Celso de Araujo Duarte Silva

**COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO REFORÇADOS
COM FIBRAS DE SISAL PARA USO NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA**

São Paulo

2010

CELSO DE ARAUJO DUARTE SILVA

**COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO REFORÇADOS
COM FIBRAS DE SISAL PARA USO NA INDÚSTRIA
AUTOMOBILÍSTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
para obtenção do título de mestre profissional em
Engenharia Automotiva.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Augusto Leal Alves

**São Paulo
2010**

FICHA CATALOGRÁFICA

Silva, Celso de Araujo Duarte

Compósitos de polipropileno reforçados com fibras de sisal pra uso na indústria automobilística / C.A.D. Silva. – São Paulo, 2010.

86 p.

Trabalho de conclusão de curso (Mestrado Profissional em Engenharia Automotiva) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

1. Materiais compósitos de fibras 2. Fibras 3. Sisal 4. Injeção (Engenharia) 5. Indústria automobilística I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica II. t.

Dedico este trabalho a Deus, à minha esposa Sonia, a meus filhos Lucas e Danyel e à minha mãe Suzanna.

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. Marcelo Alves, pela orientação, pela amizade, pela parceria e pelo apoio contínuo.

À Ford Motor Company do Brasil, por todo o apoio no desenvolvimento deste trabalho.

As empresas PolyPack/UFSCar, Autometal e Faureciar, envolvidas no processo produtivo de matéria-prima com adoção do sisal.

À Universidade de São Paulo, em especial aos professores do Mestrado Profissionalizantes da Escola Politécnica de Engenharia que apoiaram e incentivaram meu trabalho.

À UFSCar e ao professor Dr. José Augusto Marcondes Agnelli, pela co-orientação, pela amizade e o apoio contínuo.

À Polypack Consultoria Técnica Ltda., pelo total apoio no desenvolvimento deste projeto

À Associação dos Pequenos Agricultores do Estado da Bahia - Município de Valente (APAEB), por todo apoio, fornecimento de matéria prima, fibras de sisal e a especial atenção a este projeto.

Às empresas Autometal, Faurencia e Metagal por terem apoiado e cedido suas instalações para o desenvolvimento deste projeto

Aos meus amigos e companheiros de trabalho: ao perseverante Leandro Afonso, ao Paulo Brumatti pela dedicação, ao Julian Fernandes pela alegria, entusiasmo e parceria, ao grande amigo Ricardo Muneratto pelo seu irrestrito apoio e orientação

RESUMO

COMPÓSITOS DE POLIPROPILENO REFORÇADOS COM FIBRAS DE SISAL PARA USO NA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA

O polipropileno com carga ou reforço de fibras de sisal (PP – Sisal) é um composto desenvolvido para ser aplicado no processo de injeção de peças plásticas automotivas. Compósitos de polipropileno reforçados com cargas minerais (talco) ou fibras de vidro têm sido largamente aplicados nesse segmento. Porém, fibras naturais são uma importante alternativa considerando-se os aspectos de sustentabilidade, reciclabilidade, abundância e baixo custo, se comparadas a fibras de vidro e ao talco industrial. Neste trabalho escolheu-se o sisal como reforço em função dos resultados obtidos em testes de tração, impacto, homogeneidade, resistência a riscos, a não formação de pontas quando fraturado e ao menor peso específico da peça final. Este trabalho conduziu ensaios e testes para comparar o desempenho do novo composto aos compostos atualmente em uso. Resultados mostraram que o PP - sisal apresenta melhor rigidez e maior resistência do que os seus concorrentes, ainda contando com o apelo natural e ecológico do composto. Outro aspecto muito importante neste estudo foi o uso de polipropileno reciclado, o que transformou o resultado final num produto ainda mais ecológico e rentável.

Palavras-Chave: Compósito, reforço, Polipropileno; Sisal; Indústria Automobilística

ABSTRACT

POLYPROPYLEME COMPOSITE REINFORCED WITH SISAL FIBERS TO BE USE IN THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Reinforced with sisal fibers, polypropylene (PP - Sisal) is a compound developed to be applied in the injection process of plastic automotive parts. Polypropylene compounds reinforced with mineral fillers (talc) or fiber glass have been widely applied in this segment. However, natural fibers are an important alternative considering the following aspects: sustainability, recyclability, abundant availability and low cost, if compared with fiber glass and mineral fillers. This work chose sisal as reinforcement in function of the results achieved in the tests of traction, impact, homogeneity and scratch resistance. Besides that, no sharp is formed when broken and specific weight is light in the final part. We conducted try-outs and test to compare the performance of the new composition with that of current ones, and results have shown that the PP - sisal presents better rigidity and greater resistance than its competitors, still counting with natural and ecological appeal. Another very important aspect in this study was the use of recycled polypropylene, which made final results more ecological and profitable.

Key words: composite; Reinforcement; Polypropylene, Sisal, Automotive industry; composites

LISTA DE ABREVIATURAS

ABMACO– Associação Brasileira de Materiais Compósitos (ABMACO),
ASTM – American Society for Testing Materials
APAEB – Associação de Desenvolvimento Sustentável e Solidário da
Região Sisaleira, Município de Valente - BA
Cosibra – Companhia Sisal do Brasil
NaOH – Hidróxido de Sódio
OH – Grupo hidroxila
PP – Polipropileno
CCA – Cromo, cobre e arsênio
GQAMR – Grupo de Química Analítica e Materiais de Referência
FSAO – *Ford South America Operation*
FoE – Ford of Europe
PRF – Polímeros reforçados com Fibras
PP/VF – compósito polipropileno/fibras de vidro
SUDENE. –Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste
SINDIFIBRAS – Sindicato de Fibras do Estado da Bahia
UFSCar – Universidade Federal de São Carlos
USP – Universidade de São Paulo
VFV – Veículos em Fim de vida Útil

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - PARTES DO CARRO E RESPECTIVOS MATERIAIS	36
FIGURA 2 - PROCESSO DE RECICLAGEM DOS PLÁSTICOS.....	38
FIGURA 3 - PROCESSO DE OBTENÇÃO DA FIBRA DE SISAL, DESDE O PLANTIO	49
FIGURA 4 - MÁQUINA EXTRUSORA E PARTES INTEGRANTES.....	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
FIGURA 5 - PROCESSO DE EXTRUSÃO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO PP/FS	50
FIGURA 6 - MATÉRIA PRIMA (COMPÓSITO PP/FS), DETALHE EM ZOOM DA PEÇA (COLUNA D) INJETADA EM PP/FS.....	51
FIGURA 7 - PAINEL DE INSTRUMENTOS, CONSOLE CENTRAL E PAINEL DE PORTAS INJETADOS EM PP/FS	53
FIGURA 8 - FIGURA COMPARATIVA DOS DOIS COMPÓSITOS (PP/FS E PP/FV)	52
FIGURA 9 - EFEITOS AERODINÂMICOS NAS OPERAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO:CONSUMO DE COMBUSTÍVEL COMO FOCO DE TRABALHO	55

LISTA DE FOTOS

Foto 1- EXEMPLAR DO AGAVE SISALANA (SISAL)	20
Foto 2 - PROCESSO DE DESFIBRAMENTO DO SISAL.....	23
Foto 3 - SECAGEM DAS FIBRAS DE SISAL.....	24
Foto 4 - DETALHE DO BALER TWINE.....	28
Foto 5 - MÁQUINA INJETORA	44
Foto 6 - PAINEL DE INSTRUMENTOS E SEUS SUBCOMPONENTES EM PP/FV	47
Foto 7 - PAINEL DE PORTAS DE UM VEÍCULO.....	47

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - CURVAS NOMINAIS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA O COMPOSTO COM SISAL (50% PP REC + 20% PP VIR. + 30% SISAL)	66
GRÁFICO 2 - CURVAS NOMINAIS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA O COMPOSTO COM SISAL (70% PP VIR. + 30% SISAL)	66
GRÁFICO 3 - CURVAS NOMINAIS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA O COMPOSTO BASELL BRASIL	67
GRÁFICO 4- CURVAS NOMINAIS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA O COMPOSTO NOVACOR BRASIL.....	67
GRÁFICO 5 - CURVAS NOMINAIS MEDIAS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA OS QUATRO COMPOSTOS PP AVALIADOS..	68

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS PP SISAL	64
QUADRO 2 – TESTES (I) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD WSS-M15P4-E	71
QUADRO 3 - TESTES (2) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD WSS-M15P4-E	72
QUADRO 4 - TESTES (3) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD WSS-M15P4-E	73
QUADRO 5 - TESTES (4) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD (WSS-M15P4-E	74
QUADRO 6 - TESTES (5) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD (WSS-M15P4-E	75
QUADRO 7 - CONDIÇÕES DE INJEÇÃO DO PP + SISAL NA ARBURG 270V	76

LISTA DE SÍMBOLOS

d_e : Diâmetro equivalente

E : Módulo de elasticidade

F : Força

G : Módulo de torção

I : Momento de inércia

L_f : Comprimento de Fibras

L_c : Comprimento crítico das fibras

f : Resistência

ϕ : Fração volumétrica

δ : Deslocamento

μ : Coeficiente de Poisson

η_1 : Coeficiente que depende da orientação da fibra

η_2 : Coeficiente que depende do comprimento da fibra

e : Deformação específica

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PREVISÃO DE APLICAÇÕES PARA OS PRODUTOS DO SISAL EM 2010	29
TABELA 2 - EFEITO DO COEFICIENTE DE ARRASTO AERODINÂMICO E A MASSA DO VEÍCULO NO DESEMPENHO E CONSUMO DE COMBUSTÍVEL, COMO ILUSTRADO POR UM CARRO DE MÉDIO PORTE.....	56
TABELA 3 - COMPARAÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ENTRE VEÍCULOS COM PEÇAS A PARTIR DE PP+FV OU PP+CaCO ₂ E VEÍCULOS COM PEÇAS A PARTIR DE PP+FS	ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.
TABELA 4 - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO DOS COMPOSTOS	68

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Gerais	17
1.1.2	Específicos	17
1.2	ESCOPO DA PESQUISA.....	18
2	SISAL	20
2.1	O SISAL E A SUA CADEIA PRODUTIVA.....	21
2.2	O HISTÓRICO DO SISAL NA INDÚSTRIA	24
2.3	USOS DO SISAL NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.....	29
3	USO DA FIBRA DE SISAL COMO RECURSO NATURAL RENOVÁVEL	31
3.1	REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NA EXTRAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	32
3.2	REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NO DESCARTE DA PEÇA ACABADA.....	35
3.3	A INDÚSTRIA DO RECICLADO	37
3.4	O DESAFIO DA RECICLAGEM DE PLÁSTICOS AUTOMOTIVOS	40
4	PROCESSO PRODUTIVO DE PEÇA PLÁSTICA DE ACABAMENTO INTERNO DE VEÍCULO	42
4.1	USO DA FIBRA DE SISAL NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS DE ACABAMENTO INTERNO DE VEÍCULOS	48
4.2	CUSTOS DA UTILIZAÇÃO DO COMPÓSITO PP + FIBRA DE SISAL	51
4.3	DESEMPENHOS DA PEÇA PLÁSTICA DE ACABAMENTO INTERNO DE VEÍCULO FABRICADO COM FIBRA DE SISAL	53
4.4	DESEMPENHO DO VEÍCULO	53
5	DIFICULDADES NA UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE SISAL NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS DE ACABAMENTO INTERNO DE VEÍCULO.....	58
5.1	NO PROCESSO DO PLANTIO	59
5.2	NO PROCESSO DE DESFIBRAMENTO.....	59
5.3	NO PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO.....	62
6	TESTES REALIZADOS.....	64
6.1	CARACTERIZACAO DE COMPOSTOS PP SISAL (QUADRO 1).....	64
6.2	CURVAS NOMINAIS DE ENSAIOS DE TRAÇÃO	64
6.3	QUADROS GERAIS DE TESTES REALIZADOS	69
6.4	CONDIÇÕES DE INJEÇÃO DO PP + SISAL	75
6.5	NORMAS E REQUERIMENTOS APLICADOS	76
7	CONCLUSÕES	80
8	REFERÊNCIAS.....	81
	ANEXO 1	84

1 INTRODUÇÃO

Esta pesquisa tem por finalidade o desenvolvimento de materiais compósitos, termoplásticos e termomoldados, utilizando polipropileno virgem e reciclado e fibras de sisal (PRF), destinado a aplicações na indústria automobilísticas, em substituição aos plásticos ABS e polipropilenos com cargas de fibra de vidro, minerais e outras fibras naturais.

Esse novo compósito deverá seguir as especificações daqueles que irá substituir, porém deverá atender também às normas regulamentadoras relativas a materiais recicláveis, utilizando materiais reciclados.

A proposta de uso da fibra de sisal como um novo material alternativo aos atuais deve estar em consonância com aspectos técnicos, econômicos, sociais e ambientais.

Segundo a APAEB – Associação dos Pequenos Agricultores do Município de Valente – BA, o sisal cultivado nessa região é do tipo Agave Sisalana Perrine, proveniente de uma planta originária do México, trazido ao Brasil em 1903 e que hoje tem uma área plantada de aproximadamente 120 mil hectares, com uma produção de 110 mil toneladas de fibra seca por ano. Mesmo não tendo a mesma produtividade alcançada em outros países, o sisal brasileiro, cuja maior produção é no estado da Bahia, chega a ser até 90% mais barato do que a fibra de vidro.

Em relação a outras fibras vegetais como juta, coco, curauá, cana-de-açúcar e cânhamo, o sisal apresenta vantagens em suas características mecânicas e no custo unitário.

Os compósitos de fibras têxteis de sisal e polipropileno virgem e reciclado aproveitam o desenvolvimento tecnológico e científico dos biocompósitos. Esta pesquisa quer estudar a aplicação do sisal em componentes plástico automotivos, sendo eles injetados ou moldados.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Gerais

A pesquisa proposta pretende desenvolver um novo composto que servirá de matéria prima para peças injetadas e moldadas, a fim de reduzir a dependência em materiais nobres e o impacto ambiental.

A utilização de polipropileno reciclado atenderá às normas internacionais de reciclabilidade, ou seja, envolve o uso de material reciclado em produtos recicláveis. Este trabalho pesquisará o comportamento mecânico do compósito em comparação ao de outros compósitos conhecidos e especificados para essas aplicações.

1.1.2 Específicos

1. Estudar as características mecânicas da fibra de sisal: resistência à tração e à flexão, fluidez, temperatura e odor.
2. Estudar os diferentes tipos de polipropileno reciclado.
3. Estudar a composição possível de polipropileno virgem e reciclado
4. Estudar os métodos de processamento do compósito, considerando a restrição para aplicação de polipropileno reciclado e definir o conceito final das matérias primas.
5. Estudar o comportamento do compósito no processo de injeção e moldagem.
6. Avaliar os resultados obtidos com a nova matéria prima, compará-los com a atual (talco industrial e fibra de vidro) e desenvolver a possibilidade de implementação das novas matérias primas.

1.2 ESCOPO DA PESQUISA

A busca por soluções ecológicas, sustentáveis e baratas na composição de componentes automotivos leva-nos a estudar a implementação de fibras naturais como sisal, curauá, coco, juta e cana-de-açúcar em substituição à materiais nobres e caros como fibra de carbono, fibra de vidro, talcos industriais e até mesmo plásticos mais caros como o ABS na cadeia de matéria prima para a indústria automobilística.

A simples substituição de materiais nobres por fibras naturais na composição dessa nova matéria prima representa uma redução no custo final do componente injetado ou moldado. Outros fatores precisam ser analisados no decorrer de seu desenvolvimento, tais como suas propriedades mecânicas e o processo produtivo dos componentes que usarão essa matéria-prima.

A utilização do sisal poderá reduzir a dependência de materiais nobres derivados do petróleo, fibra de carbono, fibra de vidro e talcos químicos industriais. O sisal tem seu peso específico menor que os compósitos atualmente em uso, o que significa que sua aplicação reduzirá a massa do veículo e, por consequência, aumentará sua eficiência, ou seja, trará maior economia de combustível.

A certificação desse novo compósito levará a um ganho significativo de custo e peso, direcionado aos requisitos ambientais de reciclabilidade.

A viabilidade desta pesquisa pauta-se no fato de se conseguir atingir índices de conformidade às normas internacionais de reciclabilidade, mantendo o desempenho e reduzindo o custo do componente.

A hipótese deste trabalho, portanto, é a de que a fibra de sisal, por ser uma fibra vegetal inerte, ou seja, de características imutáveis, biodegradável e 100% reciclável para a mesma aplicação, é propícia para utilização no processo produtivo da peça plástica de acabamento interno veicular. Além disto, possui baixo custo, é de fácil obtenção no estado da Bahia e possibilita uma maior integração entre o agronegócio e a indústria automotiva, permitindo o desenvolvimento da região rural.

No entanto, foram encontradas dificuldades na utilização da fibra de sisal no processo de fabricação das peças plásticas, basicamente na cadeia produtiva da fibra de sisal e na indústria do reciclado.

Dentro desse contexto, algumas possibilidades de minimizar ou eliminar tais dificuldades foram encontradas por meio da capacitação da indústria do sisal e do reciclado, da promoção de sua sustentabilidade, do desenvolvimento tecnológico da cadeia produtiva do sisal e de responsabilidade social para com a comunidade.

O objetivo geral deste trabalho é abordar o sisal sob os seguintes aspectos:

1. Seu histórico;
2. Sua inserção na indústria e sua cadeia produtiva;
3. Sua reciclabilidade e seus impactos no meio ambiente, comparados aos de outras matérias primas;
4. O modo em que sua fibra pode ser utilizada na fabricação de peças plásticas de acabamento interno veicular, bem como o desempenho dessas peças aplicadas no veículo e o desempenho desse veículo comparado aos demais;
5. As dificuldades encontradas na utilização de sua fibra no segmento de peças plásticas de acabamento interno automotivas, propondo soluções factíveis.

Pretende-se demonstrar, através deste trabalho, que é possível obter a redução do custo das peças de acabamento interno, sem, contudo, interferir no seu desempenho, atendendo a uma tendência mundial de preservação do meio ambiente com a criação de produtos altamente recicláveis, reduzindo impactos e agressões à natureza.

O objetivo específico, no entanto, é verificar se a utilização da fibra de sisal pode atender satisfatoriamente a todos os requisitos tecnológicos e socioeconômicos de modo a possibilitar a fabricação de peças de acabamento interno de veículos em escala de produção em massa.

2 SISAL

Agave Sisalana Perrine ou sisal como é comumente conhecida, é uma planta originária da Península de Yucatã, México. Adapta-se bem ao clima tropical semi-árido e às regiões de clima quente com poucas chuvas e requer grande luminosidade. Justamente, por ser adaptada a regiões semi-áridas é altamente resistente a estiagens prolongadas (MEDINA, 1954).

No Brasil, o sisal começou a ser cultivado em 1903, na Paraíba. Nos dias atuais a exploração do sisal concentra-se no nordeste, nos estados da Paraíba, Bahia e Rio Grande do Norte devido às condições climáticas propícias.

A planta de sisal (Figura 1) apresenta as seguintes características: folhas rígidas, lisas, de cor verde e com ápice pontiagudo, com aproximadamente 10cm de largura e 1,5m de comprimento, as quais se desenvolvem em torno de um bulbo central (PROSSIGA, 2004).

Foto 1- EXEMPLAR DO AGAVE SISALANA (SISAL)

FONTE: Silva, 2008

O sisal, uma fibra extraída de folhas, apresenta estabilidade térmica limitada, já que as fibras vegetais são suscetíveis ao desenvolvimento de reações de degradação se expostas a altas temperaturas, muito embora sejam menos danificadas do que as fibras de carbono ou de vidro durante processos de mistura vigorosos. Além disso, como o teor de lignina e de celulose varia com a idade da planta, entre outros fatores, as fibras podem apresentar diferentes propriedades e diâmetro variável até em um mesmo lote.

É uma fibra nacional usada principalmente em cordoaria e artesanato, mas que pode ter seu valor agregado multiplicado se utilizada como reforço de compósitos poliméricos. É uma fibra lignocelulósica, ou seja, leve e atóxica, que apresenta alto módulo e resistência específica, custa aproximadamente dez vezes menos que a fibra de vidro e, ao contrário dessa fibra inorgânica, causa menos danos por abrasão a equipamentos e moldes.

2.1 O SISAL E A SUA CADEIA PRODUTIVA

O sisal é a principal fibra dura produzida no mundo, correspondendo a aproximadamente 70% da produção comercial de todas as fibras desse tipo. No Brasil, sua cultura concentra-se em áreas de pequenos produtores, com predomínio do trabalho familiar. Além de ser fonte de renda e emprego para muitos trabalhadores, o sisal fixa o homem no semi-árido nordestino, onde, não raro, é a única alternativa de cultivo com resultados econômicos satisfatórios.

Beneficiada ou industrializada, a fibra do sisal rende cerca de 80 milhões de dólares em divisas para o Brasil (SINDIFIBRAS -2008), além de gerar mais de meio milhão de empregos em sua cadeia de serviços, que começa com as atividades de manutenção das lavouras, colheita, desfibramento e beneficiamento da fibra e termina com a industrialização e a confecção de artesanatos.

Levando-se em consideração o grande número de trabalhadores envolvidos nos processos produtivo e industrial da fibra do sisal, é fundamental a busca de possibilidades que viabilizem a competição dessa fibra com os fios sintéticos, os principais responsáveis pelo baixo preço do sisal no mercado internacional. Portanto, a redução de custos de produção, o aproveitamento dos subprodutos do desfibramento e a maior eficiência no processo de descorticamento são pontos que devem ser enfocados em primeiro plano para tornar a cultura mais atrativa ao produtor rural.

No Nordeste brasileiro, a cultura do sisal é bastante simples em termos técnicos, visto que suas diversas fases se desenvolvem com o mínimo de tecnologia.

Na opinião de Silva (1994), a época mais adequada para o plantio do sisal no Nordeste é antes do início da estação chuvosa, aproximadamente de dezembro a fevereiro, a fim de que o enraizamento ocorra mais rapidamente.

Para o plantio de mudas (rebentos), o terreno deverá estar livre de plantas invasoras, o solo deve ser arado e a muda deve ser colocada em alinhamento com a fileira, na posição vertical, mantendo-a em profundidade adequada, de forma a enterrar parcialmente o bulbo, deixando a parte de inserção das folhas do colo fora da terra. Para oferecer maior sustentação, deve-se comprimir, com os pés, a terra à sua volta. Ainda, nesse período, deve-se fazer vigilância permanente da lavoura, uma vez que o vento ou a chuva pode provocar o tombamento ou mesmo o arranque dos rebentos.

A colheita da planta é realizada duas vezes ao ano, aproximadamente 36 meses após o plantio, sendo seu corte feito manualmente com foice ou faca. Após a colheita, a folha de sisal passa pelo processo de desfibramento (Foto 2), em que se elimina a polpa ou mucilagem que envolve a fibra da folha, mediante uma raspagem mecânica.

Foto 2 - PROCESSO DE DESFIBRAMENTO DO SISAL

NA CIDADE DE SANTA LUZ, BA

FONTE: Silva, 2008

Após o desfibramento, é feita a lavagem da fibra em tanques de água, onde esta deve ser imersa durante a noite, de 8 a 12 horas. Após a lavagem, as fibras são colocadas em varais feitos com fios de arame, para secarem ao sol de 8 a 10 horas. (Foto 3).

Foto 3 - SECAGEM DAS FIBRAS DE SISAL
NA CIDADE DE VALENTE, B

FONTE: Silva, 2008

Após a secagem, as fibras são submetidas ao batimento em máquinas bateadeiras, para remoção do pó e das fibras de pequeno comprimento, resultando em um produto limpo, brilhante e macio. As fibras são selecionadas, escovadas e classificadas, para então serem acondicionadas em fardos para o seu transporte até a indústria.

2.2 O HISTÓRICO DO SISAL NA INDÚSTRIA

Segundo Oashi (1999, cap.IV), os primeiros bulbilhos de sisal foram introduzidos na Bahia, em 1903, por Horácio Urpia Júnior nos municípios de Madre de Deus e Maragogipe, trazidos provavelmente da Flórida, através de uma firma americana. No entanto, as primeiras plantações só começaram a aparecer por volta

de 1930-31 e apenas em 1939 é que, no governo de Landolfo Alves, foram intensificadas as culturas por meio de campos de experimentação e produção de mudas. O interesse por essa planta se generalizou, passando da Paraíba e Bahia para outros Estados do Nordeste.

Em 1940, por iniciativa do engenheiro agrônomo Joaquim Rocha Medeiros, então Secretário da Agricultura do Estado da Bahia, dois campos experimentais foram criados para a cultura do sisal, um situado no município de Feira de Santana e outro no município de Nova Soure.

Somente com a substituição da rudimentar indústria de fios de caroá pelo plantio comercial do sisal, na década de 1940, foi que o sertão baiano reuniu condições efetivas de integração ao mercado estadual e teve possibilidade real de se expandir aos mercados nacional e internacional, o que ocorreu nas décadas de 1950 e 1960, na vigência dos projetos desenvolvimentistas do governo Juscelino Kubitscheck.

Em 1965, em virtude da penetração no mercado mundial das fibras sintéticas, com preços bem mais competitivos, o mercado produtor da fibra do sisal sofreu violento abalo devido à queda brusca da demanda e de preços, e em razão do fechamento de fábricas européias que usavam fibras de sisal como matéria-prima. Esses foram fatores determinantes na mudança do quadro de produção interna da atividade agavieira no Nordeste.

No início da década de 70, verificou-se uma elevação de preços da fibra do sisal no mercado externo, o que levou a uma ampliação de algumas áreas produtivas. Essa situação perdurou durante toda a década, fortalecida, ainda, pela implantação no país de várias indústrias de manufaturados de sisal, detentoras de tecnologias mais modernas e competitivas.

A partir da década de 80, a situação começou a se inverter, provocando um quadro de incertezas e de insegurança no setor de produção do sisal e de seus manufaturados. O preço das fibras teve uma queda acentuada, ocasionando novamente uma mudança no comportamento da economia sisaleira.

Por conta da queda de demanda das fibras duras naturais, que perdiam mercado em função das fibras sintéticas, a economia sisaleira do Nordeste entrou em crise, exigindo dos órgãos e setores por ela responsáveis soluções originais e

agressivas. Essas medidas eram urgentes por ser a atividade a principal absorvedora de grande contingente de mão-de-obra no setor primário e secundário e, sobretudo, por ser uma das poucas alternativas econômicas para as microrregiões do semi-árido.

Atualmente, a demanda por fibra natural vem aumentando, principalmente por parte dos países desenvolvidos, devido à preocupação com a preservação ambiental e o crescimento da preferência por produtos naturais.

Na Bahia, os municípios produtores de sisal mais importantes na atualidade são: Coité, Queimadas, Santa Luz, São Domingos, Valente, Jacobina, Ourolândia, Várzea nova, Barrocas e aqueles localizados na região de Piemonte da Chapada Diamantina.

Os principais importadores do sisal brasileiro são: os Estados Unidos - que compram a fibra já manufaturada, principalmente na forma de tapete, fato que agrega valor ao sisal, comparativamente às exportações da fibra *in natura* -, à China, ao México e a Portugal. A exportação para esses países correspondente a 86% do valor de toda a exportação brasileira de sisal. Dentre outros compradores em menor escala, podem ser citados os Países Baixos, a Espanha, Alemanha, França, Cingapura e o Chile.

Apesar da redução no consumo mundial de manufaturados de fibras de sisal devido à entrada das fibras sintéticas no mercado desde a década de 1970, o mercado, hoje, tende a permanecer estável no atual patamar, tendo em vista o interesse dos países desenvolvidos pela fibra natural.

A implantação das primeiras unidades fabris para a manufatura de fios e cordas agrícolas destinados à exportação ocorreu no início da década de 50. No entanto, somente a partir de 1957 é que o processo industrial veio a se tornar muito mais significativo.

O funcionamento da Fiação Brasileira de Sisal - FIBRASA incentivou a criação de outras indústrias de beneficiamento e de transformação, que passaram a contar também com o apoio e incentivos proporcionados pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - SUDENE. A implantação dessas indústrias processadoras de sisal beneficiado teve seu maior dinamismo a partir dos anos 60.

A fibra de sisal é industrializada e convertida em corda, barbante, tapetes, sacos, bolsas, chapéus, vassouras, bem como em peças de artesanato. Além de ser também matéria-prima na indústria de plásticos reforçados, pode ser utilizada na fabricação de pasta celulósica, empregada na confecção do papel kraft e de outros tipos de papéis finos (FAVARO et al*, 2006 apud MARTINES, 2001). Além dessas aplicações, a fibra de sisal pode ser empregada na indústria automotiva, de móveis e eletrodomésticos, de polpa para papel, de alimentação animal, de geotêxteis (para proteção de encostas, na agricultura e em revestimento de estradas), na mistura com polipropileno e na construção civil (em substituição à fibra de vidro), sem incluir seu uso em filtros, papel dielétrico, absorvente higiênico ou fraldas, entre outros produtos.

Há alguns anos, o sisal era usado quase que exclusivamente em cordoarias, destacando-se entre elas o fio agrícola Baler Twine.

* Favaro, S. L., M. S. Lopes, F. de Oliveira, E. Radovanovic .Preparação de compósitos de polietileno pós-consumo com fibras de sisal e estudo de suas propriedades físico-químicas e morfológicas Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Química, Av. Colombo, 5790, CBECIMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 15 a 19 de Novembro de 2006, Foz do Iguaçu, PR, Brasil <http://www.metallum.com.br/17cbecimat/resumos/17Cbecimat-212-002.pdf>

O Baler Twine (Foto 4) é utilizado na amarração de fardos de feno de cereais (alfafa, palha de aveia, trigo, centeio etc.) nos Estados Unidos, Canadá e Europa e, mais recentemente no Brasil.

Foto 4 - DETALHE DO BALER TWINE

FONTE: Foto de Orozimbo S. Carvalho, s.d.*

Estudos recentes demonstram que o sisal pode ser utilizado como reforço para polímeros comerciais, tais como o polietileno e a borracha natural (EMBRAPA, 1996 apud VARGHESE, 1994, p.01-13)

A indústria de construção civil também está aplicando os derivados da cultura do sisal. Os resíduos são utilizados para fazer telhas, tanques e paredes divisórias.

* <http://www.cnpa.embrapa.br/publicacoes/2006/SISPROD05.pdf>

2.3 USOS DO SISAL NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Fibras vegetais já foram largamente empregadas no passado na indústria automobilística, como foi o caso de compósitos de látex de borracha natural reforçado com fibra de coco para uso em estofamentos de automóveis. No entanto, a partir da década de 60 estes começaram a ser gradativamente substituídos pelas espumas de poliuretano (MARROQUIM, 1994).

Atualmente, as indústrias automotivas estão recuperando o interesse em fibras vegetais, devido às suas vantagens na substituição de fibras inorgânico-minerais, tal como a fibra de vidro, comumente utilizadas na indústria, na formulação de diferentes resinas plásticas e borrachas.

A previsão feita pelo Sindicato de Fibras do Estado da Bahia - SINDIFIBRAS é que, em 2010, existirão novas aplicações para os produtos do sisal, conforme percentuais apresentados na Tabela 1.

Estima-se que existe um grande mercado ainda a ser explorado para a utilização da fibra de sisal, que poderá chegar a 36% em 2010, ultrapassando a demanda por fios e cordas (32%).

Tabela 1 - PREVISÃO DE APLICAÇÕES PARA OS PRODUTOS DO SISAL EM 2010

PRODUTO	PERCENTUAIS
Fios e cordas	32
Mantas	5
Carpetes	11
Papel celulose	16
Novas aplicações	36

FONTE: Campbell, 2004.

As novas aplicações referem-se a utilizações na indústria automotiva. Empresas como a Ford, a Chrysler e a DLR Germany já estão utilizando a fibra de sisal para a confecção de forro do teto, coluna lateral, painel central, painel frontal, para-choque, calotas, painel das portas, bancos e assentos.

De acordo com Morassi (1994), várias indústrias fornecedoras de peças plásticas para as montadoras de automóveis, ônibus e caminhões já vêm utilizando fibras vegetais em suas formulações, dentre as quais se destacam fibras vegetais nas seguintes peças: revestimentos internos da cabina (teto, parede traseira e portas), apoio de cabeça e encosto de banco, para-sol externo, painel de instrumentos, bolsa de ferramentas, encapsulamento de cabina/motor e para-choque.

3 USO DA FIBRA DE SISAL COMO RECURSO NATURAL RENOVÁVEL

A busca de tecnologias ecologicamente corretas tem se tornado uma grande preocupação nos últimos anos. O novo paradigma do desenvolvimento econômico está voltado para propiciar a melhoria de vida das futuras gerações, incorporando em sua concepção modos de produção menos poluentes e impactantes. Sendo assim, a indústria automotiva dedica especial atenção ao tipo de insumo utilizado em seus processos produtivos. A idéia é utilizar matéria-prima reciclada e reciclável na produção de peças de acabamento interno dos veículos, buscando reduzir o impacto ambiental e facilitando o seu reaproveitamento.

A preservação do meio ambiente é hoje uma das grandes questões globais. Dessa tomada de consciência ambiental surgiu o conceito de desenvolvimento sustentável, que, na indústria automobilística vem associando a gestão ambiental à qualidade e à competitividade do automóvel. Hoje é certo que o futuro do automóvel e de sua indústria passa, necessariamente, pela capacidade de os fabricantes reduzirem e/ou compensarem seus efeitos danosos sobre o meio ambiente, desde a fabricação de materiais até a reciclagem de autopeças e de veículos em seu fim de vida (MEDINA, 1963).

A substituição de fibras sintéticas por fibras vegetais é uma possibilidade bastante importante, pelo fato de esta fibra provir de uma fonte renovável, biodegradável e de baixo custo e por provocar menor impacto ambiental (MATTOSO et al, 1996)

A utilização de fibras vegetais em produtos comerciais contribui para gerar riquezas e reduzir o impacto ambiental causado pela produção e descarte de bens de consumo já que são materiais abundantes e propiciam melhor aproveitamento do potencial agrícola brasileiro.

O sisal se destaca como uma alternativa ecologicamente correta: é uma planta resistente à aridez e ao sol intenso do sertão nordestino e, ao se decompor, torna-se um fertilizante natural.

O sisal é um recurso estratégico para a região Nordeste, por ser uma cultura renovável e adaptada às condições do semi-árido. Em virtude das condições adversas de clima e solo, este é, em algumas regiões, o único produto agrícola rentável passível de plantio. Agregar valor aos produtos manufaturados a partir do sisal contribui não só para o desenvolvimento científico e tecnológico da região, como também para a geração de renda para a população dos municípios produtores.

A fibra do sisal é extraída por meio de cooperativas de agricultores do município de Valente, sertão da Bahia, que colaboram com o desenvolvimento sustentável da região. Entre outras vantagens da fibra do sisal, aponta-se a facilidade de modificação superficial, característica das fibras vegetais, sua abundância no Brasil, facilidade de cultivo, origem em fonte renovável e boas propriedades como isolante térmico e acústico.

3.1 REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NA EXTRAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA

Quando a degradação ambiental causada pela produção industrial começou a apresentar graves consequências, repercutindo na opinião pública mundial, surgiram, na década de 60, vários movimentos ecológicos preocupados com os recursos naturais e a poluição e do meio ambiente.

As várias atividades industriais cujos processos produtivos e materiais acabam comprometendo o equilíbrio do meio ambiente, até começando a apresentar níveis preocupantes de degradação - tanto por serem poluentes como por utilizarem recursos naturais não-renováveis -, têm levado a sociedade a buscar soluções alternativas para este problema.

Nos últimos anos, algumas considerações têm sido feitas com relação aos problemas ambientais ocasionados pelos materiais sintéticos utilizados na fabricação das peças plásticas de acabamento interno de veículos. A busca de alternativas de substituição e/ou redução das matérias-primas derivadas do petróleo com, potencial de agredir o meio ambiente é principal argumento em favor das fibras naturais, fundamentado no fato de que elas são biodegradáveis, ao passo que as sintéticas não o são.

Logicamente, quanto menor o uso de materiais menor também será o impacto ambiental. Porém, as escolhas dos materiais devem ser feitas tomando-se por base o objetivo de minimizar os impactos ambientais, considerando-se, para tanto, os processos de produção e de transformação dos materiais, os sistemas de distribuição, o uso, a manutenção e a eliminação dos produtos.

Na fabricação de peças plásticas para acabamento interno de veículos, atualmente utilizam-se dois compósitos básicos: Compósitos de polipropileno (PP) + fibra de vidro e PP + (CaCO₂). A obtenção dessas matérias-primas ocorre em função de processos industriais, que inevitavelmente são uma preocupação mundial pelo fato de causarem grandes impactos ambientais.

Um material compósito é a combinação de dois ou mais materiais que têm propriedades não apresentadas pelos materiais componentes isoladamente. São constituídos de duas fases: a matriz e o elemento de reforço, e são desenvolvidos para otimizar os pontos fortes de cada uma das fases (BUDINSKI, 1996).

No último século, o desenvolvimento de polímeros foi impulsionado pelo crescimento da indústria do petróleo. Desde 1930 o petróleo tem sido a principal fonte de matéria-prima para a fabricação de produtos químicos orgânicos, a partir dos quais são fabricados plásticos, fibras, etc. (ILLSTON, 1994).

O polipropileno, principal componente desse compósito e considerado a matriz, é obtido através da polimerização do gás propileno oriundo de refinarias de petróleo. Ou seja, ele é obtido por meio de processos químicos transformadores de gases. O impacto gerado pela extração desse gás é notório. Por ser um processo químico, a emissão de gases provenientes desse processo para a atmosfera é alta, causando impacto no meio ambiente.

A produção da fibra de vidro envolve a fusão dos reagentes bórax, sílica volatilizada, caulim, dolomita e soda em pó, em geral na forma de óxidos e carbonatos. Essa fibra é inorgânico-mineral e constitui um dos principais materiais de reforço para matrizes poliméricas. Porém, ao ser utilizada nesse reforço, forma um novo produto que, após reciclado, pode não servir para ser reutilizado para a mesma aplicação, devendo então ser descartado.

Por sua vez, a obtenção da fibra de sisal acontece de forma muito simples. Como o sisal é uma planta adaptada às regiões semi-áridas, e sua plantação não

requer muitos recursos de tratamento da terra, ela é encontrada em abundância no estado da Bahia, atualmente o principal produtor brasileiro do produto.

Na colheita, as folhas são cortadas a cada seis meses durante toda vida útil da planta, que é de seis a sete anos. Ao final desse período é gerada uma haste (inflorescência), a flecha, onde surgem as sementes de uma nova planta.

A substituição da fibra de vidro por fibra de sisal traz grande redução do impacto ambiental ao se levar em conta a sua origem. O objetivo de se utilizar a fibra de sisal na fabricação de peças plásticas é maximizar a utilização de recursos renováveis, evitando-se processos agressivos que utilizem muita energia e cujos produtos não sejam recicláveis ou biodegradáveis.

Joshi et al. (2003) compararam as fibras naturais com as fibras de vidro sob diversos aspectos, estudando a viabilidade da substituição das fibras de vidro pelas fibras naturais por estas apresentarem uma alternativa ambientalmente mais favorável.

Sendo assim, as vantagens de se utilizar o sisal iniciam pelo fato de este ser um material que a própria natureza proporciona, e praticamente pronto para uso, sem a necessidade de maiores transformações. Essa fibra é proveniente de fonte renovável o que, a princípio, implica uma fonte inesgotável; é um produto biodegradável, característica crucial para componentes que, após esgotarem a sua vida útil devem atualmente ser descartados. Se constituídas por fibras de sisal, as peças podem ser facilmente convertidas em uma nova peça ao serem recicladas, inclusive para o mesmo propósito que a original.

Do ponto de vista ambiental, quando utilizadas como reforço em matrizes poliméricas, as fibras vegetais representam um menor impacto à saúde humana e ao meio ambiente, sendo, portanto, uma grande vantagem em comparação ao reforço com fibras sintéticas.

3.2 REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL NO DESCARTE DA PEÇA ACABADA

É preciso considerar o custo ambiental da disposição final de produtos que utilizam fibras sintéticas quando comparado ao de materiais que utilizam fibras vegetais como um de seus componentes e pesar os benefícios sociais que o uso desses materiais acarreta. A utilização de fibras vegetais reduz o impacto ambiental e facilita a reciclagem e o reaproveitamento de resíduos.

As fabricações de peças de acabamento interno de veículos envolvem materiais pertencentes à grande família dos polímeros derivado do petróleo e, por esse motivo, resultam em grande poder cumulativo na biosfera, particularmente devido à sua baixa biodegradabilidade.

Segundo Moraes et al. (1995), o agravamento da questão dos resíduos está diretamente relacionado a dois fatores: o aumento do consumo em geral e a criação de materiais artificiais. O primeiro fator está associado ao crescimento populacional e ao aumento da geração de lixo per capita, em decorrência dos padrões de consumo da atualidade. O segundo diz respeito à criação de novos materiais com estruturas complexas, normalmente não-biodegradáveis, que apresentam um alto potencial de agressão ao homem e ao meio ambiente.

As peças de acabamento interno dos veículos, compostas de PP + fibra de vidro e PP + CaCO₂, ao serem descartadas, ou seja, após sua vida útil, passam pelo processo de reciclagem, porém, nesse processo, a matéria-prima secundária obtida perde suas especificações técnicas. Desse modo, sua reutilização como PP virgem para a produção de uma nova peça não é possível, sendo necessária utilização de matéria-prima primária.

Ao fim da vida do veículo é feito o seu desmantelamento em centros de abates licenciados, onde é realizada a recepção e o tratamento de reciclagem de veículos em fim de vida - VFV, o qual engloba a remoção e a separação dos seus materiais/componentes e posterior envio para reutilização, valorização ou eliminação ambientalmente adequada. O desmantelamento ocorreria de forma a não danificar as peças, o que nem sempre acontece. É realizada uma separação por tipo de plástico, na qual os plásticos que não foram contaminados são triturados para que o granulado

resultante possa ser usado sozinho ou conjuntamente com matéria-prima e/ou aditivos no fabrico de novos produtos.

Atualmente pequena parte (menos de 30% aproximadamente) dos materiais automotivos reciclados (plásticos, vidros, aço, pneus, etc.) pode ser reutilizada na própria produção automobilística, e se ocorrer, sua utilização será como matéria-prima secundária e, mesmo assim, em funções menos nobres do que as iniciais.

A Figura 1, criada nos computadores de design da Ford Motor Company (FMC) do Brasil, ilustra as proporções de aço, chumbo e plástico nas partes de um automóvel.

Figura 1 - PARTES DO CARRO E SEUS RESPECTIVOS MATERIAIS

FONTE: FMC do Brasil, 2006

Após o desmantelamento de um veículo, as peças que não são utilizadas devido à contaminação por resíduos líquidos, como o combustível, óleo lubrificante, fluídos de freio e embreagem, baterias e gás CFC do ar condicionado serão depositadas em lixos, como resíduos descartáveis, entupindo e contaminando os aterros, podendo até ser descartadas aleatoriamente, causando sérios problemas

ambientais e de saúde pública, como propagação de doenças e contaminação de solo, ar e água.

A opção de utilizar compostos 100% reciclados minimiza os impactos ao meio ambiente já que o descarte das peças compostas de PP+ fibra de sisal não é necessário. A peça torna-se 100% reciclável e reutilizável na produção de peça plástica similar de acabamento interno, com as mesmas características da antiga. Isso diminui a necessidade de utilização do PP virgem, e, conseqüentemente, o emprego de matéria prima proveniente de atividades industriais cujos processos produtivos acabam comprometendo o equilíbrio do meio ambiente, através das emissões tóxicas altamente nocivas ao homem.

3.3 A INDÚSTRIA DO RECICLADO

Em termos industriais, reciclagem é o processo de produção de matérias-primas secundárias a partir de rejeitos industriais (resíduos) e de produtos em fim de vida (sucata) para reintroduzi-los no processo produtivo.

A maior vantagem da reciclagem é permitir fechar o ciclo de vida dos materiais, fazendo-os retornar a novos produtos como matéria-prima secundária, com grande economia de energia e de recursos naturais primários (MEDINA, 2005).

O ciclo global de produção de materiais tem como ponto de partida o planeta Terra, e tão somente ele. Tudo começa com o homem realizando prospecção e mineração, iniciando o processo. Nessa etapa são retiradas as matérias-primas brutas tais como: carvão, madeira, minérios, petróleo, argilas etc. A extração, refino e processamento dão origem às matérias-primas básicas como: metais, papel, fibras, cimento e produtos químicos que, por sua vez, sofrem transformação e processamento para dar lugar à matéria-prima industrial: ligas, tecidos, cerâmicas, plásticos etc.

Com essas novas matérias-primas fabricam-se ou montam-se os bens de consumo - carros, TVs, prédios, pontes etc. - que são utilizados de acordo com suas funções e seu desempenho. Cessadas suas funções, o bem de consumo vira sucata

ou resíduo e pode então tomar dois caminhos: o primeiro é a reciclagem, em que o material retorna à etapa da matéria-prima básica; o segundo é ser descartado e, mediante processos de degradação, retornar à Terra. E assim se completa o ciclo global.

A Figura 2 ilustra as várias etapas do processo da reciclagem dos plásticos.

Figura 2 - PROCESSO DE RECICLAGEM DOS PLÁSTICOS

FONTE: Abmaco

O lixo brasileiro contém uma grande quantidade de plásticos, variando conforme a região do país, e consiste de materiais que ocupam um considerável espaço no meio ambiente. Os materiais plásticos são cada vez mais utilizados no cotidiano, e, em geral, sua degradação é extremamente demorada, causando danos ao meio ambiente. Por isso, sua reciclagem é uma alternativa bastante necessária para atenuar o impacto ambiental causado pela lenta decomposição natural de seus compostos.

A reciclagem desses materiais colabora para diminuir a poluição do solo, da água e do ar e, além disso, melhora a qualidade de vida da população, prolonga a vida útil de aterros, gera empregos para a população não-qualificada e estimula a concorrência, uma vez que produtos gerados a partir dos reciclados são comercializados em paralelo àqueles gerados a partir de matérias-primas virgens,

contribuindo para a valorização da limpeza pública e para formação de uma consciência ecológica.

As formas de reciclagem mais utilizadas para os materiais derivados da indústria automobilística são: energética, química e mecânica. A reutilização industrial desses materiais é feita nessa ou em outras indústrias.

Reciclagem energética é a recuperação da energia contida nos plásticos através de processos térmicos. Distingue-se da incineração por utilizar os resíduos plásticos como combustíveis na geração de energia elétrica. A reciclagem química reprocessa plásticos, transformando-os em petroquímicos básicos que servem como matéria-prima em refinarias ou centrais petroquímicas. Seu objetivo é a recuperação dos componentes químicos individuais para reutilizá-los como produtos químicos ou na produção de novos plásticos. A reciclagem mecânica consiste na conversão dos descartes plásticos pós-industriais ou pós-consumo em grânulos que podem ser reutilizados na produção de outros produtos, como, por exemplo, componentes de automóveis.

A crescente complexidade dos plásticos de engenharia, resultado de sua evolução tecnológica, exigiu um esforço de pesquisa redobrado para o desenvolvimento de processos de reciclagem que não degradassem a qualidade do material recuperado.

Na indústria automobilística, o principal método de reprocessamento de componentes plásticos inclui a desmontagem e separação das peças e a trituração do material separado. Hoje, todos os plásticos utilizados em automóveis são recicláveis em termos técnicos, mas exige-se uma marcação específica para os plásticos, dada sua grande diversidade, e envolve a separação de elementos nem sempre compatíveis ou fáceis de separar.

A Diretiva Ambiental Européia (2000/53/CE) visa garantir a recuperação/reciclagem de respectivamente, 95% e 85% até o ano 2015, o que corresponderá a uma diminuição do volume de resíduos a eliminar dos 25% atuais para 5%.

Para alcançar o objetivo de recuperação/reciclagem de 95%, em massa, de todos os VFVs no ano 2015, será necessário um grande esforço por parte dos produtores de veículos e de todos quantos estejam envolvidos na indústria.

Isso envolverá uma série de ações para tornar a recuperação/reciclagem de 95% de todos os veículos, dentre elas:

- i. Inovar e ter sempre em mente a reciclagem na fase de concepção de veículos novos;
- ii. Rotular individualmente cada componente de forma a poder ser facilmente identificado;
- iii. Simplificar o desmantelamento dos componentes do veículo, reduzindo o número de materiais compostos utilizados ou encontrando uma rede de reciclagem para esses componentes;
- iv. Utilizar materiais recicláveis.

Isso levará a uma indústria completamente nova, dotada de centros de tratamento de VFVs, de redes de reciclagem, de desmanteladoras e retalhadoras equipadas com as mais avançadas tecnologias.

3.4 O DESAFIO DA RECICLAGEM DE PLÁSTICOS AUTOMOTIVOS

Os plásticos são materiais novos, surgidos em fins dos anos 60, que inicialmente substituíram a madeira e outros materiais naturais de acabamento. Em apenas duas décadas avançaram tecnicamente adquirindo resistência térmica e mecânica semelhante a de alguns metais. Foram chamados de plásticos de engenharia, e passaram das funções acessórias para as semi-estruturais, em seguida para as estruturais. Atualmente podem ser aplicados como componentes mecânicos. Os plásticos fizeram parte das soluções técnicas para redução do consumo de energia, de combustíveis e de matérias primas, em geral em nome da preservação dos recursos naturais não-renováveis. Entretanto, passaram a ser uma grande preocupação ambiental por sua baixa reciclabilidade e consequente aumento significativo do volume de plásticos descartados provenientes de VFVs. As pesquisas e desenvolvimentos, tanto em materiais plásticos como em seus processos de

fabricação e de reciclagem, conseguiram, em parte, até o momento, sobrepujar esse desafio.

Ao fim de sua vida útil, os plásticos têm, em termos técnicos, um vasto leque de opções de reciclagem, porém, na prática, as soluções no campo industrial são bem limitadas e complexas.

Para se conseguir o melhor aproveitamento possível do lixo plástico deve-se equilibrar o uso de diferentes técnicas de reciclagem, levando-se em conta a viabilidade econômica de cada uma delas, o que resultaria na melhor opção tecnicamente viável para o meio ambiente. Deve-se também fazer um balanço energético do despejo e da reciclagem dos plásticos para verificar se a reciclagem é, realmente, a melhor solução para o ecossistema em cada caso.

4 PROCESSO PRODUTIVO DE PEÇA PLÁSTICA DE ACABAMENTO INTERNO DE VEÍCULO

Métodos de fabricação são geralmente determinados a partir das propriedades reológicas do polímero e a primeira consideração a ser feita é se o material é termoplástico ou termofixo. Outras considerações importantes dizem respeito à temperatura de amolecimento, à estabilidade, ao tamanho e à forma do produto final (BILLMEYER, 1970).

Os métodos mais utilizados para a fabricação de compósitos poliméricos termoplásticos, materiais objeto de estudo neste trabalho, são: moldagem a vácuo, termoformação, moldagem por extrusão e moldagem por injeção. Este trabalho restringe-se à moldagem por injeção.

Torna-se necessário definir a matéria prima do processo de injeção, o polipropileno associado à fibra de vidro, e ao talco industrial, neste trabalho associado à fibra de sisal .

Polipropileno – PP

O PP é um termoplástico poliolefínico maleável à temperatura ambiente e significativamente resistente (OTA, 2004). Esse material pode ser facilmente moldado por injeção, por extrusão, termoformagem ou rotomoldagem, entre outros métodos, demonstrando que o seu processamento é extremamente simples e fácil em vários tipos de moldagem.

Segundo Ota (2004), o PP apresenta baixo custo e, quando reforçado com fibras de vidro (PRF), é frequentemente utilizado como compósito. Em peças injetadas, uma maior resistência à tração e ao impacto dos compósitos é uma característica crucial para diferentes aplicações dos mesmos.

Fibra de Vidro – FV

Fibras de vidro são facilmente produzidas por aquecimento do vidro e por moldagem de forças gravitacionais a partir de um mandril de platina (MATTHEWS; RAWLINGS, 1994).

Existem muitos grupos de vidros como, por exemplo, os de sílica, de oxinitrito e o de fosfato, porém o de sílica é o mais importante para uso em compósitos (MATTHEWS; RAWLINGS, 1994). As fibras de vidro curtas do tipo E (*E-glass*), obtidas a partir de uma mistura de óxidos de Si, Al, B, Ca e Mg (borossilicato de alumina e cálcio), são normalmente usadas como reforços para termoplásticos devido ao seu baixo custo, se comparadas às fibras de vidro com aramida e carbono (WAMBUA; IIVENS; VERPOEST, 2003) e resultam na melhoria das propriedades dos materiais, como resistência ao impacto e rigidez (LARENA et al, 1992).

Compósitos de polímeros reforçados com fibras curtas são muito atrativos devido à sua facilidade de fabricação, economia e propriedades mecânicas superiores (OTA, 2004 apud FU et al, 2000).

Fabricação de peças plásticas por injeção

O processo de injeção é usado para produzir peças idênticas a partir de um molde. Devido à sua alta viscosidade, o fundido não pode ser despejado no molde, isto é, o fundido deve ser injetado dentro no molde por aplicação de uma pressão. Uma vez que o fundido é injetado no molde, inicia-se o processo de resfriamento, no qual uma quantidade adicional de fundido deve ser injetada no molde para compensar a contração durante a solidificação e para atingir uma reprodução mais precisa (TADMOR; GOGOS, 1979).

Esses autores também explicam que a função da unidade de injeção é fundir o polímero e injetá-lo dentro do molde ao passo que a função da unidade de fixação é sustentar o molde, abrir, fechar automaticamente e retirar o produto final. A unidade de injeção é basicamente formada por roscas que se movimentam em rotação e na direção axial: quando as roscas se movimentam em rotação, sua função é fundir e bombear o polímero, quando se movimentam na direção axial, a função é injetar dentro do molde. A rosca é geralmente rotacionada por um motor hidráulico e seu movimento axial é executado e controlado também por um sistema hidráulico.

Muitos compósitos são moldados pelo processo de moldagem por injeção. O polímero é pré-aquecido numa câmara tipo cilindro a uma temperatura na qual irá fluir e então é forçado para a cavidade de um molde frio e fechado através de uma alta pressão hidráulica. As temperaturas de injeção são mais altas em relação às usadas para processo de compressão, acima de 250°C para muitos materiais poliméricos. As

pressões aplicadas são entre 690 e 2070 bars e tempos de ciclo de 10 a 30 segundos são os mais comuns. O método tem sido usado não apenas para pequenas peças simples, como também para grandes peças, como caixas de televisores, que são moldadas com sucesso (BILLMEYER, 1970).

Foto 5 - MÁQUINA INJETORA

FONTE: Catálogo Achiles, 2008

Na moldagem por injeção, existem três fases distintas durante o preenchimento do molde:

- 1) Fase de preenchimento;
- 2) Fase de pressurização, e
- 3) Fase de compensação.

Quando a pressão de injeção é aumentada, o volume específico do fundido aumenta e o mesmo acontece quando a temperatura é aumentada devido à diminuição da viscosidade.

Durante o preenchimento do molde, o fundido sai do bico de injeção, percorre os canais de injeção, os canais de alimentação, a distribuição e, por último, a cavidade do molde. O fluxo da parte frontal assemelha-se a um perfil parabólico. Forma-se uma película congelada, a parte frontal sofre pequenas taxas de cisalhamento e a película não possui orientações altas.

A fase de pressurização é similar à fase de preenchimento, diferindo apenas na taxa de cisalhamento. Durante a fase de compensação ou recalque, o material é

mantido sob uma pressão hidrostática com a finalidade de apenas suprir o encolhimento.

As principais variáveis do processo que afetam as propriedades do moldado, especialmente as propriedades mecânicas são:

- (1) Temperatura do molde;
- (2) Temperatura do fundido;
- (3) Tempo de enchimento do molde (velocidade de injeção), e
- (4) Geometria do molde.

Como na indústria automotiva, a qualidade do produto é um fator decisivo, essas variáveis são consideradas importantes para evitar quaisquer ocorrências de falhas e, para evitá-las, é necessário o controle dos seguintes itens:

- (1) Temperatura do polímero;
- (2) Pressões e velocidades;
- (3) Ciclo de moldagem;
- (4) Plastificação;
- (5) Temperatura do óleo no circuito hidráulico;
- (6) Temperatura de refrigeração (máquina e molde);
- (7) Taxa de circulação de refrigeração (molde), e
- (8) Temperaturas dos grânulos quando entram no funil de alimentação.

O ciclo de moldagem por injeção pode ser dividido em várias fases, que se sobrepõem parcialmente como:

- (1) Fechamento do molde;
- (2) Avanço da unidade de injeção;
- (3) Injeção;
- (4) Pressão de recalque;
- (5) Recuo da unidade de injeção;
- (6) Plastificação;
- (7) Tempo real de refrigeração, e
- (8) Abertura e ejeção.

O equipamento de moldagem por injeção consiste de duas partes:

- (1) Unidade de injeção, e
- (2) Unidade de fechamento

Durante o processamento de polímeros, a moldagem por injeção tem afetado drasticamente o comprimento das fibras. Por exemplo, após a injeção de compósito de polipropileno com 28 % em peso de fibras de vidro, através de uma ferramenta circular de 3mm de diâmetro, o comprimento médio reduziu para 0.5mm, embora tenham sido encontradas fibras com 2mm de comprimento (MATTHEWS; RAWLINGS, 1994).

Algumas peças produzidas a partir da utilização do compósito PP/FV são mostradas nas Fotos 6 e 7, a seguir:

Foto 6 - PAINEL DE INSTRUMENTOS E SEUS SUBCOMPONENTES EM PP/FV

FONTE: Websitehi Supplier,S.D.

Foto 7 - PAINEL DE PORTAS DE UM VEÍCULO

FONTE: Website Made in China, s.d.

4.1 USO DA FIBRA DE SISAL NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS DE ACABAMENTO INTERNO DE VEÍCULOS

De acordo com Favaro et al (2006) apud Bertin (2002), uma grande quantidade de polímeros decorre do desenvolvimento de novos processos de polimerização. A reciclagem é uma possibilidade de destino para esses materiais. Entretanto, para esse fim os materiais reciclados devem ter propriedades finais específicas (FAVARO et al, 2006 apud PIVA, 2004). Uma possibilidade ecologicamente correta para modificar algumas das propriedades dos polímeros é a utilização de fibras naturais na preparação de materiais compósitos, pois além das vantagens que as fibras vegetais apresentam em relação às fibras sintéticas (baixo custo, fontes renováveis, baixa abrasividade), seu uso é também promissor devido ao desempenho mecânico obtido por compósitos em relação aos obtidos com fibras sintéticas como, por exemplo, as de vidro (FAVARO et al, 2006 apud WOLLERDORFER, BADER, 1998).

Muitas fibras naturais, como as de celulose, madeira, juta, kenaf, abacaxi, coco e sisal, têm sido utilizadas como reforço em materiais compósitos. O sisal é uma das fibras naturais mais utilizadas mundialmente, sendo o Brasil um dos maiores produtores. O sisal tem apresentado uma série de vantagens que já estão viabilizando a sua aplicação em várias indústrias do ramo automobilístico e da construção civil no Brasil.

Devido natureza de seus constituintes, as fibras vegetais não se fundem ou amolecem, fato que impossibilita o seu processamento pelas técnicas de preparação utilizadas para os termoplásticos convencionais. No entanto, podem resistir a temperaturas de até 200°C, sem perda significativa de suas principais propriedades, características que as tornam bastantes atraentes para a utilização como fibras de reforço em compósitos.

A utilização de fibras de sisal em materiais compósitos cuja matriz utiliza polímeros como o polietileno e o polipropileno poderá lhes propiciar um ganho em seu valor agregado, pois possibilitará seu uso na fabricação de produtos finais que necessitem de plásticos com desempenho mecânico diferenciado.

Preparação da fibra: mercerização e acetilação da fibra de sisal

Após o processo de obtenção da fibra, a mesma é secada, levada e submetida a processos químicos de lavagem para retirada de fungos. Em seguida é cortada em fibras mais curtas, que são as fibras interessantes para o processo de adição ao polipropileno reciclado (Figura 3).

Figura 3- PROCESSO DE OBTENÇÃO DA FIBRA DE SISAL, DESDE O PLANTIO

FONTE: Ford Motor Company, 2009

As fibras lavadas são tratadas com solução de hidróxido de sódio - NaOH nas concentrações de 5% e 10% a temperaturas ambiente, por 3 horas. Após o tratamento alcalino, as fibras são lavadas em água corrente até atingirem um pH próximo de 7 para então serem submetidas à secagem em estufa a 100°C.

Após serem submetidas às etapas de lavagem e mercerização, as amostras das fibras de sisal são imersas em ácido acético glacial por 1 hora à temperatura ambiente. Em seguida são filtradas e imersas por 5 minutos em anidrido acético 97% levemente acidificado com ácido sulfúrico, sendo posteriormente filtradas, lavadas com água até atingirem um pH próximo de 7 e secas em estufa até obter-se massa constante (FAVARO et al, 2006).

Após o tratamento da fibra, esta é inserida numa extrusora, ilustrada na Figura 4.

Figura 3 - MÁQUINA EXTRUSORA E PARTES INTEGRANTES

FONTE: Website Web artigos

O compósito produzido tem em sua composição 50% de Polipropileno (PP) reciclado + 20% PP virgem + 30% Fibras de Sisal (Figura 4).

Figura 4 - PROCESSO DE EXTRUSÃO PARA OBTENÇÃO DO COMPÓSITO PP/FS

FONTE: Ford Motor Company, 2009

As peças obtidas a partir do compósito PP reciclado/FS superam as exigências técnicas e legais de reciclabilidade, pois são formadas por material já reciclado (PP reciclado) e fibra de sisal, recurso natural renovável, fazendo com que a peça possa ser reciclada outras vezes para ser reutilizada para o mesmo fim. Também apresenta

potencial de redução de peso e custo, conforme sua aplicação (entrevista pessoal)¹. A figura 5, ilustra a matéria prima, à esquerda, PP-FS e o produto final (à direita).

Figura 5 - MATÉRIA PRIMA (COMPÓSITO PP/FS), E DETALHE EM ZOOM DA PEÇA FINAL (COLUNA D) INJETADA EM PP/FS

FONTE: Ford Motor Company, .2009.

4.2 CUSTOS DA UTILIZAÇÃO DO COMPÓSITO PP + FIBRA DE SISAL

O custo de fabricação do compósito PP/FS, comparado ao custo para a fabricação do compósito PP/FV, é praticamente o mesmo, visto que não há alterações em maquinário ou em processo tecnológico para adequação à fibra de sisal. O mesmo tipo de extrusora é usado em ambos os processos.

Depois de o compósito PP/FS estar pronto, a utilização na injetora ocorre da mesma maneira que para o compósito PP/FV. Inclusive, a aparência dos dois compósitos é muito semelhante (figura 6). A diferença de aparência será visível apenas quando a peça estiver pronta.

¹ Entrevista com Irineu Ricardo Muneratto, gerente de desenvolvimento de produtos da FMC do Brasil, durante da Society of Automotive Engineering - SAE no Simpósio Novas Tecnologias na Indústria Automobilística, São Paulo, abril de 2009.

Figura 6 - FIGURA COMPARATIVA DOS DOIS COMPÓSITOS PP/FS E PP/FV
(respectivamente a e b)

FONTE: FMC do Brasil, 2009

Sendo assim, a diferença no custo de fabricação de uma peça plástica para acabamento interno de veículos será perceptível somente na cadeia produtiva do sisal. A indústria do sisal brasileira ainda não está totalmente preparada para fornecer essa fibra para a indústria de polímeros, visto que precisa de reforços tecnológicos. A produção do sisal encontra-se voltada basicamente para o artesanato, para fios e cordas de uso agrícola e outros artefatos mais simples. Há necessidade, por exemplo, de instalação de unidades de merceirização e acetilação nas indústrias de sisal, o que implicaria aquisição de maquinário apropriado, contratação de mão-de-obra e treinamento da mesma. Essa preparação tecnológica resultaria no encarecimento do produto PP/FS em até duas vezes em comparação com o produto PP/FV.

4.3 DESEMPENHOS DA PEÇA PLÁSTICA DE ACABAMENTO INTERNO DE VEÍCULO FABRICADO COM FIBRA DE SISAL

A Figura 7 ilustra o uso do compósito PP/FS em painéis de instrumentos, painéis de portas e consoles.

Figura 7 - PAINEL DE INSTRUMENTOS, CONSOLE CENTRAL E PAINEL DE PORTAS, INJETADOS EM PP/FS

FONTE: Ford Motor Company, 2009

Quanto à aparência, textura, odor e resistência, nenhuma peça fabricada a partir do compósito PP/FS apresentou inferioridade em relação às peças tradicionalmente fabricadas com PP/FV.

4.4 DESEMPENHO DO VEÍCULO

Observa-se uma melhoria no consumo de combustível quando se reduz não somente o peso de uma divisória interior do plástico de um único corpo. É necessário fazer um esforço de se reduzir uma boa quantidade de peças plásticas interiores da carroceria para se atingir um desempenho melhor da economia de combustível,

associada a outras melhorias. Partes, tais como console, porta-pacote, painéis da porta, painéis de instrumento, têm uma contribuição significativa no peso total do veículo, contribuindo com a melhoria no desempenho da aerodinâmica e no consumo de combustível. Utilizando-se compósitos de PP/FS nas peças plásticas de acabamento interno do veículo pode-se reduzir em torno de 9 kg por veículo, ou seja, cerca de 900ton por 100000 veículos produzidos (Entrevista pessoal²).

De acordo com o *Bosch Automotive Handbook* (2007), há algumas características específicas a que todas as peças de acabamento interno do veículo devem atender, como se segue

Desenho da carroceria

Os seguintes requisitos técnicos precisam ser atendidos, tanto para o desenho da carroceria interno e externo:

- I. Funções mecânicas (redução de janelas laterais, abertura das capas, tampa do tronco e deslizamento do teto solar, posições das lâmpadas);
- II. Facilidade de ser manufaturado e facilidade do reparo (larguras de abertura, conjunto da carroçaria, forma da janela, trilhos protetores do molde e linhas da característica da pintura);
- III. Segurança (posição e forma dos para-choques, não devendo possuir nenhuma borda afiada ou de pontos);
- IV. Aerodinâmica (forças aerodinâmicas afetam o desempenho, o consumo de combustível e as emissões, assim como a dinâmica do veículo/estabilidade direcional, ruído do vento, adesão da sujeira aos painéis exteriores do corpo, apreciação da condução *open-topped* (Cabine removível), ventilação da cabina, função do limpador de para-brisa, refrigeração dos líquidos (Figura 9);
- V. Sistema ótico (a distorção visual causada pelo tipo e pelo declive da janela, brilha devido à reflexão);
- VI. Exigências legais (posição e tamanho das lâmpadas, do espelho retrovisor, das placas dos veículos);

² Entrevista com Irineu Ricardo Muneratto, gerente de desenvolvimento de produtos da FMC do Brasil, durante da Society of Automotive Engineering - SAE no Simpósio Novas Tecnologias na Indústria Automobilística, São Paulo, abril de 2009

VII. Projeto e disposição dos controles (posições, formas e contornos de superfície); visibilidade da extremidade do veículo (estacionamento).

Figura 8 - EFEITOS AERODINÂMICOS NAS OPERAÇÕES E CARACTERÍSTICAS DO VEÍCULO
CONSUMO DE COMBUSTÍVEL COMO FOCO DE TRABALHO

FONTE: Bosch, 2007

Idealmente, a otimização aerodinâmica dos veículos ocorre concomitantemente à criação de modelos de projeto para reduzir o número de peças auxiliares extra e de seus efeitos secundários negativos associados (custo, peso). As te indicações gerais a respeito da eficácia das peças auxiliares são dificilmente possíveis de serem medidas, tendo em vista que são dependentes do ponto de partida representado pelo veículo básico; não obstante, alguns exemplos podem ser mencionados (Tabela 2).

Tabela 2 - EFEITO DO COEFICIENTE DE ARRASTO AERODINÂMICO E A MASSA DO VEÍCULO NO DESEMPENHO E NO CONSUMO DE COMBUSTÍVEL, NUM CARRO DE MÉDIO PORTE

Table 3. Effect of aerodynamic drag coefficient and vehicle mass on performance and fuel consumption as illustrated by a mid-range car					
Difference c_w	—	Basis	+0.04	0	+0.04
Difference mass	kg	Basis	0	+100	+100
Weight, ready to drive	kg	1,465	1,465	1,565	1,565
Flywheel mass for NEDC	kg	1,590	1,590	1,700	1,700
c_w/A	1/m ²	0.26/2.08	0.30/2.08	0.26/2.08	0.30/2.08
U_{max}	km/h	224	215	223	214
Acceleration					
0...100 km/h	s	10.1	10.1	10.5	10.5
60...120 km/h	s	13.3	13.5	14.1	14.3
(AG KD/ VG)	Gear	5th	5th	5th	5th
Climbing capacity at 120 km/h	%	12.2	11.8	11.4	11.1
	Gear	5th	5th	5th	5th
Fuel consumption as per		EU4	EU4	EU4	EU4
Urban cycle	l/100 km	8.6	8.6	8.8	8.8
Highway driving cycle (EUDC)	l/100 km	5.1	5.2	5.2	5.4
Total (NEDC)	l/100 km	6.4	6.5	6.5	6.7
CO ₂ total	g/100 km	169	172	172	177
Fuel consumption with constant driving					
90 km/h	l/100 km	4.6	4.9	4.7	4.9
120 km/h	l/100 km	6.0	6.4	6.1	6.5
150 km/h	l/100 km	7.2	7.8	7.3	7.9
180 km/h	l/100 km	9.1	9.9	9.2	10.0
210 km/h	l/100 km	12.3	13.8	12.4	13.9

FONTE: Bosch, 2007, p. 924

O efeito de se mudar o coeficiente de arrasto e a massa do veículo é ilustrado pelo exemplo de um carro de médio porte (Mercedes-Benz C220 CDI) na Tabela 3.

O aumento exponencial no efeito do arrasto aerodinâmico com velocidade crescente é demonstrado claramente. É igualmente evidente que as mudanças no arrasto aerodinâmico têm somente um efeito mínimo em resultados do Novo Ciclo Europeu de Condução – NEDC. Isso decorre da baixa velocidade média de 33.4 km/h usadas para os testes. Não obstante, uma mudança no coeficiente de atrito - c_w na ordem de -0.001 gera uma redução idêntica no consumo de combustível, isso porque

uma redução em massa de 2 a 3 kg , sob circunstâncias da NEDC), é equivalente a 40 kg.

O uso de peças plásticas de acabamento interno de veículos construídas a partir de compósitos de PP+FS em lugar das originais de PP+CaCO₂ ou PP+FV, em sua totalidade, permite uma redução na ordem de 9 kg em um veículo, e, considerando a produção anual de aproximadamente, 2710 milhões de veículos no Brasil, pode-se obter:

$$2710000 \text{ veículos} = 24390 \text{ ton de peso reduzido}$$

Comparando-se esses dados com os de um veículo de médio porte, cujo consumo de combustível a coeficiente de arrasto "base", pode-se obter:

Tabela 3 - COMPARAÇÃO DE CONSUMO DE COMBUSTÍVEL ENTRE VEÍCULOS COM PEÇAS A PARTIR DE PP+FV OU PP+CaCO₂ E VEÍCULOS COM PEÇAS A PARTIR DE PP+FS

Consumo de combustível em direção constante		Veículo 1565kg (peso normal)	Veículo 1556kg (peso reduzido)
90 km/h	litros / 100km	4,6 litros	4,5 litros (aprox.)

A partir desse cálculo, baseando-se na quantidade anual de veículos produzidos no Brasil e assumindo que todos os veículos fossem fabricados com o mesmo peso e utilizando peças a partir de compósitos de PP+FS, pode-se obter: 2710000 veículos x 0,1 litro por veículo = 271000litros de combustível economizados anualmente.

5 DIFICULDADES NA UTILIZAÇÃO DA FIBRA DE SISAL NA FABRICAÇÃO DE PEÇAS PLÁSTICAS DE ACABAMENTO INTERNO DE VEÍCULO

A cadeia de serviços da atividade sisaleira abrange desde os trabalhos de manutenção até a extração e o processamento da fibra para o beneficiamento, as atividades de industrialização de diversos produtos e o uso para fins artesanais. Isso pode trazer diversos benefícios aos municípios localizados no semi-árido nordestino, nos aspectos econômico, social ou ambiental: contribuindo para a desconcentração do Produto Interno Bruto - PIB, pelo significativo impacto que pode gerar na economia local; gerando divisas, pelo grande potencial exportador; servindo de cobertura do solo, impedindo a desertificação; sendo fonte de renda e emprego, por ser intensiva em utilização de mão-de-obra em todas as fases de implantação, manutenção, colheita e desfibramento; e favorecendo a desconcentração da estrutura fundiária, ao viabilizar economicamente as propriedades familiares. Além dessas vantagens, existe a possibilidade de abertura de novos mercados para os produtos do sisal, diante da preocupação crescente das populações de países desenvolvidos com a preservação ambiental (ALVES; SANTIAGO, 2005).

Entretanto, no Brasil, a indústria sisaleira ainda não oferece capacidade tecnológica para servir a esses novos mercados, como o da indústria automobilística. Todo o aparato tecnológico da indústria sisaleira resume-se em poucas máquinas e manufatura para artesanato. O setor sisaleiro nordestino tem grande potencial de emprego de mão-de-obra e geração de renda. Ao mesmo tempo, enfrenta sérios problemas tecnológicos no processo de produção, principalmente na etapa de desfibramento, o que gera baixa produtividade e elevação no custo final do produto. A seguir, são apresentados os principais problemas nas etapas de produção e beneficiamento da fibra de sisal no Nordeste brasileiro.

5.1 NO PROCESSO DO PLANTIO

De acordo com Alves e Santiago (2005), a atual produtividade média obtida em campos brasileiros de sisal é de 700 a 850kg por hectare. Essa baixa produtividade do sisal, em campo, é consequência da forma inadequada de condução da atividade, destacando-se: o manejo inadequado (em geral, não é feita a limpeza dos campos e destoca, a reposição nutricional e a renovação de áreas plantadas); a inexistência de consórcio com outras culturas ou com a atividade de caprino-ovinocultura, e práticas inadequadas de corte das folhas.

5.2 NO PROCESSO DE DESFIBRAMENTO

Durante cerca de 40 anos de produção do sisal no Nordeste brasileiro, o processo de descorticação das folhas tem sido feito com o “motor Paraibano”, cujo maior problema é provocar acidentes que resultam em graves mutilações de dedos, mãos e mesmo parte do braço. Isso porque o trabalho nessa máquina, que gira em alta velocidade, obriga o operador a aproximar suas mãos das engrenagens para introduzir as folhas do sisal e para puxar fibras já beneficiadas.

Na Bahia, diversas experiências têm sido realizadas para eliminar os riscos trazidos pelo “Paraibana”, porém nenhuma obteve êxito até o momento. Alega-se que as alternativas oferecidas têm tornado o trabalho menos produtivo (APAEB, 2004).

A primeira máquina desenvolvida, como alternativa à Paraibana, foi uma criação do paraibano José Faustino dos Santos, denominada de “Faustino”. Trata-se de equipamento de grande porte, de custo elevado, de difícil deslocamento e inadequado para a pequena produção. Atualmente existem 5 máquinas “Faustino” em funcionamento na Fazenda Mandacaru, de propriedade da Companhia Sisal do Brasil - Cosibra (município de Santa Luz, BA). Da mesma forma que a “Paraibana”, a “Faustino” é deslocada através dos campos de sisal, à medida que ocorre o corte das

folhas. Entretanto, enquanto a primeira é puxada por jumentos, a segunda é puxada por trator.

A operação da “Faustino” requer o trabalho de sete homens: quatro jogam a palha, um opera (jogando a fibra para desfibrar), um colhe a fibra após desfibramento e um amarra a fibra em pacotes. A produtividade da “Faustino” varia entre 750 a 800 kg de fibra úmida/hora. A produtividade pode chegar a 1.000 kg/hora. Entretanto, atualmente alcança somente de 550 a 600kg fibra úmida/hora, por problemas de alimentação e de limitação da mão-de-obra ocupada no serviço.

O corte em geral ocupa 30 trabalhadores, a fim de que sejam cortadas folhas em quantidade suficiente para alimentar a máquina. O transporte é feito em jumentos. Nesse sistema, o pagamento ao grupo de trabalhadores também é feito com base na produtividade: R\$ 47,00/1000 kg.

Ao contrário do que ocorre com a “Paraibana”, o processo de desfibramento na “Faustino” deixa a fibra com certo teor de matéria verde e, por isso, na Fazenda Mandacaru a fibra passa pelo processo de lavagem. A mucilagem e o suco reduzem a resistência da fibra. Daí a necessidade de realizar a lavagem antes do batimento das fibras. Para a lavagem das fibras, são necessários 30 tanques, operados por mulheres, com produtividade de 30 toneladas de fibra lavada por dia.

Nesse processo ocorre um grande desperdício de fibras, o que indica a necessidade de aperfeiçoamento da máquina. O próprio Faustino realizou alguns ajustes nessa máquina, sob encomenda do governo baiano, num projeto executado pela Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola S.A - EBDA. A nova máquina passou a ser denominada de “Faustino 2”. A EBDA chegou a adquirir 20 máquinas para fazer validação em campo, com os agricultores. Essa máquina, que possui pedal e embreagem, resultou ser menos produtiva que a “Paraibana”, implicando, em consequência, a sua rejeição por parte dos agricultores.

Em 2003, a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo - FAPESP, utilizando recursos da Financiadora de Estudos e Projetos - FINEP e numa parceria com a Universidade Federal da Bahia - UFBA, financiou uma pesquisa para aperfeiçoar a Faustino 2 na localidade de Cruz das Almas. Essa nova versão, a Faustino 2 melhorada, foi trabalhada pelo próprio inventor da máquina original, José Faustino dos Santos, e ainda está em evolução.

Também na Bahia existe outra máquina desenvolvida pelo paraibano Faustino, denominada de “Faustino 3”, de propriedade da Associação dos Pequenos Agricultores do Estado da Bahia - APAEB. Inicialmente, a referida máquina não passou por teste de campo e validação dos agricultores. Porém, em julho de 2004 o escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste (Etene), do Banco do Nordeste - BNB/ETENE aprovou financiamento de recursos não-reembolsáveis para a realização dos ajustes técnicos necessários, bem como sua validação em campo.

A partir do modelo “Faustino”, a Cosibra encomendou a produção de outra máquina à firma americana John Deere, com o objetivo de substituí-la. Entretanto, a máquina apresentou problemas de embuchamento (travamento). Diante dos problemas apresentados, a Cosibra decidiu abandonar o projeto e passou a trabalhar com a “Faustino”. Atualmente, a John Deere se encontra no pátio da Fazenda Mandacaru, sem nenhuma utilização.

Outra máquina produzida para desfibramento do sisal é denominada de CORONA, e funcionou na Companhia de Celulose da Bahia - CCB, na década de 1980. Tal máquina requeria grande quantidade de água sem reaproveito, no processo de desfibramento. Segundo informações obtidas na Fazenda Mandacaru, essa máquina atualmente encontra-se desmontada nos depósitos da Fiação Brasileira de Sisal - FIBRASA, no estado da Paraíba.

Na Paraíba, algumas tentativas de desenvolvimento de uma desfibradora alternativa tem sido feitas por pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba - UFPB, desde 1994, com recursos do BNB/ETENE. Uma máquina chegou a ser desenvolvida em 1999 e testada em laboratório. Esse equipamento oferece risco zero e possibilita menor esforço ao trabalhador, além de minimizar o esforço repetitivo; destina-se a atender a cultivos de até 8 hectares. O BNB/ETENE se propôs financiar os ajustes técnicos necessários e a realização de teste de campo da Máquina. No entanto, não houve interesse dos pesquisadores em levar adiante o Projeto.

O certo é que ainda não existe, no Brasil, um modelo de desfibradora adaptado à pequena produção, testado e validado em campo, que seja capaz de proporcionar segurança ao operador, ao mesmo tempo em que supere a produtividade da máquina atualmente em uso (Paraibana).

A baixa qualidade e produtividade da atual fibra brasileira estão relacionadas, em parte, com a forma de condução em campo, mas, também, com o processo arcaico de extração da fibra. A “Paraibana”, como se observou é, praticamente, a única forma de desfibramento desde a implantação da cultura no País. Promove um desperdício de 20 a 30% das fibras durante a raspagem e apresenta baixa capacidade operacional (produz de 150 a 200 kg de fibra seca em um turno de 10 horas), não tendo sido submetida a qualquer avanço tecnológico ao longo dos anos. Além disso, diferentemente do que ocorre em outros países produtores, no Brasil a fibra não passa pelo processo de lavagem. Segundo informações de campo, o motivo seria a escassez de água.

5.3 NO PROCESSO DE INDUSTRIALIZAÇÃO

De acordo com Alves e Santiago (2005), após o processo de secagem da fibra em campo é feito o transporte para galpões fechados, em geral localizados na zona urbana dos municípios, onde estão localizadas as máquinas denominadas de batedeiras. Nas batedeiras ocorre a etapa de batimento das fibras, para remoção do pó que as envolve. Cada batedeira ocupa dois homens e a produtividade é de 15 toneladas/homem/semana.

Atualmente existem cerca de 50 batedeiras, somente no estado da Bahia. É importante observar a tecnologia adotada no batimento da fibra, bastante arcaica, não tendo passado por inovações desde que se implantou a cultura sisaleira no Nordeste. Portanto, há bastante espaço para ganhos de produtividade no batimento da fibra, desde que se avance na tecnologia adotada no processo.

Quanto ao processo de industrialização, verifica-se que as máquinas utilizadas foram importadas da Inglaterra e a fabricação data dos anos 1970. Diante da queda de consumo da fibra desse vegetal, ocorrido naquela década, devido à entrada dos fios sintéticos no mercado, a tecnologia das máquinas estacionou. De acordo com informações colhidas com empresários da região sisaleira, todas as máquinas de

industrialização de fios de sisal existentes no mundo, hoje, são remanescentes desse período (entrevista pessoal)³.

O processo de elaboração consiste em conduzir a fibra por uma série de máquinas (passadeiras) com agulhamentos de diâmetros diferentes, de forma a afiná-la progressivamente, até que a mesma esteja com a espessura desejada para o fio. As máquinas têm produtividade de 12 toneladas/8 horas.

Para atender à indústria automotiva, ainda faz-se necessária implantação de unidades de mercerização e acetilação (processo de lavagem e retirada de fungos), específicas para reforço e melhoramento da fibra a ser utilizada no compósito PP+FS. A implantação dessas unidades incorre em custo alto, o que requer investimentos e incentivos governamentais.

Para que seja possível o fornecimento de fibras para a indústria automotiva, há muito que se melhorar na indústria do sisal. Faz-se, portanto, necessária a capacitação de toda a cadeia do sisal, desde o plantio (manejo) até a distribuição da matéria prima tratada, de modo a fornecer fibras de qualidade de forma linear e confiável para a indústria de polímeros, possibilitando o fornecimento ininterrupto de peças plásticas para a indústria automotiva.

³ Entrevista com Ismael Ferreira, presidente da APAEB Valente, em 18 de fevereiro de 2009.

6 ENSAIOS REALIZADOS

Para a finalidade deste trabalho realizaram-se os seguintes testes: Caracterização de compostos de sisal; Curvas normais de ensaio de tração, Quadro geral de ensaios, Condição de injeção e Normas e requerimentos aplicados.

6.1 CARACTERIZACAO DE COMPOSTOS PP SISAL (QUADRO 1)

	Propriedade/Teste (Property/Test)	Método de Teste (Test metod)	BRANCO 46,7% de PP homopolímero virgem H 103 Braskem / 3% de Orevac CA-100 / 20% de PP copolímero virgem EP 200K Quattor/ 0,1% de Loxamid EBS/ 0,2% de Irganox B215/ 30% de fibras de sisal + 10 phr de Master Batch BPM 11099 Branco ATC, da Daicolor	BRANCO -ALTA FLUIDEZ 66,7% de PP copolímero virgem de alta fluidez CP 191 Braskem / 3% de Orevac CA-100 0,1% de Loxamid EBS/ 0,2% de Irganox B215/ 30% de fibras de sisal + 10 phr de Master Batch BPM 11099 Branco ATC, da Daicolor	PRETO 46,7% de PP homopolímero virgem H 103 Braskem / 3% de Orevac CA-100 / 20% de PP copolímero virgem EP 200K Quattor/ 0,1% de Loxamid EBS/ 0,2% de Irganox B215/ 30% de fibras de sisal + 2 phr de Master Batch Charcoal Black, da Daicolor
1	Índice de Fluides - MFI (Melt flow Index – MFI)	ISO 1133, 230°C/2.160g	23,5g/10min	39,0g/10min	21,5g/10min
2	Densidade (Density)	ISO 1183, A	1,16g/cm³	1,12g/cm³	1,13g/cm³
3	Resistência à tração no escoamento (Tensile strength at yield)	ISO 527, 5mm/min	32MPa	28MPa	34MPa
	Módulo de elasticidade em tração (Tensile modulus)	ISO 527, 5mm/min	3.020MPa	2.880MPa	3.110MPa
	Alongamento na ruptura (Elongation at break)	ISO 527, 5mm/min	2,5%	4,5%	2,7%
4	Resistência à flexão (Flexural strength)	ISO 178, 2mm/min	48MPa	41MPa	51MPa
	Módulo de elasticidade em flexão (Flexural modulus)	ISO 178, 2mm/min	3.040MPa	2.920MPa	3.150MPa
5	Resistência ao impacto Izod, com entalhe (Izod Impact strength, notched)	ISO 180 / 1A	7,8kJ/m² (78J/m)	14,5kJ/m² (145J/m)	8,5kJ/m² (85J/m)
HDT – Temperatura de distorção ao calor (Heat deflection temperature)					
6	1,8MPa	ISO 75, A	96°C	87°C	98°C
	0,45 MPa	ISO 75, B	148°C	140°C	150°C

Quadro 1 – CARACTERIZAÇÃO DE COMPOSTOS PP SISAL

6.2 CURVAS NOMINAIS DE ENSAIOS DE TRAÇÃO

Os resultados dos ensaios de tração obtidos com base em curvas nominais são utilizados em todas as especificações industriais de materiais poliméricos. Este trabalho avalia, em conjunto, as curvas nominais dos ensaios de tração de quatro compostos de Polipropileno (PP), com se segue:

- ✓ Dois compostos de PP não pigmentado:

Um com 50% PP homopolímero reciclado + 20 % PP Copolímero Virgem EP 200K + 30% de Fibras de Sisal;

Outro com 70% Copolímero Virgem EP200K + 30% de Fibras de Sisal.

- ✓ Um composto comercial da BASELL Brasil, na cor preta, com código HIFAX CB 237 G (segundo o fabricante e o tipo comercializado no Brasil que mais se aproxima do tipo HOSTACOM XBR 169 G, da Basell – Europa)
- ✓ Um composto comercial de PP da Novacor Brasil, na cor preta, com o código PB A PR001 T20 A1 U3. Trata-se de um produto comercial indicando ser de um composto de PP contendo 20% de carga mineral talco.

Metodo de ensaio:

Para realização dos ensaios de tração, os corpos de prova dos quatro compostos de PP analisados foram injetados em moldes padronizados pelo sistema CAMPUS. Os ensaios de tração foram realizados segundo a Norma ISO 527.

Resultados:

As curvas nominais tensão (σ) x deformação (ϵ), obtidas nos ensaios de tração de cinco corpos de prova de cada composto de PP, estão apresentadas nos Gráficos 1 a 4. O Gráfico 5 mostra um conjunto formado pela curva média obtida para cada composto.

Gráfico 1 - CURVAS NOMINAIS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA O COMPOSTO COM SISAL (50% PP REC + 20% PP VIR. + 30% SISAL)

Gráfico 2 - CURVAS NOMINAIS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA O COMPOSTO COM SISAL (70% PP VIR. + 30% SISAL)

Gráfico 3 - CURVAS NOMINAIS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA O COMPOSTO BASELL BRASIL

Gráfico 4- CURVAS NOMINAIS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA O COMPOSTO NOVACOR BRASIL.

Gráfico 5 - CURVAS NOMINAIS MÉDIAS TENSÃO X DEFORMAÇÃO OBTIDAS EM ENSAIOS DE TRAÇÃO PARA OS QUATRO COMPOSTOS PP AVALIADOS..

Os resultados numéricos médios obtidos com os ensaio de tração estão apresentados na Tabela 4.

COMPOSTO CARACTERÍSTICA OBTIDA	Composto do ECOPROJECT 50% PP Rec./ 20% PP Cop.Vir./ 30% Sisal	Composto do ECOPROJECT 70% PP Cop.Vir./ 30% Sisal	Composto BASELL - Brasil	Composto NOVACOR - Brasil
Módulo de Elasticidade em tração (GPa)	2,65	2,50	1,30	1,50
Resistência à tração no escoamento (MPa)	30,3	25,9	20,2	19,5
Deformação no ponto de escoamento (%)	2,4	2,6	6,6	4,5

Tabela 4 - RESULTADOS OBTIDOS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO DOS COMPOSTOS (VALORES MÉDIOS, OBTIDOS EM CURVAS NOMINAIS)

A avaliação da Tabela 4 indica que os resultados fornecidos pelos compostos com sisal foram muito satisfatórios. A exceção foi o valor da deformação na ruptura (2,4%), considerado muito baixo. Entretanto, é muito importante mencionar que o dimensionamento de produtos baseia-se nos seguintes itens de desempenho extraídos dos ensaios de tração:

- ✓ Modulo de elasticidade em tração;
- ✓ Tensão de tração no ponto de escoamento - que para os materiais estudados foi o ponto de tensão máxima, devendo ser chamado de resistência à tração no escoamento;
- ✓ Deformação no ponto de escoamento.

Embora não sejam conhecidas detalhadamente as composições dos produtos comerciais, sabe-se que o composto Basell Brasil contém modificador de impacto, muito provavelmente Elastômero EPDM, e que o composto Novacor, além de 20% de carga mineral talco, pode também conter algum teor de modificador de impacto. Assim, o resultado encontrado é coerente com o clássico balanço rigidez– impacto. Isso significa que constituintes que aumentam a rigidez tendem a diminuir a resistência ao impacto, e modificadores de impacto tendem a diminuir a rigidez.

Na avaliação comparativa dos compostos de PP com sisal, verifica-se que a presença de alto teor de copolímero diminui a rigidez, reduz os parâmetros térmicos HDT e ponto de amolecimento Vicat, mas aumenta a resistência ao impacto

6.3 QUADROS GERAIS DE TESTES REALIZADOS

Esta seção apresenta os resultados de testes realizados no desenvolvimento da matéria-prima, tendo como base a norma Ford WSS-M15P4-E (Anexo 1)) .

Em relação à identificação das amostras, estas vêm nas cores cinza e branco. Em relação à quantidade, há cinco peças de cada cor. Quanto ao tipo das amostras, são peças da Coluna A e Cobertura Interna do Espelho Retrovisor.

Além disso, as peças são compostas da seguinte maneira: *Cinza*, com 70% PP Copolímero + 30 % de Fibra de Sisal, e *Branca*, com 20% PP Copolímero + 50% PP Copolímero Reciclado + 30% de Fibra de Sisal.

Quadros 2 a 6 ilustram os vários tipos de testes aplicados para verificação de atendimento às normas técnicas, resultados, interpretação de resultados e conclusões finais.

PEÇAS: COLUNA A (A PILLAR) E COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR (INNER SAIL MIRROR COVER) – CÔRES BRANCA E CINZA - PROJETO B-402 ECOPROJECT							
NORMA FORD WSS-M15P4-E							
EN SAIO	3.4 APPEARANCE	3.5 ENVIRONMENTAL TESTING				3.8 IMPACT RESISTANCE	3.16 FLAMABILITY
NORMA/ ESPECIFICAÇÃO	FLTM BI 109-01	WSS-M15P4-E				WSS-M15P4-E	WSS-M15P4-E
TIPO DE EN SAIO	A STM D 308 A STM D 2244	3.5.1 SHORT TERM HEAT/HUMIDITY AND COLD CYCLE	3.5.2 LONG TERM HEAT EXPOSURE	3.5.3 HEAT, HUMIDITY AND COLD CYCLE (VEHICLE TEST) SEM FIXAÇÃO	3.5.4 HUMIDITY TEST	A STM D 2240 3.8.1 RUBBER BALL	ISO 3795
ESPECIFICAÇÕES/ TOLERÂNCIAS	CONFORME CRITÉRIO FORD MOTOR COMPANY	AVALIAÇÃO DE DEFEITOS VISUAIS	AVALIAÇÃO DE DEFEITOS VISUAIS	AVALIAÇÃO DE DEFEITOS VISUAIS	AVALIAÇÃO DE DEFEITOS VISUAIS	AVALIAÇÃO VISUAL (TRINCA S)	BURN RATE MÁXIMA 100 mm/min
RESULTADOS COLUNA A (A PILLAR) PEÇAS BRANCAS E CINZA	CINZA: $\Delta E = 0,10$	NÃO FORAM ENCONTRADOS	NÃO FORAM ENCONTRADOS	NÃO FORAM ENCONTRADOS	NÃO FORAM ENCONTRADOS	NÃO HOUVE	BRANCA: 88,00
	BRANCA: $\Delta E = 0,15$						CINZA: 85,00 APROVADA S
RESULTADOS COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR (INNER SAIL MIRROR COVER) PEÇAS BRANCAS E CINZA	CINZA: $\Delta E = 0,18$	NÃO FORAM ENCONTRADOS	NÃO FORAM ENCONTRADOS	NÃO FORAM ENCONTRADOS	NÃO FORAM ENCONTRADOS	NÃO HOUVE	BRANCA: 90,00
	BRANCA: $\Delta E = 0,20$						APROVADA S CINZA: 88,00 APROVADA S
INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	CRITÉRIO DE AVALIAÇÃO E CONCLUSÃO SOB RESPON.S. DA FORD MOTOR COMPANY	NESTES ENSAIOS NÃO FORAM ENCONTRADOS OU IDENTIFICADOS VISUALMENTE E MICROSCÓPICAMENTE DEFEITOS COMO: TRINCA S, MANCHA S, FISSURA S OU BOLHA S. NÃO FORAM IDENTIFICADOS ALTERAÇÕES DE BRILHO OU CÔR.				NÃO FORAM ENCONTRADAS TRINCA S OU DEFORMAÇÃO S	A S DUAS AMOSTRA S ATENDEM OS REQUISITOS
CONCLUSÃO FINAL	CONFORME RESULTADOS ENCONTRADOS NESTES 04 ENSAIOS, AS PEÇAS COLUNA "A" E COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR, PRODUZIDAS COM A S SEGUINTE S COMPOSIÇÃO S: • CINZA: 70% PP Copolímero / 30% Fibras de 3lcal • BRANCA: 20% PP Copolímero / 60% PP Copolímero Reciclado/ 30% Fibras de 3lcal ATENDEM A NORMA FORD WSS-M15P4-E; E STANDO : APROVADA S						

Quadro 2 – TESTES (I) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD WSS-M15P4-E

PEÇAS: COLUNA A (A PILLAR) E COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR (INNER SAIL MIRROR COVER) – CÔRES BRANCA E CINZA - PROJETO B- 402 ECOPROJECT									
NORMA FORD WSS-M15P4-E									
EN SAIO	3.13 MOLD IN COLOR		3.9 COLOR AND APPEARANCE PROPERTIES				3.15 ODOR	3.14 FOGGING	
NORMA/ ESPECIFICAÇÃO	WSS-M15P4-E		WSS-M15P4-E				WSS-M15P4E	WSS-M15P4-E	
TIPO DE ENSAIO	3.13.1 SCRATCH RESISTANCE FLTMD BN 100-13	3.13.2 RESISTANCE ABRASION SAE J1859	3.9.1 RESISTANCE TO FADE SAE J1859 AAI CC-2	3.9.4 RESISTANCE TO CHECKING PLTM BN 107-01 AAI CC-2	3.9.5 STAIN RESISTANCE IDENTIFICATION MARKINGS PLTM BN 103-01 AAI CC-2	3.9.6 RESISTANCE TO MIGRATION STAINING PLTM BN 103-01 AAI CC-2	FLTM BO 131-01	SAE J1756	
ESPECIFICAÇÕES/ TOLERÂNCIAS	AValiação visual quanto a descoloração ≤ 30%	AValiação visual quanto a descoloração ≤ 30%	RATE MÍNIMO 4	RATE MÍNIMO 4 (SECA E UMIDO)	AValiação de marcas visuais	AValiação visual e variação de cor	≥3 = REPR 2 < 3 = AC ≤2 = APROV	FOG NUMBER MÍNIMO 70,00	
COLUNA A (A PILLAR) PEÇAS BRANCAS E CINZA	BRANCA 27%	NÃO HOUE	RATE=4	RATE=4	NÃO ENCONTRADAS	NÃO HOUE VARIAÇÃO	NOTA=2	BRANCA = 75,00	
	CINZA 25%							CINZA = 73,00	
COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR (INNER SAIL MIRROR COVER) PEÇAS BRANCA E CINZA	BRANCA 30%	NÃO HOUE	RATE=4	RATE=4	NÃO ENCONTRADAS	NÃO HOUE VARIAÇÃO	NOTA= 3	BRANCA = 78,00	
	CINZA 28%							CINZA = 78,00	
INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	NÃO FORAM IDENTIFICADOS DESGATES FORA DOS PADRÕES PERMITIDOS.		NESTES ENSAIOS TODAS AS PEÇAS AVALIADAS ATENDERAM AS ESPECIFICAÇÕES,NÃO FORAM IDENTIFICADAS MARCAS SUPERFICIAIS,MUDANÇAS DE TONALIDADE DE CÔR ,MANCHAS ESTANDO DENTRO DOS NIVEIS DE RESISTENCIA.				PEÇA COBERTURA DO ESPELHO COM LEVE ODOR.	PEÇAS DENTRO DOS LIMITES MIN.	
CONCLUSÃO FINAL	CONFORME RESULTADOS ENCONTRADOS NESTES 04 ENSAIOS , AS PEÇAS COLUNA "A" , PRODUZIDAS COM A SEGUINTE COMPOSIÇÃO 8: • CINZA: 70% PP Copolímico / 30% Fibras de 8lcal • BRANCA: 20% PP Copolímico / 80% PP Copolímico Reolado/ 30% Fibras de 8lcal ATENDEM A NORMA FORD WSS-M15P4-E; E 8TANDO : APROVADAS A PEÇA: COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR APRESENTOU DE 8EMPENHO LIGEIRAMENTE INFERIOR NO QUE 8ITO " ODOR" . PODENDO 8ER REAVALIADO PELO CRITERIO MINIMO DE ACEITAÇÃO DA DVP.								

Quadro 3 - TESTES (2) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD WSS-M15P4-E

PEÇAS: COLUNA A (A PILLAR)) – CÔRES BRANCA E CINZA - PROJETO B- 402 ECOPROJECT					
NORMA FORD WSS-M15P4-E					
EN SAIO	IT-0005 SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE	IT-0020 SHEET METAL LOAD CAPACITY	IT-0029 RECYCLABILITY OF INTERIOR TRIM AND INSULATION	IT-0030 FLAMMABILITY OF COMPONENTS	IT – 0032 REFLECTANCE OF MULDINGS AND SUN BLINDS
NORMA/ ESPECIFICAÇÃO	DVM: 0007-IT	DVM: 0020-IT / 0896-IT	DVM: 0029-IT	DVM: 0030-IT	DVM: 0032-IT
TIPO DE EN SAIO	SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE	METAL LOAD CAPACITY	AValiação DA REPROCESSABILIDADE DO MATERIAL	FLAMMABILITY OF COMPONENTS	AValiação DO BRILHO
ESPECIFICAÇÕES/ TOLERANCIAS	RATE ≥ 4	CARGA DE REMOÇÃO ≥ 110 N	EScore ≥ 350 PONTOS	VELOCIDADE DE QUEIMA $\leq 100,00$ mm/min	BRILHO ESPECULAR ≤ 20 PONTOS
RESULTADOS COLUNA A (A PILLAR) PEÇAS CINZA E BRANCA	RATING 5 (AATCC) APROVADAS	150 N APROVADAS	520 PONTOS APROVADAS	80,00 mm/min APROVADAS	12 PONTOS APROVADAS
INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	INSPEÇÃO VISUAL NÃO CONSTATADA ALTERAÇÕES	CARGA DE REMOÇÃO DENTRO DO ESPECIFICADO	RECICLABILIDADE SUPERIOR AO ESPECIFICADO	VELOCIDADE DE QUEIMA DENTRO DO ESPECIFICADO	NOS TESTES DE REFLEXÃO OS VALORES ESTÃO DENTRO DO ESPECIFICADO
CONCLUSÃO FINAL	CONFORME RESULTADOS ENCONTRADOS NEStES 05 ENSAIOS , AS PEÇAS COLUNA "A" E COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR, PRODUZIDAS COM AS SEGUINTE COMPOSIÇÕES: <ul style="list-style-type: none"> CINZA: 70% PP Copolímico / 30% Fibras de Sílica BRANCA: 20% PP Copolímico / 80% PP Copolímico Reciclado/ 30% Fibras de Sílica ATENDEM A NORMA FORD WSS-M15P4-E ; ESTANDO : APROVADAS				

Quadro 4 - TESTES (3) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD WSS-M15P4-E

PEÇAS: COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR (INNER SAIL MIRROR COVER) – CÔRES BRANCA E CINZA PROJETO B- 402 ECOPROJECT					
NORMA FORD WSS-M15P4-E					
ENSAIO	IT-0005 SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE	IT-0005 SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE	IT-0023 STRESS CRACKING	MA-0142 RESISTANCE TO HEAT AGING	DVM-0046-MA STAINING FROM FLUORESCENT SUNLAMPS
NORMA/ESPECIFICAÇÃO	DVM: 9104 NORMA DIN 75 220	DVM: 0007-IT	DVM: 0023-IT	DVM: 0043-MA	DVM: 0046-MA
TIPO DE ENSAIO	SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE	SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE	TESTES DE RESISTENCIA QUIMICA	RESISTENCIA AO ENVELHECIMENTO TERMICO	PEÇAS SUBMETIDAS A INCIDENCIA DE LUZ
ESPECIFICAÇÕES/ TOLERÂNCIAS	RATE ≥ 4	RATE ≥ 4	APÓS INSPEÇÃO DETALHADA NÃO PODE HAVER FRAGILIZAÇÃO OU MICROFISSURAS SOB TENSÃO.	NÃO PODE OCORRER ALTERAÇÕES VISUAIS	APÓS INSPEÇÃO VISUAL DETALHADA NÃO PODE HAVER MANCHAS
RESULTADOS COBERTURA DO ESPELHO RETROVISOR (INNER SAIL MIRROR COVER) PEÇAS CINZA E BRANCA	RATING 5 (AATCC) APROVADAS	RATING 5 (AATCC) APROVADAS	NÃO DETECTADO FRAGILIZAÇÃO OU MICROFISSURAS	NÃO FORAM IDENTIFICADAS ALTERAÇÕES VISUAIS	NÃO HOUE EVIDENCIAS DE MANCHAS
INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	INSPEÇÃO VISUAL NÃO CONSTATADA ALTERAÇÕES	INSPEÇÃO VISUAL NÃO CONSTATADA ALTERAÇÕES	APÓS CONTATO COM AGENTES QUIMICOS NÃO OCORREU TRINCAS OU FISSURAS	APÓS ANALISE VISUAL DETALHADA NÃO FORAM OBSERVADAS ALTERAÇÕES VISUAIS	APÓS ENSAIOS EM CABINE DE LUZ NÃO APARECERAM MANCHAS OU MARCAS
CONCLUSÃO FINAL	CONFORME RESULTADOS ENCONTRADOS NESTES 05 ENSAIOS, AS PEÇAS COLUNA "A" E COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR, PRODUZIDAS COM A SEGUINTE COMPOSIÇÃO: <ul style="list-style-type: none"> CINZA: 70% PP Copolímero / 30% Fibras de Silica BRANCA: 20% PP Copolímero / 80% PP Copolímero Reciclado/ 30% Fibras de Silica ATENDEM A NORMA FORD WSS-M15P4-E; ESTANDO: APROVADAS				

Quadro 5 - TESTES (4) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD (WSS-M15P4-E)

PEÇAS: COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR (INNER SAIL MIRROR COVER) – CÔRES BRANCA E CINZA PROJETO B- 402 ECOPROJECT						
NORMA FORD WSS-M15P4-E						
ENSAIO	MA-0154 SUBSTANCE USE RESTRICTIONS	RF-0062 BR RESOL 675/86 FLAMMABILITY	RF-0043 GLOBAL CORE SAFETY CONTENT SDGL FLAMMABILITY	WW-0330 FLAMMABILITY	RF-0064 ARG DEC 779/95 FLAMMABILITY	RF-0063 CHILE 779/95 FLAMMABILITY
NORMA/ ESPECIFICAÇÃO	DVM: 0076-MA	DVM: 0057-RF	DVM: 0049-RF	DVM: 0015-MA	DVM: 0042RF	DVM: 0084RF
TIPO DE ENSAIO	ANÁLISES QUÍMICAS DETALHADAS DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA E TOXICIDADE	NÍVEL DE INFLAMABILIDADE EM CAMARA CONFORME REQUISITO BRASILEIRO	NÍVEL DE INFLAMABILIDADE	AVALIAR VELOCIDADE DE QUEIMA	NÍVEL DE QUEIMA CONF. NORMA ARGENTINA	NÍVEL DE QUEIMA CONF. NORMA CHILENA
ESPECIFICAÇÕES/ TOLERÂNCIAS	CONFORME : DIRETIVAS RoHS E GUIAS DA UL: NÃO PODE HAVER INDÍCIOS DE ELEMENTOS TÓXICOS	VELOCIDADE DE QUEIMA ≤ 100,00 mm/min	VELOCIDADE DE QUEIMA ≤ 100,00 mm/min.	VELOCIDADE DE QUEIMA ≤ 100,00 mm/min.	VELOCIDADE DE QUEIMA ≤ 100,00 mm/min.	VELOCIDADE DE QUEIMA ≤ 100,00 mm/min.
RESULTADOS COBERTURA DO ESPELHO RETROVISOR (INNER SAIL MIRROR COVER) PEÇAS CINZA E BRANCA	NÃO FORAM DETECTADAS SUBSTÂNCIAS TÓXICAS	75,00 mm/min. APROVADAS	70,00 mm/min. APROVADAS	70,00 mm/min. APROVADAS	70,00 mm/min. APROVADAS	70,00 mm/min. APROVADAS
INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	OS PRODUTOS E SUBPRODUTOS DA S AMOSTRAS ANALISADAS NÃO CONTÊM SUBSTÂNCIAS TÓXICAS	AS PEÇAS ATENDEM O REQUISITO BR FMV §§302 – SUMÁRIO N°3.3 – NOTIFICAÇÃO 4	CARACTERÍSTICAS DE QUEIMA ATENDEM A NORMA BR FMV §§ 302	NÍVEIS QUEIMA ATENDEM A NORMA BR FMV §§ 302	NÍVEIS QUEIMA ATENDEM A NORMA BR FMV §§ 302	NÍVEIS QUEIMA ATENDEM A NORMA BR FMV §§ 302
CONCLUSÃO FINAL	CONFORME RESULTADOS ENCONTRADOS NESTES ENSAIOS, AS PEÇAS COLUNA "A" E COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR, PRODUZIDAS COM A SEGUINTE COMPOSIÇÃO: <ul style="list-style-type: none"> CINZA: 70% PP Copolímero / 30% Fibras de Sisal BRANCA: 20% PP Copolímero / 50% PP Copolímero Reciclado/ 30% Fibras de Sisal <p style="text-align: center;">ATENDEM A NORMA FORD WSS-M15P4-E; E STANDO : APROVADAS</p>					

Quadro 6 - TESTES (5) EM MATÉRIA-PRIMA - NORMA FORD (WSS-M15P4-E)

6.4 CONDIÇÕES DE INJEÇÃO DO PP + SISAL

Aqui citamos condições de injeção do PP + Sisal por meio de uma injetora ARBURG 270V (Quadro 6) . Essas condições foram usadas para criação de peças-protótipo para posterior avaliação técnica de produto: Volume = 50cm³ e Força de Fechamento= 30 Toneladas

	Alimentação	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	
Perfil Térmico	175	180	180	185	190	°C

Material	PP+SISAL 30% (Branca/Preta)	
Pressão de Injeção	450 – 650	bar
Velocidade de Injeção	14 – 30	cm ³ /seg
Posição (cm ³)	2 – 4	Cm ³
Holding (empacotamento)	320 – 480	bar
Tempo de Holding	6 - 10	Seg.
Velocidade de Dosagem	8 – 10	m/min
Contra Pressão	15 – 25	bar
Tempo de resfriamento	23	seg.
Temperatura do Molde	50	°C

Quadro 7 - CONDIÇÕES DE INJEÇÃO DO PP + SISAL NA ARBURG 270V

Antes de se iniciar o processo de injeção, o material tem que passar pelo processo de secagem (80°C) durante 6,0 horas. Deve-se analisar o ponto de entrada da cavidade (*gate*). Dependendo da restrição, deve-se reduzir o cisalhamento, alterando os seguintes itens: 1) Velocidade de injeção, velocidade de dosagem e contrapressão e 2) Força de fechamento deve estar calculada para não aprisionar ar dentro da cavidade.

6.5 NORMAS E REQUERIMENTOS APLICADOS

1 - Peças AUTOMETAL:

- Cobertura Interna do Espelho Retrovisor (injetadas com a matéria-prima PP+Sisal)
- Coluna-A (injetadas com a matéria-prima PP+Sisal)
- Cobertura Interna do Espelho Retrovisor (injetadas com a matéria-prima PPreciclado+Sisal)
- Coluna-A (injetadas com a matéria-prima PPreciclado+Sisal)

2 - Peças DOPEC:

- Coluna-A (injetadas com a matéria-prima PPreciclado+Sisal)
- Floor Console (injetadas com a matéria-prima PPreciclado+Sisal)

Os testes em cada tipo de peça protótipo deverão estar de acordo com os requisitos aplicáveis, conforme descrito abaixo:

1 - Peças AUTOMETAL:

Peça Protótipo: **COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR**

Matéria-prima: **PP+Sisal**

Rqmt ID	Rqmt Title
IT-0001	INTERIOR TRIM, ASSEMBLY PERFORMANCE SPEC. - WSS-M15P4-E
IT-0005	SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE TEST (INFRARED / QUARTZ HALOGEN)
IT-0023	STRESS CRACKING FOR PLASTICS
MA-0142	RESISTANCE TO HEAT AGING OF INTERIOR COMPONENTS
DVM-0046-MA	STAINING FROM FLUORESCENT SUNLAMPS
MA-0154	SUBSTANCE USE RESTRICTIONS
RF-0062	BR RESOL 675/86, FLAMMABILITY OF INT MATERIALS
RF-0043	GLOBAL SDGL FLAMMABILITY - CORE SAFETY CONTENT
WW-0330	REGULATIONS - FLAMMABILITY OF MATERIALS
RF-0064	ARG DECREE 779/95 ART 29 (6.1), INTERIOR FLAMMABILITY
RF-0063	CHILE INTERIOR FLAMABILITY

Peça Protótipo: **COBERTURA INTERNA DO ESPELHO RETROVISOR**

Matéria-prima: **PPRec+Sisal**

Rqmt ID	Rqmt Title
IT-0001	INTERIOR TRIM, ASSEMBLY PERFORMANCE SPEC. - WSS-M15P4-E
IT-0005	SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE TEST (INFRARED / QUARTZ HALOGEN)
IT-0023	STRESS CRACKING FOR PLASTICS
MA-0142	RESISTANCE TO HEAT AGING OF INTERIOR COMPONENTS
DVM-0046-MA	STAINING FROM FLUORESCENT SUNLAMPS
MA-0154	SUBSTANCE USE RESTRICTIONS
RF-0062	BR RESOL 675/86, FLAMMABILITY OF INT MATERIALS
RF-0043	GLOBAL SDGL FLAMMABILITY - CORE SAFETY CONTENT
WW-0330	REGULATIONS - FLAMMABILITY OF MATERIALS
RF-0064	ARG DECREE 779/95 ART 29 (6.1), INTERIOR FLAMMABILITY
RF-0063	CHILE INTERIOR FLAMABILITY

Peça Protótipo: **COLUNA-A**

Matéria-prima: **PP+Sisal**

Rqmt ID	Rqmt Title
IT-0001	INTERIOR TRIM, ASSEMBLY PERFORMANCE SPEC.-WSS-M15P4-E

IT-0005	SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE TEST (INFRARED/QUARTZ HALOGEN)
IT-0020	SHEETMETAL LOAD CAPACITY
IT-0029	RECYCLABILITY OF INTERIOR TRIM AND INSULATION
IT-0030	FLAMMABILITY OF COMPONENTS
IT-0032	REFLECTANCE OF MOULDINGS AND SUN BLINDS

Peça Protótipo: **COLUNA-A**

Matéria-prima: **PPRec+Sisal**

Rqmt ID	Rqmt Title
IT-0001	INTERIOR TRIM, ASSEMBLY PERFORMANCE SPEC.-WSS-M15P4-E
IT-0005	SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE TEST (INFRARED/QUARTZ HALOGEN)
IT-0020	SHEETMETAL LOAD CAPACITY
IT-0029	RECYCLABILITY OF INTERIOR TRIM AND INSULATION
IT-0030	FLAMMABILITY OF COMPONENTS
IT-0032	REFLECTANCE OF MOULDINGS AND SUN BLINDS

2 - Peças DOPEC:

Peça Protótipo: **COLUNA-A**

Matéria-prima: **PPRec+Sisal**

Rqmt ID	Rqmt Title
IT-0001	INTERIOR TRIM, ASSEMBLY PERFORMANCE SPEC.-WSS-M15P4-E
IT-0005	SUNLOAD INDUCED TEMPERATURE TEST (INFRARED/QUARTZ HALOGEN)
IT-0020	SHEETMETAL LOAD CAPACITY
IT-0029	RECYCLABILITY OF INTERIOR TRIM AND INSULATION
IT-0030	FLAMMABILITY OF COMPONENTS
IT-0032	REFLECTANCE OF MOULDINGS AND SUN BLINDS

Peça Protótipo: **FLOOR CONSOLE**

Matéria-prima: **PPRec+Sisal**

Rqmt ID	Rqmt Title
IP-0001	DURABILITY TESTS (LIFE EXPECTANCY)
IP-0004	STIFFNESS - FINISH PANELS
TS-0122	FLOOR SHIFTER BEZEL/CONSOLE PKG DESIGN VARIABILITY (CAD)
IT-0012	PARALLEL ATTACHMENT SURFACES
MA-0024	COLD IMPACT - IP & CONSOLE
MA-0028	SERVICEABILITY OF FASTENERS, RETAINERS, ETC.
MA-0142	RESISTANCE TO HEAT AGING
MA-0173	ENVIRONMENTAL DIMENSIONAL STABILITY - INTERIOR TRIM
MA-0011	SUNLOAD RESISTANCE VISUAL
MA-0039	SUNLOAD RESISTANCE DIMENSIONAL

IP-0006 FLAMMABILITY
MA-0021 RESISTANCE TO ABRASION / SCUFFING
MA-0140 PERSPIRATION
MA-0036 RESISTANCE TO CLEANING AGENTS
MA-0019 FOGGING
MA-0018 ODOR
MA-0101 RECYCLABILITY
FI-0022 MATERIAL IDENTIFICATION

7 CONCLUSÕES

Este trabalho pretendeu desenvolver um novo composto que servirá de matéria prima para peças injetadas e moldadas, a fim de reduzir a dependência em materiais nobres e o impacto ambiental. Estudou características mecânicas da fibra de sisal os diferentes tipos de polipropileno reciclado. A composição possível de polipropileno virgem e reciclado, bem com métodos de processamento do compósito. O composto surpreendeu positivamente na maneira em que se comportou: exigiu menor temperatura dos moldes de trabalho e menor tempo de processo, resultando em economia de energia elétrica e otimizando o ciclo de operação: menos tempo, mais peças, menos energia. A nova matéria prima apresenta característica mecânicas superiores da atual em produção. Os próximos passos para implementação desta tecnologia passam pelo fortalecimento da cadeia produtiva da fibra, a certificação de origem e qualidade da fibra de sisal, o interesse dos fornecedores de compostos pela nova opção de carga e também pelo incentivo ao uso de compostos recicláveis e sustentáveis pelo mercado em geral.

8 REFERÊNCIAS

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS ASTM. *Standard Specification for polypropylene*, 1995.
- ALVES, Maria; SANTIAGO, Eduardo; LIMA, Antonio Renan Moreira. *Diagnóstico socioeconômico do setor sisaleiro do Nordeste brasileiro*. Fortaleza: BNB, 2005.
- AMICO, S.C.; MOCHNAZ, S.; COSTA, T.H.S. (2001). *Tensile strength of sisal fibers II: Influence of chemical treatment the point of view of a weibull distribution*. 6o. Congresso Brasileiro de Polimeros / IX International Macromolecular Colloquium.
- APAEB - Associação de Desenvolvimento Sustentável e Solidário da Região Sisaleira – Município de Valente – BA (2004-2009). Disponível em: < <http://www.apaeb.org.br>>. Acesso: 2004 a 2009
- BERTIN, S. Robin, J.-J. *European Polymer Journal* 38 (2002) 2255-2264
- BILLMEYER, F.W. **Textbook of Polymer Science**. Wiley-Interscience, New York, 1971. *Livro introdutório mais completo, com ênfase na ciência dos polímeros*
- BUDINSKI, K.G. *Engineering Materials. Properties and selection*. New Jersey: Prentice Hall International. 1996.
- BOSCH, R., *Automotive handbook*. Plochingen: Robert Bosch, 2007. 1192 p.
- CALISTER, W.D. **Materials Science and Engineering, An Introduction**. 3rd edition, John Wiley and Sons, Inc. USA, 1985.
- CARVALHO, R.C. **Compósito de Fibra de Sisal para uso em reforço estrutural**. Tese (Doutorado) em Ciência e Engenharia de Materiais da Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, SP, 2005.
- FORD MOTOR COMPANY DO BRASIL (FMC). Departamento de Desenvolvimento de Produto.
- FU S. Y.; LAUKE, B.; MADER, E.; YUE CY; HU, X. **Tensile properties of short-glassfiber and short -carbon-fiber-reinforced polypropylene composites**, Compos Part A-Appl S 31 (10): 1117-1125, 2000.
- HULL, D. **An Introduction to composites materials**. Cambridge University Press. Cambridge Solid State Science Series , 1995.
- ILLSTON, J.M. *Construction material: their nature and behavior*. London: E&FN Son, 2nd Ed. 1994, 518p. 1994

- JOSEPH, P.V.; MATOSO, L.H.C.; TOLEDO, R.D. Natural fiber reinforced thermoplastic composites. In: *Natural polymer and agrofiber based composites*. São Carlos: USP/Unesp/Embrapa, 2000.
- JOSHI, S. V., DRZAL, L. T., MOHANTY, A. K., ARORA, S. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?, 2003.
- LOPES, E.L. *Influência das características do compatibilizante de polipropileno nas propriedades mecânicas do polipropileno reforçado com fibras de vidro curtas*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP, 2003.
- MARROQUIM, S. Uso da fibra de coco e látex na engenharia automotiva: memorial da Crina-Látex do Brasil. Abreu e Lima: ABRACOCO, 1994.
- MARTINES, M. A. Fibras de Sisal: Mercerização, Acetilação e Aplicação em Compósitos de Borracha de Pneu Triturado. 2001. Tese (Doutorado) – Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.
- Matthews FL, Rawlings RD. "Composite Materials: Engineering and Science", Chapman & Hall, London, Chapter 1, pp.1-28, 1994.
- MATTOSO, L.H.C et al, UTILIZAÇÃO DE FIBRAS VEGETAIS PARA REFORÇO DE PLÁSTICOS 1996 No 3, nov/96, p.1-4
 cnpdia.embrapa.br/publicacoes/download.php?file=PA03_96.pdf
- MATTOSO, L.H.C.; FERREIRA, F.C.; CURVELO, A A S. Sisal fiber: morphology and applications in polymer composites, In: International Symposium On Lignocellulosics-Plastics Composites, 1, São Paulo-SP, Mar. 1996, Proceedings... (no prelo).
- MATTOSO, L. H. et al. Aplicação de fibras de sisal na indústria automobilística para reforço de plásticos. [s.l]:[s.n], 1998.
- MEDINA, J.C. O sisal. São Paulo: Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, 1954. 286p.
- MEDINA, J.C. Multiplicação do sisal (*Agave Sisalana* Perrine) por bulbilhos e rebentões e métodos de preparo e plantio das mudas. *Bragantia*, v.22, n.45, p.559-574, 1963.
- MORASSI, J.O. Fibras naturais: aspectos gerais e aplicação na indústria automobilística. Mercedes Benz do Brasil. [s.l]:[s.n], 1994
- NUNES, R.C.R.; VISCONTE, L.L.Y. Natural fiber & elastomeric composites. In: E. FROLLINI, A.L. LEÃO AND L.H.C. MATTOSO: *Natural Polimery and Agrofibers Composities*. São Carlos, SP. 2000.
- OASHI, M.C.G. Estudo da cadeia produtiva como subsídio para pesquisa e desenvolvimento do agronegócio do sisal na Paraíba. Tese (Doutorado). 1999. Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 1999.

- OTA, W. N. Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional. Curitiba, 2004. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Ciência e Tecnologia de Materiais, Universidade Federal do Paraná.
- PEREIRA, C.N. *Compósitos Poliuretano-Fibras de Sisal: preparação, desempenho mecânico e caracterização estrutural*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP. 1999.
- PIVA, A. M., Wiebeck, H. Reciclagem do Plástico. São Paulo: Artliber editora, 2004.
- SILVA, C.A.D. Ecoproject. In: Simpósio Bahia TEC 2008. Salvador.
- SILVA, R.R.O. Desenvolvimento da cultura do sisal nas regiões semi-áridas do nordeste brasileiro. Campina Grande: EMBRAPA-CNPA, 1994. Projeto Embrapa Nº 07094004.
- TADMOR, Z & GOGOS, C. G. - "Principles of Polymer Processing", John-Wiley, New York (1979).
- VARGHESE, S.; KURIAKOSE, B.; THOMAS, S.; JOSEPH, K. Effect of adhesion on the equilibrium swelling of short sisal fiber reinforced natural rubber composites. Rubber Chemistry and Technology, Akron, v.68, p.01-13, 1994.
- WAMBUA P, IVENS J, VERPOEST I. Natural fibres: Can they replace glass in fibre reinforced plastics?. Composites Science and Technology, 63(9), p. 1259-1264, 2003.
- WOLLERDORFER M., BADER H.: Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers. Industrial Crops and Products, 8, 105–112 (1998).

ANEXO 1

RELATORIO DOS ENSAIOS	26/02/2008
	QUADRO GERAL DOS ENSAIOS	
	COMPOSTOS POLIMÉRICOS CONTENDO FIBRAS NATURAIS OU CARGAS NATURAIS PROJETO ECOPROJECT	Pag. 1/2
	CLIENTE: FORD DO BRASIL S/A Engenharia Avançada	

Para: FORD MOTOR COMPANY DO BRASIL LTDA – UNIDADE SBC

Requisitante: Sr. Celso Duarte – Engenharia avançada

Cliente: FORD MOTOR COMPANY DO BRASIL LTDA

Programa: Ford Fase: Desenvolvimento – Projeto ECOPROJECT

Objetivo: APRESENTAR UM QUADRO RESUMO COM OS RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

Observações: N.A.

Identificação da amostra: Amostra 01 - Sisal 2000. Amostra 02 – Sisal 2400 Amostra 03 – Juta 2600.
--

Numero do desenho: N. C.

Revisão do desenho: N. C.

Tipo da amostra: Material do Tampão do Porta-malas – Porta- Pacotes

Especificações / NormaA: 1) Conforme Método de Testes de Laboratório Ford – WSS-M15P6-D – Item 3.12 = “SURFACE LAMINATE PLY ADHESION”

2) Engineering Material Specification FORD – WSS-M15P6-D – Item 3.6 = “HEAT AGING “

3) Método de Testes Laboratório FORD – WSS-M15P6-D- Item 3.8 = “DROOP “

4) Método de Testes Laboratório FORD – BO 131 – 01
“ DETERMINATION AND ASSESSMENT OF ODOR FROM RESIN-
-BONDED HEADLING OR RELATED MATERIALS AND PARTS”.

5) Engineering Material Specification FORD – WSS-M15P6-D- Item 3.14 = “ RESISTANCE TO MILDEW “ .

Data dos ensaios: 07 a 27 de Fevereiro de 2008.

Local do ensaio: Laboratório de Ensaios Johnson Controls - Centro Tecnológico

Coordenadores: Paulo Ferreira e Jeffer Nascimento – **POLYPACK ASSESSORIA TECNICA LTDA.**

Técnico responsável pelo ensaio: Zeuxis Lua Seda

QUADRO GERAL DOS RESULTADOS									
ENSAIO ➡	HEAT AGING		SURFACE ADHESION			DROOP		FUNGO	ODOR
DESCRIÇÃO AVALIAÇÃO ➡ /	VARIAÇÃO DIMENSIONAL (mm)	LAUDO	ORIGINAL	APÓS ENVELHEC	APÓS UMIDADE	DEFLEXÃO MÁX. 100,0	LAUDO	LAUDO	LAUDO
JUTA 2600	15,13		REPR	REPR (VIROU PÓ)	APR	0,84	APR	REPR	100% REPR
SISAL 2000	17,60	MAIOR VALOR	REPR	REPR	APR	0,92	APR	APR	100% APR
SISAL 2400	13,94	MENOR VALOR	REPR	REPR	APR (MELHOR RESULTADO)	0,65	APR	APR	50%

CONCLUSÃO:

CONSIDERANDO A PERFORMANCE GERAL E VARIAÇÕES OBSERVADAS DURANTE OS TESTES, PODEMOS CONCLUIR QUE OS MELHORES RESULTADOS FORAM OBTIDOS COM A PEÇA PRODUZIDA COM: SISAL 2400 / SISAL 2000.

Informações complementares:

- Os testes foram realizados nos laboratórios da empresa Johnson Controls – Centro Tecnológico.
Supervisão: Técnico Responsável : Sr. Zeux Lua Seda
- Coordenação Geral: POLYPACK ASSESSORIA TÉCNICA LTDA
Responsáveis: Paulo Ferreira e Jeffer Nascimento.