de melhorar a qualidade dos componentes submetidos a trabalhos mecânicos de grande esforço, como é o caso das peças feitas por sinterização.

Verificamos ainda, através dos exemplos selecionados, que todas as inovações tem se realizado de forma integrada, envolvendo mudanças a um só tempo de materiais, produtos e processos, tanto no nível da fabricação de peças como da montagem final. Além disso, elas provocam ou impulsionam transformações industriais e organizacionais associadas, que estão mudando o perfil do setor automobilístico. Essa indústria começa então a ser reconhecida como um setor de grande multiplicidade e crescente complexidade tecnológica que se moderniza e se avizinha dos setores de alta tecnologia pelas contribuições não só da eletrônica e da informática, mas também da química e dos novos materiais.

Pelo nosso estudo de caso podemos afirmar que as interações entre a introdução de novos materiais e a organização da produção na indústria automobilística ocorrem de fato, como era nosso pressuposto, tanto no nível das tecnológico, trazendo novas tecnologias de processo e de montagem, como no organizacional e industrial, exigindo modelos mais flexíveis e novos perfis da mão-de-obra. Além disso observamos também que esse processo de difusão de inovações faz parte da estratégia mundial das montadoras, que integra pesquisa, projeto, produção e marketing do automóvel.

Dentre as alterações que a entrada de novos materiais automotivos vêm provocando em toda a cadeia de produção do automóvel podemos citar entre outras:

- A simplificação da linha de montagem final
- A redução do tempo total na produção
- A redução do número de peças por sua integração em sistemas completos
- As alterações no perfil da mão-de-obra, agora multiespecializada e mais criativa
- O aumento da produtividade e da qualidade
- As novas formas de pesquisa consorciada em cooperação com fornecedores e concorrentes
- Novas formas de projeto, utilizando recursos computacionais e métodos de engenharia simultânea para antecipar problemas e soluções.

Quanto ao perfil das mudanças ocorridas no próprio automóvel, pode-se afirmar que seu traço mais marcante foi a complexidade. O automóvel cresceu em complexidade nas últimas décadas mais do que em três quartos do seu primeiro século de existência, fruto da aceleração do processo de inovação, seja pela eletronização ou pela introdução de novos materiais. Dessa forma, o processo de inovação vem adquirindo uma dimensão estratégica sem precedentes nessa indústria.

Observamos ainda três pontos característicos e recorrentes no processo de difusão de inovações em materiais automotivos. Primeiro: as inovações partem dos materiais mas só se realizam de forma global, ou seja, quando há uma conjunção favorável de condições técnicas, organizacionais e industriais. Segundo: as inovações em materiais, produtos e processos são planejadas e geradas em conjunto na concepção inicial do veículo, também chamada de pré-projeto, o que antecipa problemas e reduz tempo na busca de soluções. Terceiro: as inovações em materiais exigem à montante, na P&D, e à jusante, na industrialização final, novas especialidades que vêm se agregando à indústria automobilística como as da química, eletrônica e informática. Assim, para somar as diversas competências envolvidas no processo de inovação em materiais automotivos as montadoras vem adotando uma estratégia de alianças tanto no nível tecnológico, da pesquisa, como industrial, de produção modular, conduzida pela atividade



de projeto realizada em bases cada vez mais simultânea e de forma cooperativa.

Como podemos constatar ainda pela estratégia tecnológica e industrial adotada pela Renault, no sentido de um processo de inovações globais, via parcerias de longo prazo e em todos os níveis de trabalho desde a concepção de um novo modelo de industrialização final, o desenvolvimento de um novo material automotivo é feito sempre a longo prazo e visando, ao mesmo tempo, objetivos funcionais, de otimização de peças e sistemas, e industriais, de simplificação da montagem. De fato os exemplos encontrados mostram efeitos sinérgicos entre as inovações em materiais automotivos e o processo de produção do automóvel, num processo de transformações amplas e contínuas que caracteriza a difusão dos novos materiais em aplicações estruturais e funcionais nos dois grandes conjuntos do automóvel: a carroceria e o motor. Pode-se dizer que essas transformações têm início no projeto de um novo modelo e vão até sua produção em série, com efeitos não só sobre as montadoras mas sobre toda a rede de fornecedores, dentre os quais os chamados fornecedores-colaboradores já participam da concepção do novo produto. Entretanto nossa análise esteve centrada nas montadoras núcleo central dessa cadeia por deter a concepção e arquitetura completa dos veículos. Enfim, os carros são sem dúvida uma criação uma coletiva coordenada pela montadoras que detém as competências básicas e individuais desse universo de conhecimentos multidisciplinares.

# Agradecimentos

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq - pela bolsa de doutorado sanduíche que viabilizou o trabalho de campo desta tese durante 1 ano na França.

Agradeço à Renault por possibilitar a realização desta pesquisa, tanto no Technocentre como na Fábrica de Flins. Nomeio especialmente as pessoas que contribuíram com idéias e exemplos valiosos; M. Bernard Criqui, M. Jean-Claude Monnet, M. Gerard Maeder, M. Joel Le Gal, M. Bruno Cosatti, M. André Massias, M. Sylvian Bourdillon, M. Pierre Pickel, M. Nicolas Pousselle, M. Bernard Houchon, M. Didier Velluet.

Sou enfim eternamente grata aos meus professores orientadores Ricardo Manfredi Naveiro e Rupen Adamian da COPE/UFRJ pela excelente formação que recebi e a especial dedicação e atenção que me dispensaram durante toda a tese que foi enriquecida pelos seus competentes conselhos e recomendações, e ao professor Gilles Lambert da Université Louis Pasteur de Strasbourg que me acolheu e acompanhou meu trabalho de campo, me auxiliou nos contatos na França, e manteve comigo discussões profícuas sobre as idéias centrais de minha tese.

# Bibliografia

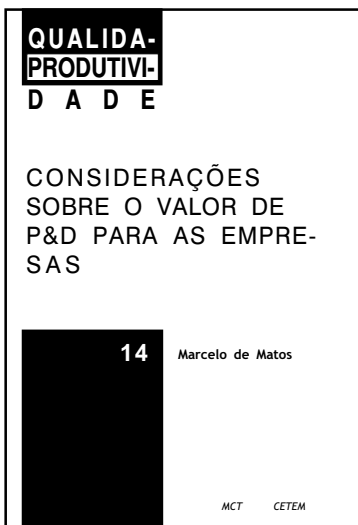
---

- ADAMIAN R. e WILLINGER M, 1992, relatório preparado para a OECD (Organization for Economic Co-operation and Development), « *Difusion of Advanced Materials in the transportation Sector* », Dictorated for Science, Technology and Industry, Committee for Scientific and Technological Policy, Restricted drafted, Paris, France.
- BAKER, B., 1992, *New Materials*, chapter 4, pp.65-80, in CUNNINGHAM, P. and BAKER, B., (editors) *World Technology Policies*, , London, Longman.
- BRAGG, G., 1996, "Materials: Key to 100 Years of Automotive Progress", na *Automotive Engineering*, SAE, pp.93-99, USA, decembre.
- BRIDENBAUGH P.R., 1995, «Strategically Integrated Partnerships for Materials and Auto Producers», *JOM Journal of Mining*, pp 18-19, July.
- BROWN K. R., VENIE M. S., WOODS R. A., 1995, "The Increasing Use of Aluminum in Automotive Applications », *Journal of Mining/JOM*, pp. 20-23, July.
- BUCHHOLZ K., 1996, "Manufacturing, R&D Oractuces Vary Among Automakers", in *Automotive Engineering*, SAE, USA, October.
- BUCHHOLZ K., 1996, "Simultaneous Engineering saves time and money", em *Automotive Engineering*, SAE, pp.97-99, November.
- BUCHHOLZ K., 1997, "The Hiden Design Advantage: Manufacturing Input." em *Automotive Engineering*, SAE, pp. 57-59, August.
- CHANARON, J-J. et LUNG, Y., 1995, *Economie de L'automobile*, Paris, La Découverte.
- CLARK K.B., CHEW. W.B. and FUJIMOTO T., 1992, *Manufacturing for Design: Beyond the Dichotomy Production/R&D*, in SUSMAN, G.I., (editor), *Integrating Design and Manufacturing for Competitive Advantage*, NY, USA, Oxford University Press.
- DEBUIGNE, 4/5 1997, "Fabrications des Ailes de Carrosserie", conférence au *Congrès Internacional de la SIA à Clermont-Ferrand*, 4/5 juin.
- FILLION F., 1997, "Conception et Validation Produit/process Ailes Scenic", conférence au *Congrès Internacional de la SIA à Clermont-Ferrand*, 4/5 juin.

- FREYSSENET, M., MAIR, A., SHUMIZU, K. and VOLPATO, G., 1998, *Conclusions : the Choice to be made in the Coming Decade*, pp. 452-462, in FREYSSENET, M., MAIR, A., SHUMIZU, K. and VOLPATO, G., *One Best Way ?* (editors), London, Oxford University Press.
- GUIBET, J.C. avec la collaboration de FAURE E. *Carburants et Moteurs: Technologies, Energie et Environnement*, introduction pp.8-19, Paris, publications de L'institut Français du Pétrole, Editons Technip., Tome 1.
- HOUCHON, 1997, "Developpement des Ailes de Mègane Scenic Historique et Motivation", conférence au *Congrès de la Société des Engéneurs de L'Automobile –SAI-*, 4-5 juin.
- IANSITI M., 1993, "Real World R&D : Jumping the Product Generation Gap", *Harvard Business Review*, pp. 138-147, USA, May-June.
- JÁMBOR ARNO, BEYER M., 1998, "New cars – new materials", *Technical report, Materials & Design*, N° 4 / 6, published by Elsevier Science Ltd, pp. 203-209, Great Britain.
- JOBERT, P., 1995, "Les Plastiques roulent pour la reprise", *GUIDE 95 des Plastiques et des Caoutchoucs: Les Utilisateurs*, pp. 25-30, Paris, France.
- LAMBERT G., 1993, "Variables Clés pour le transfert de technologies et le management de l'innovation" *Revue Française de Gestion*, mars-avril-mai.
- LASTRES H.M., 1994, "Advanced Materials and the Japanese System of Innovation", *Phd Thesis at University of Sussex, UK.*, published by St. Martin Press, Inc., Nova York.
- LAWLEY, 1997, "PM Applications in Automotive Industry : Case Studies", conferência proferida no *Euro PM 97*.
- LEMOS V.M. e NAVEIRO M.R., 1999, "A experiência de modernização de uma empresa do ramo de autopeças" ENEGEP, Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Rio de Janeiro, outubro.
- MAEDER G. et GIOSA, 1998, "Les polymères pour des fonctions thermoplastiques dans l'automobile", *Journées Européennes des matériaux polymères dnas l'automobile*, Le Havre, France, 3 et 4 février.
- MAEDER G., 1994, "What is the car expecting from the chemical Industry?", *ECMRA Conférence Profiting from New Properties*, (The European Association for Business in the Chemical Industry), Leipzig, 17-19 October

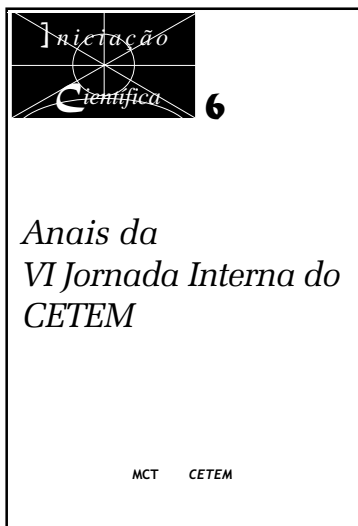
- MAEDER G., 1995, "From Dream to Reality: which strategy for new materials?", *VDI Berichte* Nr 1235, pp321-340.
- MAEDER G., 1998, "Le choix des matériaux dans l'industrie automobile", présenté au Colloque SF2M *Les Méthodes de choix de matériaux*, no INSA Lyon, en nov. 1997 et publié en *Matériaux et Techniques*, N°7-8, pp. 39-47, Paris, France.
- MAEDER G., 1998, "Pourquoi alléger, comment alléger", Conférence proférée au *Colloque SF2 sur L'allègement dans les transports et la construction*, à Douai, France, 26 nov.
- MANGIN, C. E. NEELY, III J.E., CLARK, J.P., 1993, "The Potential for Advanced Ceramics in Automotive Engine Applications", *Journal of Mining JOM*, pp. 23-27, USA, June.
- MANO, E. 1991, Polímeros como materiais de Engenharia, São Paulo, Editora Edgard Blücher Ltda.
- MARTIN D., 1997, "USLAB : A Progress Report", in *Advanced Materials & Process*, pp. 72-74, USA, September.
- MEDIATECH, 1998, «Special Clio», publication des Ressources Humaines éditée par Renault, N° 13, mai, 113 páginas.
- MEDINA H. V. e REIS L.A.A., 1995, "Minerais e Materiais Avançados : Crise Recente e Perspectivas", *Série Estudos e Documentos CETEM, MCT/CNPq*, N° 26, 62 páginas, Rio de Janeiro.
- MEDINA H. V., 1997, "Competitividade da Indústria Mínero-Metalúrgica Brasileira", *Série Qualidade e Produtividade CETEM, MCT/CNPq*, N° 12, 28 páginas, Rio de Janeiro.
- MEDINA H.V., 1998, "Materiais Avançados : Novos Produtos e Novos Processo na Indústria Automobilística", *Revista Produção*, vol 8, N° 1, pp. 29-44, Brasil, jul..
- MEDINA H.V., e NAVEIRO, R.M., 1999, "Os Novos Materiais como uma Inovação Estratégica para a Indústria Automobilística : O Caso da Renault", aceito para publicação em outubro pela *Revista Produção*, Brasil.
- MIDLER, C. 1993, L'auto qui n'existait pas, 2º ed., Paris, InterEditons.
- MOISDON J.C. E WEIL B., 1998, «Capitaliser les savoirs dans une organisation par projet», *Le journal de l'école de Paris*, N° 10, 1998, pp. 17-24, Paris, avril.

- MOISDON J.C., NAKAHLA M., E WEIL B., 1996, «Capitalisation du savoir dans la conception automobile : un complément à la gestion de projet», *mimeo, Ecole de Mines de Paris*, janvier.
- MORY C., 1999, “Plus c'est pareil, plus ça change”, *Lettre du Gerpisa N° 134*, p. 6, Juillet.
- MOUSTACCHI, A., PAYAN, J-J., 1999, L'automobile: avenir d'une centenaire, France, Dominos/Flammarion,.
- NAVEIRO R. M. e O'GRADY P., 1999, “Dicast : Um Sistema inteligente para auxilio ao projeto de peças fundidas”, aceito para publicação na *Revista Gestão & Produção da UFSCAR*.
- NAVEIRO R. M.e O'GRADY P., 1995, “A Concurrent Engineering Approach for Desing Assistance of Casting Parts”, apresentado na *International Conference on Engineering Design ICED*, pp.22-24, Praga, August.
- SANZ G., 1998, “Le Programme ULSAB franchit un nouveau pas”, en *Ingénieur de l'Automobile*, Paris, pp.12-13, janvier/février.
- SHERMAN, SOMMER AND FROES, 1997, «The Use of Titanium in Production Automobiles : Potential and Chalenges» *Journal of Mining JOM*, pp. 38-41, USA, May.
- SHIMOKAWA, K., JÜRGENS, U., FUJIMOTO, T., 1997, Transforming Automobile Assembly : Experience in Automation and Work Organization, Introduction, pp.1-16, Berlin, Springer Verlag.
- TANBANIKIA ET DUTEURTRE, 1997, “Conception d'un Alliage Thermoplastique pour Aile” *présenté au Congrès de la Société des Ingénieurs de l'Automobile –SAI, à Clermont-Ferrand, France, 4 et5 juin*.
- TEULON H., 1990 “L'analyse foncionnelle pour le Choix des Matériaux : une source de competitivité”, *Revue Matériaux et Techniques* pp.1-06, France, mai.
- TICE D., NURUK, J., HEIDEMAN, R., and FRITZ P., 1996, “Materials Selection for Auto Parts”, in *Advance Materials &Process*, pp. 41-43.







Séries CETEM



publicações Avulsas (18)

1998 - Expert systems for Particle Recognition After Image Processing, Paolo Massacci - University of Rome "La Sapienza"/CETEM.



A lista completa de publicações poderá ser consultada em nossa Home Page. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br>



**INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM - Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Ipê, 900 - Ilha da Cidade Universitária  
21941.590 - Rio de Janeiro - RJ

☎ Geral: (21) 3865-7222 - Biblioteca: 3865-7218 ou 3865-7233  
Telefax: 21 2260-2837 ● 2260-9154 ● 2290-4286  
2290-9196 ● 2590-3047  
E-mail: [cetem.info@cetem.gov.br](mailto:cetem.info@cetem.gov.br)  
Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

**NOSSAS PUBLICAÇÕES**

**Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.**

**Solicita-se permuta.  
We ask for interchange.**