



Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Programa Interunidades

unesp 

Mestrado

Engenharia Civil e Ambiental

JOÃO PAULO MORETTI

**RECICLAGEM DE ISOLANTES TÉRMICOS PRESENTES EM
DEFLETORES DE CALOR AUTOMOTIVOS**

Bauru
2012



JOÃO PAULO MORETTI

**RECICLAGEM DE ISOLANTES TÉRMICOS PRESENTES EM
DEFLETORES DE CALOR AUTOMOTIVO**

Dissertação apresentada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Área de Concentração Saneamento.

Orientador: Prof. Dr. Sandro Donnini Mancini

Bauru
2012



Moretti, João Paulo.

Reciclagem de isolantes térmicos presentes em
defletores de calor automotivos / João Paulo Moretti,
2012

70 f. : il.

Orientador: Sandro Donnini Mancini

Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual
Paulista. Câmpus Experimental de Sorocaba, Sorocaba,
2012

1. Materiais isolantes. 2. Deflexão (Tecnologia).
3. Reciclagem - Indústria. I. Universidade Estadual
Paulista. Câmpus Experimental de Sorocaba. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE JOÃO PAULO MORETTI, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 18 dias do mês de dezembro do ano de 2012, às 14:00 horas, no(a) SALA DE VIDEOCONFERÊNCIA DO CÂMPUS EXPERIMENTAL DA UNESP DE SOROCABA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI do(a) Câmpus Experimental da UNESP / Unidade de Sorocaba, Profa. Dra. JANE MARIA FAULSTICH DE PAIVA do(a) Departamento de Engenharia de Produção / Universidade Federal de São Carlos - UFSCar, Profa. Dra. MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES do(a) Câmpus Experimental da UNESP / Unidade de Sorocaba, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de JOÃO PAULO MORETTI, intitulado "RECICLAGEM DE ISOLANTES TÉRMICOS PRESENTES EM DEFLETORES DE CALOR AUTOMOTIVOS". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: APROVADO . Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.



Prof. Dr. SANDRO DONNINI MANCINI



Profa. Dra. JANE MARIA FAULSTICH DE PAIVA



Profa. Dra. MARIA LUCIA PEREIRA ANTUNES

Dedico esse trabalho à minha esposa Sarah, meus pais, meus sogros e meus irmãos

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Elring Klinger, na pessoa do Sr. Hans (diretor geral) e de meus superiores na época, que entenderam a importância da realização do presente trabalho e da elaboração desta dissertação.

Agradeço ao professor Sandro Donnini Mancini, pela orientação, paciência e insistência nesse projeto ao longo do percurso de execução desse trabalho e por sua amizade sincera desde o primeiro semestre da graduação.

Agradeço à colaboração da empresa Auster Papéis e de seus proprietários, Sr. Jovir e Sr. Abel, que auxiliaram no desenvolvimento do trabalho.

Agradeço aos pesquisadores dos laboratórios da Schaeffler e da UFSCar pelo auxílio em algumas análises.

Agradeço aos professores do programa de pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental pelo apoio, aprendizado e auxílio tanto nas disciplinas quanto necessidade para a execução do projeto.

Agradeço à minha família pela compreensão de minha ausência aos fins de semana para a elaboração dos trabalhos relacionados ao mestrado.

Agradeço à Sarah, minha esposa, a quem devo toda a minha dedicação e esforço por me apoiar e acompanhar em todas as decisões.

Agradeço ao meu Pai, Eliseu por seus conselhos e por desenvolvimento de minha ética

Agradeço à minha mãe, Mafalda por seu carinho e compreensão incondicional.

Agradeço aos meus sogros, Vanderlei e Conceição que são como segundos pais.

Agradeço aos meus irmãos, Luis Fernando e Diogo pelas brigas que me fizeram crescer como ser humano.

Agradeço aos meus verdadeiros amigos, que nunca me abandonaram e que apesar dos percursos, ainda somos como irmãos. Guilherme, Rafael, André e José.

Resumo

Os defletores de calor automotivos são constituídos de uma carcaça de aço aluminizado que envolve um isolante térmico, fisicamente bastante semelhante ao papel, entretanto com uma composição elevada de partes inorgânicas, chegando a cerca de 80% do material seco. Esses materiais são utilizados para a proteção de vários componentes fundamentais nos veículos presentes em locais de temperaturas extremamente elevadas, tais como o bloco do motor e o sistema de exaustão de gases. Essa proteção garante a integridade de peças vitais sensíveis ao calor, como por exemplo, os circuitos eletro-eletrônicos. Neste trabalho, recortes do elemento defletor de calor foram reciclados em sistema manual e em escala industrial e propriedades como espessura, densidade, compressibilidade, retorno, teor de cinzas, efetividade da deflexão de calor, além de análise por termogravimetria e microscopia eletrônica de varredura com acoplamento de sistema de energia dispersiva (EDS) foram realizados. Os produtos reciclados demonstraram resultados positivos quanto aos ensaios de deflexão de calor, teor de cinzas, ensaio termogravimétrico e visualmente dos espectros de energia dispersiva, indicando a manutenção da composição geral do material após os processos de reciclagem realizados. Os resultados dos ensaios físicos, como espessura, densidade, resistência à tração após quatro horas a cem graus Celsius, resistência à tração após 22 horas a 200 graus Celsius, compressibilidade e retorno, compressibilidade e retorno após 22 horas a 200 graus Celsius, apontaram variações de acordo com a prensagem exercida no material, indicando a necessidade de melhorias nos processos de reciclagem utilizados.

Palavras-chave: Resíduos Industriais, Isolantes térmicos, Reciclagem, Defletores de Calor.

Abstract

The automotive heat shields are made of an aluminized steel housing that surrounds a thermal insulator, physically quite similar to paper, though with a composition of inorganic parts high, reaching about 80% of dry material. These materials are used to protect several key components in vehicles sites present in extremely high temperatures, such as the engine block and the exhaust gas system. This protection ensures the integrity of vital parts sensitive to heat, such as electric and electronic circuits. In this paper, clippings element baffle heat were recycled in manual and industrial scale and properties such as thickness, density, compressibility, recovery, ignition loss, effectiveness of heat deflection, and thermogravimetric analysis and scanning electron microscopy with coupling energy dispersive system (EDS) were performed. The recycled product showed positive results regarding heat deflection tests, ash content, thermogravimetric test and visually energy dispersive spectra, indicating maintaining the overall composition of the material after recycling processes performed. The results of the physical tests such as thickness, density, tensile strength after four hours at one hundred degrees Celsius tensile strength after twenty-two hours to two hundred degrees Celsius, and recovery, compressibility, compressibility and recovery after twenty-two hours to two hundred degrees Celsius, showed variations according to the press exerted on the material, pointing to the need for improvements in recycling processes used.

Key Words: Industrial Wastes, Thermal Insulators, Recycling, Heat Shields.

Índice de Figuras

Figura 1: Isolação térmica realizada pelo material Elrotherm® ML.....	4
Figura 2: Croqui exemplificando o máximo aproveitamento do material isolante térmico..	6
Figura 3: Representação esquemática genérica do ciclo de vida de um produto.	16
Figura 5: Pulper adaptado de um motor WEG de 15cv.....	19
Figura 6: Esquema representativo do processo de reciclagem manual	20
Figura 7: Esquema representativo do processo de reciclagem de isolantes térmicos	22
Figura 8: Esboço do sistema de aquecimento e alocação dos termo-pares	28
Figura 9: Resultados das espessuras dos materiais avaliados.	29
Figura 10: Resultados das densidades dos materiais avaliados.....	29
Figura 11: Perda de massa por ignição dos materiais avaliados.....	31
Figura 12: Resistência à tração na ruptura dos materiais avaliados	32
Figura 13: Resistência à tração na ruptura dos materiais após 200 °Cpor 22horas.....	33
Figura 14: Compressibilidade dos materiais avaliados.	34
Figura 15: Compressibilidade medida após 22horas a 200°C.	35
Figura 16: Retorno dos materiais avaliados.	35
Figura 17: Retorno medido após 22horas a 200°C dos materiais avaliados.....	35
Figura 18: Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura.....	39
Figura 19: Espectro de energia dispersiva da amostra do material reciclado industrial.....	39
Figura 20: Curvas termogravimétricas dos materiais estudados.	41
Figura 21: Curvas de aquecimento e de isolamento térmica.	44

Índice de Tabelas

Tabela 1: Perdas de massa ocorridas durante a realização do ensaio termogravimétrico do material original, reciclado manual e prensado duas vezes e reciclado industrial prensado para determinadas faixas de temperatura, bem como o principal provável motivo de cada perda.	42
Tabela 2: Massas residuais após 310oC, 620oC e 800oC e o teor de cinzas das amostras.	46

Sumário

RESUMO	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE DE FIGURAS	III
ÍNDICE DE TABELAS	IV
SUMÁRIO	V
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 DEFLETORES DE CALOR	4
3.2 ISOLANTE TÉRMICO	6
3.3 OS IMPACTOS DA INDÚSTRIA DE PAPEL E DE FABRICAÇÃO DE ISOLANTES TÉRMICOS.....	7
3.4 SISTEMAS PRODUTIVOS DE PAPEL	9
3.5 ECOLOGIA INDUSTRIAL.....	10
3.5.1 <i>Produção mais Limpa</i>	11
3.5.2 <i>O Desenvolvimento da Reciclagem na Indústria</i>	12
3.5.3 <i>A ISO 14001: Gestão Ambiental e sua Aplicação para o Desenvolvimento das Empresas</i>	13
3.5.4 <i>Avaliação do Ciclo de Vida</i>	15
4 MATERIAIS E MÉTODOS	18
4.1 RECICLAGEM MANUAL.....	18
4.2 RECICLAGEM INDUSTRIAL	20
4.3 ENSAIOS COM OS DEFLETORES DE CALOR PRODUZIDOS MANUAL E INDUSTRIALMENTE	23
4.3.1 <i>Determinação da Espessura do Material</i>	24
4.3.2 <i>Determinação da Densidade</i>	24
4.3.3 <i>Determinação da perda de massa por ignição</i>	24
4.3.4 <i>Determinação da Resistência por Tração</i>	25
4.3.5 <i>Determinação da Compressibilidade e retorno</i>	25
4.3.6 <i>Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva</i>	26
4.3.7 <i>Análise Termogravimétrica</i>	27
4.3.8 <i>Determinação da Capacidade de Isolação Térmica</i>	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1 ESPESSURA	29
5.2 DENSIDADE.....	29

5.3	PERDA DE MASSA POR IGNIÇÃO.....	31
5.4	DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO.....	32
5.5	DETERMINAÇÃO DA COMPRESSIBILIDADE E RETORNO.....	34
5.6	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA E ESPECTROSCOPIA DE ENERGIA DISPERSIVA.....	37
5.7	ANÁLISE TERMOGRAVIMÉTRICA.....	40
5.8	DETERMINAÇÃO DA CAPACIDADE DE ISOLAÇÃO TÉRMICA.....	44
6	CONCLUSÕES.....	49
6.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	51
6.2	PRÓXIMAS ETAPAS DO TRABALHO.....	51
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52

1 INTRODUÇÃO

Os defletores automotivos são componentes fundamentais nos veículos, por possuírem características de deflexão do calor presente em locais de temperaturas extremamente elevadas, tais como o bloco do motor e o sistema de exaustão de gases. Essas características garantem a integridade de peças vitais sensíveis ao calor, como por exemplo, os circuitos eletro-eletrônicos. Os defletores de calor são extremamente importantes para a estabilidade térmica dos motores, o que permite manter a eficiência de funcionamento destes. Além disso, garantem uma significativa redução das emissões de gases, devido à capacidade de manterem o motor a elevadas temperaturas, mantendo a eficácia na conversão dos gases nos catalisadores dos veículos, os quais também demandam elevadas temperaturas para seu correto funcionamento. Componentes semelhantes também podem ser destinados ao abafamento acústico.

O defletor de calor automotivo do caso estudado é basicamente constituído da combinação de duas camadas metálicas, fabricadas em aço aluminizado, que possuem internamente um material cuja trabalhabilidade é semelhante a do papel, tendo a finalidade de isolante térmico. A composição desse “papel” inclui cerca de 80% de seu peso em materiais como silicatos, aluminatos e óxido de titânio, que são largamente utilizados nas indústrias de fornos e de materiais refratários. Isso garante uma deflexão efetiva que chega a 93% de eficiência, suportando temperaturas de trabalho de cerca de 1100° C.

Os indicadores ambientais de uma empresa fabricante de defletores automotivos no Brasil, bem como a pressão por melhoria contínua de sua gerência por conta de política própria e manutenção do sistema de gestão ambiental, auxiliaram a realização deste estudo.

A necessidade de desenvolvimento de reciclagem foi a solução escolhida devido ao destino de quantidade elevada de resíduos, que ainda possuem valor ambiental ou industrial, a aterros e finalizações como passivos, considerando também nesse caso a questão econômica. Enquanto eventuais resíduos da parte metálica dos defletores são facilmente encaminhados à reciclagem em instalações específicas, os resíduos em forma de

papel são destinados a aterros sanitários aprovados, licenciados e fiscalizados pelos órgãos ambientais pertinentes.

O objetivo deste trabalho é estudar a reciclagem do material isolante dos defletores de calor. Por ser semelhante ao papel, o recorte no tamanho adequado a cada defletor gera aparas de material sem qualquer uso. Sua reciclagem seria interessante, pois atualmente as aparas são encaminhadas a aterro sanitário, ao mesmo tempo em que o país importa o material novo para a produção de novas peças. Assim, a recuperação dessas aparas significaria a economia de recursos naturais e financeiros.

Entretanto, quando se avalia a questão de desperdício de materiais e a energia do sistema, considerando questões como ecologia industrial, melhoria contínua de processos e o ciclo de vida do material, observa-se a necessidade de desenvolvimento de reciclagem desse material. Isso porque se evidenciam questões de cunho ambiental, que são matéria comum entre os estudiosos, além da questão econômica. Dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2012), apontam a produção atual anual de 4,3 milhões de automóveis, sendo em média a existência de três defletores para cada veículo com este tipo de tecnologia. Informações de indústria fabricante de defletores dão conta que, à época de desenvolvimento deste estudo, o preço por quilograma do material girava em torno de R\$ 5,00 (cinco reais) e a geração de aparas no processo de corte das peças era de aproximadamente 4,5 toneladas por mês. Dessa forma, a despeito de se encaminhar para a disposição final de um material sem uso, há que serem considerados os custos de transporte e do próprio aterramento desta quantidade, bem como da importação de quantidades semelhantes às enviadas para aterro. Isso representa, para a empresa, a despesa de oitenta a cem mil reais por mês.

Para demonstrar que os objetivos propostos foram atingidos, esse documento apresenta, além desta *Introdução* (Capítulo 1), os *Objetivos* Gerais e Específicos deste estudo (Capítulo 2), seguido de uma *Revisão Bibliográfica*, que abrange tanto a deflexão/defletores de calor, os impactos da indústria de papel e a ecologia industrial (Capítulo 3), os *Materiais e Métodos* utilizados na fase experimental da pesquisa (Capítulo 4), os *Resultados e Discussões* (Capítulo 5), as *Conclusões* (Capítulo 6), as *Referências Bibliográficas* (Capítulo 7) e os *Anexos*.

2 OBJETIVOS

O objetivo desse trabalho é demonstrar a viabilidade técnica da reciclagem do isolante térmico utilizado em defletores de calor automotivos. Para tanto, utilizou-se de conceitos básicos da reciclagem de papel e realizou-se um estudo comparativo com a matéria-prima original, objetivando-se a sua substituição parcial no processo produtivo.

Para isso foi desenvolvido um processo de reciclagem em pequena escala, denominado neste trabalho de processo de reciclagem manual. Em parceria com uma empresa papelreira para o aumento da escala de produção e da reprodutibilidade dos parâmetros de qualidade do material, foi desenvolvido o processo de reciclagem industrial.

Foram realizadas medidas dos parâmetros físicos específicos dos materiais reciclados para a aceitação do material como matéria-prima na empresa detentora da tecnologia. Itens como espessura, compressibilidade, retorno, resistência à tração e teor de cinzas são exigidos como parâmetros básicos de aceitação pelo departamento de qualidade do processo produtivo de defletores de calor automotivos.

Uma comparação química entre os materiais também foi realizada para demonstrar a manutenção dos elementos responsáveis pela deflexão de calor, bem como ensaios de isolamento térmico, de degradação térmica do material e imagens das estruturas microscópicas de formação do material.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 DEFLETORES DE CALOR

A Figura 1 apresenta as características de isolamento térmico do material do defletor de calor automotivo considerado para este estudo (Elrotherm® ML), em comparação com outro semelhante. Observa-se que mesmo estando a 25mm de uma fonte de calor de cerca de 800°C, componentes críticos do veículo são submetidos a no máximo de 100°C de aquecimento quando há a inserção do defletor entre eles.

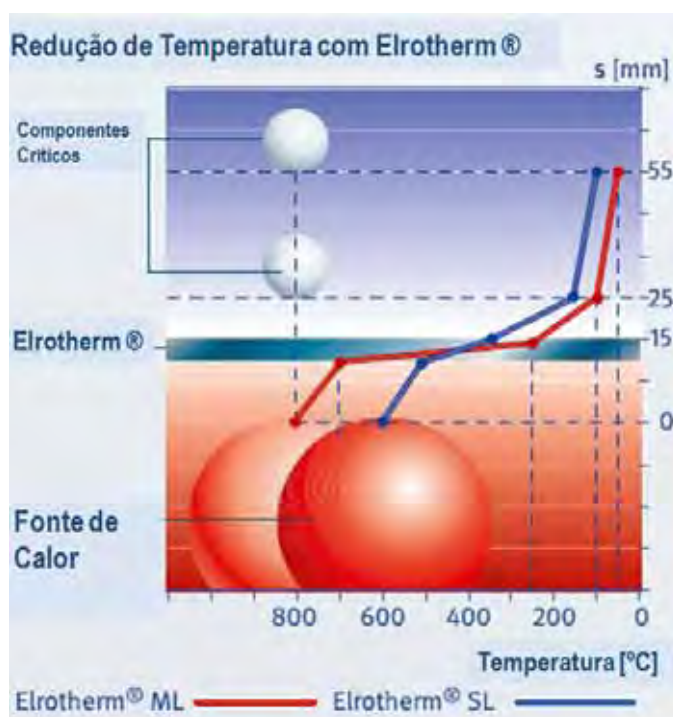


Figura 1: Isolação térmica realizada pelo material Elrotherm® ML em comparação a outra tecnologia do mesmo fabricante (Elrotherm® Shielding Systems, 2010).

Os defletores de calor automotivos podem variar de composição, dependendo de sua aplicação. Porém, podem ser divididos em três grandes grupos (ELRINGKLINGER, 2011):

- Defletores de calor para partes de temperaturas extremamente elevadas, com máxima temperatura de 1.100 °C, utilizados para a proteção ao bloco do motor, coletor de escape/ catalisador e barra de direção;
- Defletores de calor protetores do ambiente interno do veículo, com máxima temperatura de 600 °C, utilizados na proteção entre o escape e o *underbody* do veículo (Túnel do escape) e protetores dos tanques de combustíveis.
- Demais defletores existentes com finalidades termo-acústicas.

Os defletores de calor de temperaturas extremamente elevadas geralmente são compostos de chapas mais espessas e materiais isolantes em seu interior. Na característica dessas chapas, geralmente há a inserção de alumínio na liga do material metálico, que tem a dupla finalidade de redução da transmissão de calor e redução do peso da peça (ELRINGKLINGER, 2011).

O material de preenchimento, geralmente é composto de cerâmicas com alto teor de silicatos e aluminatos e possuem a característica de isolamento. Porém sua resistência à água ou mesmo à sua maleabilidade para abraçar as partes vitais é baixa e necessita de uma chapa de proteção, uma vez que sem esta seria extremamente pesada considerando a espessura necessária para adquirir essa resistência mecânica (ELRINGKLINGER, 2011).

Os fabricantes divergem-se na característica física do material isolante, entretanto a condição química sempre gira em torno de aluminatos, silicatos e micas. Alguns fabricantes utilizam fibras dispersas, distribuídas no interior do defletor como um algodão. Outros utilizam o material cerâmico pulverizado, disperso em forma de pasta mecânica celulósica seca, como um papel. Este formato é o mais utilizado devido a sua facilidade de produção e de manejo, sendo entregue na forma de bobinas com 1,2 metros de largura que alimentarão sistemas de corte na medida de cada defletor sob encomenda, gerando aparas constituídas do espaço que sobrou entre um recorte e outro. O “papel” já recortado será colocado entre as chapas metálicas e o conjunto será destinado à prensa de fechamento do “sanduíche”. Após esse procedimento a dinâmica de produção, ou seja, a de conformação das peças para se alcançar os formatos finais da peça, variando os encaixes e os projetos de cada fabricante, é a mesma para todos os tipos diferentes de defletores. (ELRINGKLINGER, 2011; DANA, 2011; SAWNA, 2011).

3.2 ISOLANTE TÉRMICO

Como tentativa de desenvolvimento da redução da geração de resíduos do material isolante do defletor de calor automotivo estudado (“papel”), podem ser desenvolvidos trabalhos para a disposição das peças no momento da estampagem, corte no formato adequado para cada defletor, onde a matéria-prima é desenrolada das bobinas. Geralmente softwares matemáticos otimizam a estampagem do material isolante de um defletor, como apresentado na Figura 2, visando a menor geração de aparas possível.

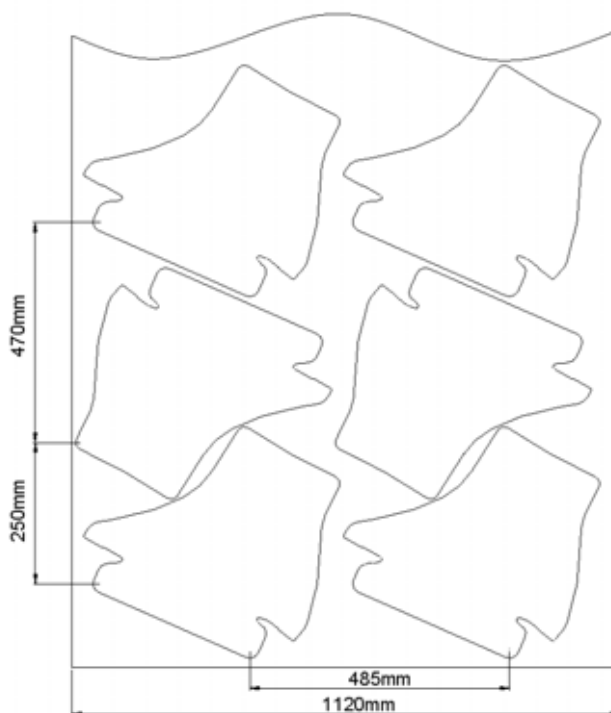


Figura 2: Croqui exemplificando o máximo aproveitamento do material isolante térmico para a confecção de defletores de calor automotivo, com medidas em milímetros.

As tentativas de Reutilização podem seguir duas linhas. Uma delas consiste em um aproveitamento no momento de estampagem, aproveitando os espaços livres que seriam dados como resíduos. Entretanto, para tal desenvolvimento, seriam necessárias alterações comerciais, tais como modificações das dimensões da bobina e da produtividade, uma vez que nas características do empreendimento onde se realizou o estudo, cada modelo de peça possui quantidades muito variadas de vendas durante o mês. Mesmo após todas essas alterações ainda existiriam resíduos durante os projetos de adaptação para o reuso.

Outra forma de Reutilização que se confunde com a própria reciclagem, seria o aproveitamento dos resíduos para outros processos industriais, tais como a utilização das aparas em agregados de resíduos para o desenvolvimento de isolantes térmicos civis, telhas, tapumes, blocos cerâmicos e materiais refratários. Tal atividade, porém, encontra

muita resistência de aceitação no mercado, por se tratar de um produto novo e derivado de resíduos de processos industriais, mesmo quando caracterizados como não perigosos. (RANKIN, 2011).

Assim, a reciclagem parece ser a saída viável para dar valor a esse resíduo, uma vez que as tecnologias de reciclagem de papéis são existentes (embora possam ser consideradas caras) e o mercado para a aceitação é a própria indústria geradora do resíduo.

É pauta recente, por meio da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a tendência de exigir dos atuantes da sociedade, entre eles os fabricantes, o desenvolvimento de processos para a redução, reutilização e reciclagem de resíduos. Esta, porém, ainda é um pouco nebulosa quanto à definição de limites de responsabilidades e prazos (BRASIL, 2010).

Além dos benefícios econômicos e ambientais diretos, a reciclagem costuma ser menos impactante que processos de obtenção de matérias-primas originais com relação ao consumo de energia elétrica, de extração de matérias-primas novas e consumo de água e combustíveis em todas as etapas (MANO, PACHECO & BONELLI, 2005).

3.3 Os Impactos da Indústria de Papel e de fabricação de Isolantes Térmicos

Na produção de matérias-primas para a fabricação do papel utilizam-se, além de uma área para o desenvolvimento das atividades, outros insumos como fertilizantes, defensivos agrícolas, combustíveis (para o transporte dos materiais dentro de seu fluxo de processo) e insumos dentro dos processos produtivos (principalmente químicos, água e energia) (GALDIANO, 2006).

Em geral, a indústria do papel consome grandes quantidades dos recursos naturais, especialmente água e energia. Assim, possui impactos significativos sobre o meio ambiente. Gera grandes volumes de águas residuais que adversamente afetam os recursos hídricos. A poluição da água da indústria de celulose e papel inclui sólidos suspensos, bioquímicos demanda de oxigênio (DBO), toxicidade, e cor (XIN, 1998; Van GINKEL et al. 1999).

A prospecção de aluminatos e silicatos em geral demanda a mineração de áreas, restando desses processos extensas áreas degradadas (ISAIA & GASTALDINI, 2004), grande quantidade de resíduos e emissão de poluentes atmosféricos danosos à saúde do homem (SANTI & SEVA, 1999).

Já quanto ao setor de produção de fibras virgens é rotulado como uma atividade negativa do ponto de vista ambiental, uma vez que a celulose origina-se principalmente de uma espécie vegetal e seu uso em referido processo pode promover a degradação ambiental, o empobrecimento do solo, assoreamento de corpos d'água e a redução da permeabilidade dos solos nos locais de plantio (TSUKAMOTO & SABANG, 2004).

Além dos aspectos físico-químicos envolvidos na questão, a biodiversidade é extremamente afetada em monoculturas, devendo ser consideradas técnicas de manejo dessas áreas, para a manutenção das espécies importantes para os ecossistemas que se encontram envoltos às plantações (TSUKAMOTO & SABANG, 2004).

Estudos referentes à produção de celulose e papel indicam que a produção mundial destes materiais, oriundos de madeiras, corresponde a cerca de 50 milhões de toneladas anuais, o que por consequência gera mais de 62 milhões de metros cúbicos de efluentes por ano, volume esse equivalente a um consumo de 200 milhões de pessoas (PERALTA-ZAMORA, et al. 1996).

As vantagens ambientais da reciclagem de papel comparadas à produção de celulose oriunda de fontes virgens, não são pontos comuns entre os especialistas da área. Apesar da indústria da reciclagem de papel ter o valor de reaproveitar as fibras descartadas, geram grande quantidade de efluentes com elevada demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos em suspensão etc., além de emissões atmosféricas para a secagem desses materiais. (LIMA, 1996).

A produção de papel oriundo de fibras virgens por sua vez tem elevadas emissões de efluentes líquidos e atmosféricos, entretanto, na maioria dos casos, esses processos são desenvolvidos por empresas de grande porte e que possuem maior controle de qualidade de seus efluentes (CETESB, 2008). Há também que se considerar a produção de eucalipto e pinus como um sumidouro de carbono da atmosfera, um dos grandes responsáveis pelo efeito estufa. (LIMA, 1996)

Para a produção de papéis isolantes térmicos de defletores de calor automotivos não existem muitos trabalhos conclusivos quanto da avaliação de impactos ambientais. Contudo os materiais inorgânicos utilizados no isolante térmico deste estudo são basicamente os mesmos utilizados pela indústria da construção, entretanto em menor escala.

3.4 Sistemas Produtivos de Papel

A formação do papel consiste da disposição das fibras celulósicas em sistemas formadores e a remoção da água contida nestas fibras. Abassi&Abassi (2004) descrevem os percentuais, sendo que no sistema de pulper (dissolução das fibras) a relação entre fibras e teor de água são 4% e 96% respectivamente, sendo que no final do processo, no sistema secador das fibras, esta diferença modifica-se para 93% e 7% respectivamente.

No mesmo trabalho, os autores descrevem as etapas existentes nos processos produtivos de papéis, onde seguem:

O pulper, semelhante a um liquidificador, tritura os materiais e os dissolve. O clareador de alta densidade consiste em clarear a polpa de celulose. Na sequência do processo, há uma superfiltração, removendo as impurezas. O separador de fibras consiste em reduzir o tamanho das fibras no processo para aumentar a homogeneidade da massa a ser formada.

Depois de separado, o material passa por um clareamento de baixa densidade. Nesta etapa a relação de polpa e água chega à razão de 1 para 99% respectivamente. Bombas de vácuo, prensas e aquecedores são utilizados para se remover o excedente de água e se adequar a espessura e umidade final respectivamente.

De acordo com Kumar, (1990) os sistemas atuais de formação de papel nas indústrias são consistidos em quatro principais sistemas, onde seguem:

1) Tapete de fios (Telas de formação de papel): fornecem a largura do papel e ajudam na remoção da água do sistema, também conhecidos como caixa formadora. Estes materiais são consistidos de telas com fios de poliamida que mantêm as fibras de papel sobre as malhas para que sofram os processos produtivos. Esta etapa segundo Sachdeva, et al. (2008) é conhecida como unidade formadora.

2) Ainda nesta etapa as bombas de vácuo são itens fundamentais e realizam a sucção da água do papel em formação. Nos processos são comuns a colocação de algumas bombas em série.

3) Rolos formadores em série: Após a drenagem da água excessiva do material realizam os processos de moldagem, adequação da espessura e homogeneidade da superfície do material.

4) Cinta sintética: Transpassa o papel formado nos rolos prensadores e conecta até os rolos de secagem aquecidos. Os dois últimos itens são partes da unidade de prensagem.

5) Rolos de secagem: Abastecidos normalmente por vapor oriundo de caldeiras, esta etapa é conhecida como sistema de secagem.

Sachdeva, et al. (2008) simplifica os sistemas de produção de papel em três unidades, sendo o primeiro a unidade formadora, munida da mesa formadora com rolos com a finalidade de se obter a homogeneidade da superfície do papel e bombas de sucção para a remoção da água excedente. A etapa intermediária, conhecida como unidade de prensagem é projetada para o atendimento à espessura do material bem como para o desenvolvimento de propriedades de resistência à tração. A etapa final, descrita pelo autor como unidade de secagem tem em seu arranjo rolos aquecidos por unidades de vapor.

3.5 Ecologia Industrial

A Ecologia Industrial ganhou popularidade com o passar do tempo e é definida como uma sistemática organizacional, ou como uma ferramenta na gestão ambiental de um empreendimento (VILELA JUNIOR, 2006).

Provê aos sistemas produtivos a forma dos sistemas naturais, sendo a parte integrante de um meio produtivo, onde as cadeias são definidas por ciclos, o que caracterizam um desempenho ambiental diferenciado (SARKIS, 2003).

Essa ferramenta identifica e estrutura estratégias operacionais primárias que possibilitam decisões diferenciadas para as empresas. Essas estratégias podem direcionar parcerias de fornecedores da empresa, tipos de tecnologia a introduzir no processo ou qual a prática organizacional a adotar. (VILELA JUNIOR, 2006).

Segundo Sarkis (2003), a ecologia industrial é definida em três níveis. Esses níveis são caracterizados de acordo com a quantidade de reciclagem ou reuso de material dentro de um sistema. O primeiro nível é o ciclo completamente fechado, sem material ou energia abandonando o sistema. É como em um parque industrial ideal, onde as energias e resíduos produzidos preenchessem as necessidades das empresas vizinhas. Calor, resíduos e efluentes são matérias primas neste nível de ecologia. O terceiro nível é o completamente aberto, com pouco material ou energia restantes no sistema, uma vez consumidos. Como exemplo um processo produtivo onde se consome apenas matérias-primas fabricadas e/ou preparadas para aquele propósito e os resíduos, efluentes e energias são dispostos ao meio sem o aproveitamento ecológico.

O segundo nível caracteriza-se por alguma geração de energia e material, que são passíveis de serem reutilizados no sistema. Este é o que mais se aplica aos modelos

industriais, e que a cadeia de suprimento gerencia para a redução dos custos e otimização dos processos (SARKIS, 2003).

3.5.1 *Produção mais Limpa*

Conceitos como tecnologia limpa e produção mais limpa são instrumentos nos processos em mudança, no que configura de controle da poluição para prevenção da poluição. A experiência das indústrias que trabalham para a prevenção gera economia e ao mesmo tempo menos poluição (UNEP, 2002).

Até pouco tempo esse conceito foi utilizado individualmente pelas empresas. Para o novo conceito de ecologia industrial as empresas e suas vizinhanças são inclusas em processos de negociação entre si, desenvolvendo alianças entre as companhias.

Segundo Boons & Baas (1997), o ritmo acelerado de esgotamento de recursos é um incentivo para o desenvolvimento de conceitos inovadores que podem estimular atores corporativos para levar a medidas necessárias em busca do desenvolvimento sustentável. A perspectiva da ecologia industrial é um exemplo deste conceito. Sua premissa básica é que o sistema industrial (segundo ou terceiro nível) deve ser modificado de modo a imitar o ecossistema em sua operação global (primeiro nível).

O sistema industrial é definido como um conjunto de processos industriais que consistem em tecnologias, materiais e energia. Este sistema deve ser tratado como uma teia onde interagem os insumos, processos e resíduos (COSTA, 2002).

A demanda de energia deve ser minimizada, bem como a geração de resíduos e o consumo de recursos. Os resíduos industriais e os produtos descartados devem ser usados como entradas para os processos industriais (os mesmos ou outros) de forma análoga à ciclagem de nutrientes por organismos em uma cadeia alimentar (SETTE, 2010).

Os sistemas devem ser diversificados e resilientes, com a finalidade de absorver e se recuperar de choques inesperados, como comparação aos ecossistemas equilibrados, onde mesmo após impactos, com o tempo adequado, são recuperados por si só (COSTA, 2002).

Um ecossistema biológico evolui rumo a um local-equilíbrio através do mecanismo evolucionário que opera por meio dos processos de seleção das variáveis genéticas e reprodução no nível de organismos, chegando a um estado de equilíbrio. Uma indústria pode se comportar de forma semelhante, buscando também um equilíbrio (SETTE, 2010).

3.5.2 *O Desenvolvimento da Reciclagem na Indústria*

Geralmente as pesquisas sobre a reciclagem de resíduos são limitadas para o desenvolvimento técnico e numa tendência mais atualizada, considerando e analisando os impactos ambientais dos processos. Todavia, os desenvolvimentos da reciclagem dos materiais são assumidos e assegurados, caso gere além dos objetivos ambientais esperados, benefícios sociais, tais como a movimentação da economia, geração de empregos, redução do volume utilizado em aterros, minimização das possibilidades de ocorrência de impactos ambientais e que considerem a saúde da população. A redução dos custos durante a gestão de resíduos e a geração de receita através do desenvolvimento do material reciclado é geralmente o argumento principal para incentivar os investimentos e trabalhos sobre o tema (JOHN & ÂNGULO, 2003).

O histórico da geração de resíduos por unidade de tempo, geralmente presente nos indicadores industriais, é de extrema relevância para verificar uma necessidade possível de estrutura para o desenvolvimento dos projetos de reciclagem, a escala de produção a ser assumida e a possibilidade de crescimento da geração de resíduos durante o processo e as variações da produção (SANTOS, 2005).

Quando a geração de resíduos para um possível desenvolvimento é baixa, as possibilidades de negociações e desenvolvimento de processos se limitam pelo baixo retorno financeiro e pela necessidade, em longo prazo, de armazenamento de uma dada batelada de produção do material reciclado. Entretanto há também uma saída estratégica, como para agregados ou constituintes de compósitos, dos quais sempre vão necessitar de uma carga pequena de material, sendo que resultará num produto final oriundo de diversos resíduos em quantidades pequenas. Exemplos desses materiais são os compósitos de cimento com cinzas de alto-fornos, resíduos em geral incorporados ao concreto, painéis de agregados de resíduos, plásticos com inclusão de fibras de diversos tipos de resíduos, etc (NEWELL, 1998).

Os balanços de massa são fatores extremamente importantes a serem considerados, uma vez que podem existir diversos interferentes nos resíduos, tais como água, outros resíduos misturados, contaminantes dos processos etc. A relação de geração de resíduos em relação à produção pode ser uma alternativa segura para indicadores ambientais de resíduos, caso existam valores possíveis de validação com a produção da empresa, bem como, uma forma segura de gerar estimativas por meio do cálculo de produção mensal (ROLDAN, 2004).

De acordo com a Agência de Proteção Ambiental dos EUA (EPA, 2011), significativa parcela das empresas de um modo geral não possui os sistemas de contabilidade que beneficiem esse tipo de avaliação, fator esse que dificulta em muito a tomada de decisão para a aprovação de diversos projetos ambientais lucrativos. Ainda de acordo com essa publicação, os custos ambientais podem chegar até a 20% dos custos totais e geralmente estão alocados em outros departamentos, como os produtivos, os de planejamento da produção e logística.

Diversos são os custos e lucros que não são computados devido a sua difícil contabilização. Esses valores geralmente são caracterizados dentro das licenças ambientais necessárias para o início dos processos ambientais de envio de resíduos, para a construção e operação de suas plantas. Existem ainda custos que interferem na imagem da empresa como ambientalmente ineficiente, tais como notícias jornalísticas que denunciam atividades irregulares realizadas pela empresa e propagandas negativas conhecidas também como “boca-a-boca” pela população da comunidade onde a empresa está instalada (TUKKER, 1994).

O entendimento do processo de produção responsável pela geração de um resíduo industrial é o ponto fundamental no processo de busca da reciclagem. O estudo do processo e de suas matérias-primas fornece informações importantes quanto a potencial composição química do resíduo e do produto reciclado, bem como a possíveis fontes de variabilidade. (JOHN & ZORDAN, 2000).

3.5.3 A ISO 14001: Gestão Ambiental e sua Aplicação para o Desenvolvimento das Empresas

Uma das normas internacionais voluntárias é a ISO 14001, International Organization for Standardization (ISO, 2004) desenvolvida para vir ao auxílio das organizações para o desenvolvimento econômico-financeiro, minimizando os impactos gerados pelas atividades ao meio ambiente. Segundo Moretti (2008), a norma basicamente especifica a necessidade de levantamento dos requisitos legais ambientais aplicáveis, além da determinação dos aspectos e impactos associados ao seu processo produtivo, gerando esses termos dentro de uma política ambiental central que represente o comprometimento da empresa, através de sua política ambiental.

A norma ISO14001 é aplicável a todos os tipos de empreendimentos e organizações, ultrapassando condições geográficas, culturais e sociais. Sua finalidade é

manter a proteção ambiental, enquanto o negócio exerce sua atividade produtiva (ABNT, 2004).

As solicitações dos clientes de uma dada organização e da sociedade mais engajada com as questões ambientais têm determinado um comportamento diferenciado de forma geral das organizações, fazendo com que sejam direcionadas ações para minimizar ou eliminar os impactos ambientais (AVILA & PAIVA, 2006).

A produção enxuta (*Lean Manufacturing*) e a produção mais limpa (*Cleaner Production*) procedimentos operacionais e sistêmicos, são utilizados comumente como itens de auxílio para a gestão ambiental do empreendimento, reduzindo os desperdícios e os impactos ambientais, sendo ferramentas fundamentais para a gestão e manutenção da ISO14001 em um empreendimento (JOHN & ÂNGULO, 2003).

Desde 1996, a ISO14001 difunde-se e se estrutura ao redor do mundo de maneira voluntária em relação à adoção de seus requisitos. Tais requisitos são comprovadamente atendidos quando as empresas passam por processos de auditorias realizadas por empresas terceirizadas e existentes especificamente para a avaliação das práticas ambientais da empresa, relativas ao atendimento da norma. No Brasil, são 261 organizações certificadas ISO14001 (INMETRO, 2012).

Os principais esforços para a obtenção do certificado da ISO14001 são ações focadas sobre o processo produtivo, destinação correta de resíduos e, sobretudo o alinhamento à legislação ambiental vigente, a qual abriga a gestão de praticamente todos os aspectos e impactos ambientais praticáveis por uma dada organização.

Contudo, após a certificação ambiental as empresas consideram como uma etapa finalizada, não necessitando de maiores atenções, exceto sobre a atualização das documentações ambientais do empreendimento. Entretanto, deve-se considerar que a gestão ambiental desenvolvida de forma estratégica pode-se tornar fonte de lucro para o empreendimento e se busca a redução de desperdícios para a melhoria contínua dos indicadores ambientais, item também previsto na norma. (MORETTI, 2008)

Quando analisado de forma cíclica e sistêmica, a ecologia industrial se caracteriza como fator fundamental ligante entre as indústrias, seja de quaisquer setores produtivos, uma vez que muitos resíduos de uns podem se tornar matéria-prima e fonte de novos negócios para outros empreendimentos (SHEA & CHESSON, 2002).

Tal realização pode se tornar uma fonte de recursos financeiros e sociais sustentáveis ambientalmente, uma vez que pode se desenvolver a aplicação de materiais

que outrora seriam destinados a um aterro de resíduos, sendo geralmente desconsiderada a capacidade máxima destes aterros sanitários (SILVA & CAMPOS, 2008).

As empresas possuem as estruturas fundamentais que devem considerar as questões da gestão ambiental abrangida pela norma ISO14001, incluindo a infra-estrutura, constituída de políticas e sistemas, fornecedores, desenvolvimento de produtos, os recursos humanos da companhia, o próprio sistema de planejamento da qualidade e planejamento da produção (BERGMILLER, 2006).

Essas áreas se inter-relacionam, gerando a estrutura necessária para a abrangência da norma e pela provisão de projetos de redução do consumo de recursos naturais e minimização da geração de resíduos e da gestão para a eliminação ou atenuação dos impactos ambientais (POMBO & MAGRINI, 2008).

Ainda de acordo com Pombo & Magrini (2008), itens como a conservação do meio ambiente, responsabilidade social e comércio justo são fatores cotidianos cada vez mais presentes nos processos que envolvem as partes interessadas de uma organização, tornando o tema ambiental como fator diferencial do negócio. Uma vez que tais valores são existentes dentro das normas jurídicas, torna-se não somente uma opção, mas algo semelhante à obrigação ao atendimento.

Muitos são os fatores ambientais que interferem no resultado econômico de uma companhia, seja devida a necessidade de proteção ambiental, o custo da matéria-prima devido a sua disponibilidade, a energia utilizada e os recursos naturais de um modo geral, sendo esses itens protegidos por legislações ambientais mais exigentes. Isso aumenta a competitividade para a produção dos produtos da empresa, sendo dessa forma o setor de gestão ambiental visto como um órgão estratégico dentro da organização (CORAZZA, 2003).

3.5.4 Avaliação do Ciclo de Vida

Uma estratégia organizacional que influencia de maneira significativa a gestão da cadeia de produção e de suprimentos de uma dada empresa é a avaliação do ciclo de vida (ACV). Isso porque, para a otimização e constante melhoria do desempenho ambiental, há a necessidade de métodos e ferramentas para medir e comparar os impactos ambientais das atividades humanas, seja para a produção de bens, seja para a prestação de serviços.

Os impactos ambientais considerados incluem os referentes às emissões para o ambiente e através do consumo de recursos, bem como de outras intervenções, como, por

exemplo, o uso da terra, associado ao fornecimento de produtos que ocorrem quando da extração de recursos, produção dos materiais, fabricação dos produtos, durante o consumo / uso, e a dos produtos no fim de vida, como coleta / triagem, reutilização, reciclagem e eliminação de resíduos (REBITZER et al., 2004).

Segundo os mesmos autores, estas emissões e consumos contribuem para uma ampla variedade de impactos, tais como as alterações climáticas, destruição do ozônio estratosférico, o ozônio troposférico, *smog*, acidificação, eutrofização, esgotamento de recursos, uso da água, uso da terra e ruído, dentre outros (REBITZER et al., 2004).

De acordo com Rebitzer et al. (2000), o ciclo de vida de produtos basicamente segue o fluxograma apresentado na Figura 3.

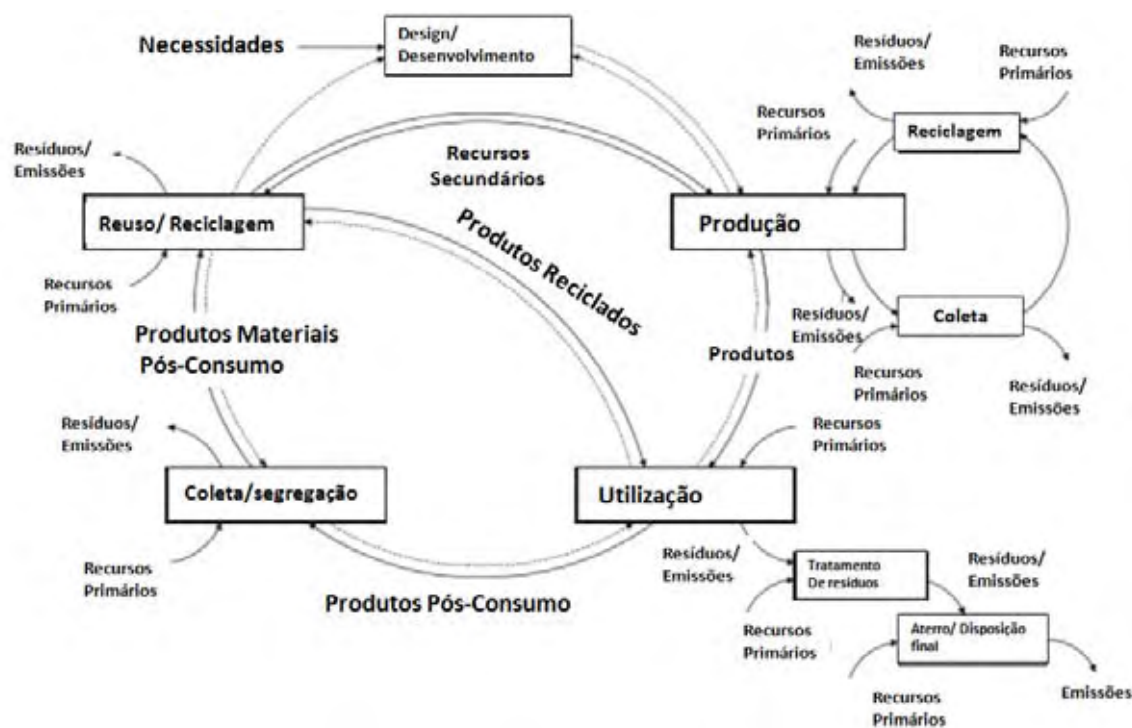


Figura 3: Representação esquemática genérica do ciclo de vida de um produto. Extraído de REBITZER, et al. 2000. As setas em linhas cheias representam os fluxos de energia e de massa, enquanto que as tracejadas representam o fluxo de informação.

Já de acordo com Sarkis, (2003) o ciclo de vida de um dado produto é tipicamente dividido em quatro fases, como segue:

- Uma fase de introdução do produto, que se caracteriza pelo investimento em pesquisa e desenvolvimento;
- Fase de crescimento, caracterizada pelo aumento da produção e da capacidade logística;

- Fase de maturidade, onde a eficiência do processo e os custos são estabilizados;
- Fase de declínio, onde o foco é o desinvestimento.

Desta forma a ACV, juntamente com informações de custo e desempenho, pode auxiliar na tomada de decisão sobre a aquisição ou substituição de produtos e de processos (FERREIRA, 2004).

Um conjunto mais tático dos elementos organizacionais que influenciam a forma como a cadeia de abastecimento é gerenciada (internamente ou externamente) pode ser descrito pela avaliação do ciclo de vida (ou cadeia de valor) de uma organização. Os elementos principais do ciclo de vida operacional tipicamente incluem aquisição, produção, distribuição e logística reversa. (EPA, 1993).

Os processos de produção podem influenciar o movimento da cadeia de fornecimento de várias maneiras e este movimento pode ser considerado “verde”, ou seja, relacionado a padrões de sustentabilidade ambiental. Nessa direção estão processos integração de componentes reutilizáveis ou remanufaturados no sistema produtivo, contribuindo para a redução da geração de resíduos. (BALLOU, 2004).

As decisões de aquisição ou compra também geram impacto na cadeia de abastecimento verde por meio da compra de materiais que são recicláveis ou reutilizáveis, ou que já foram reciclados. A seleção de fornecedores é também uma decisão importante nesta fase. Os fornecedores que possuem a certificação ISO14001 são preferíveis uma vez que existe uma expectativa de que os riscos ambientais associados a estes vendedores são menores (o mesmo vale para os fornecedores certificados na ISO9001) (REBITZER et al. 2000).

Dessa forma, embora possa ser considerada uma complexa e trabalhosa ferramenta de auxílio na tomada de decisões, a ACV pode ser delimitada pelo estabelecimento de fronteiras mais restritas, por exemplo, internas a uma empresa. Assim, balanços de massa e energia podem verificar e auxiliar a entender se novas opções, como por exemplo, a utilização de um material reciclado, podem ser consideradas adequadas não somente do aspecto financeiro, mas também ambiental. Mais simplificada, estudos sobre os impactos ambientais diretos (como consumo de água e energia e geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos e gasosos), em que a filosofia da avaliação do ciclo de vida esteja intrinsecamente relacionada, também podem auxiliar na tomada de decisão.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Dada à semelhança física do isolante térmico com o papel, buscou-se um processo de reciclagem semelhante ao da reciclagem de aparas de papéis. Assim, resíduos industriais constituídos de aparas do material isolante original foram submetidos a dois tipos de reciclagem: manual e industrial. A primeira foi assim chamada por apresentar um forte componente artesanal, em especial relacionada à formação da polpa moldada. A segunda foi realizada em indústria de papel contratada com esta finalidade.

4.1 Reciclagem Manual

Esta etapa da pesquisa foi realizada na empresa ElringKlinger, em Piracicaba-SP, que patrocinou o projeto. Foram utilizados *pulper* para desagregar o material em presença de água, telas para espalhamento do papel desagregado, forno de secagem e prensa hidráulica Lauffer de 100 t. Todos os equipamentos são pertencentes à empresa e, no caso o *pulper*, especialmente adquirido para este projeto.

O *pulper*, adaptado de um motor WEG, de 15cv (figura 04), teve a função de desagregar o material em água até chegar ao ponto de se obter suas fibras em uma massa homogênea de água, juntamente com os materiais cerâmicos existentes no papel. Para isso colocou-se cerca de 50 kg de aparas de papel para 100 litros de água, sendo agitada a mistura a cerca de 180 rpm, enquanto se introduzia as aparas aos poucos, picotando-as e introduzindo no recipiente, um tambor de 200 litros adaptado para este funcionamento. Após a dissolução da quantidade total de aparas, em cerca de 20 minutos, completou-se o tambor aos 150 litros de água, mantendo em agitação por mais dez minutos até a obtenção da massa.



Figura 4: Pulper adaptado de um motor WEG de 15cv.

Essa massa foi disposta sobre uma tela de malha em nylon com 10 fios por centímetro quadrado, nas dimensões de 100 cm por 40 cm, já imerso por 10 cm de água em um tanque de água, o que auxiliava na disposição uniforme das fibras. Essa água era mantida para as outras telas, sendo necessário repô-la em cerca de meio litro a cada dez telas produzidas.

Retiraram-se as telas do tanque de imersão com cuidado para que não houvesse movimentação das massas e assim determinando uma má formação do papel. Colocou-se as telas em um forno industrial, da marca CONTRACO, modelo com gavetas, a 60°C durante 24 h até que houvesse sua secagem a 12% de umidade, valor semelhante ao encontrado nos materiais estocados na empresa.

Após esse procedimento de secagem, desenformaram-se os quadros e separaram-se as folhas, e as mesmas foram destinadas a prensagem em prensa hidráulica Lauffer de 100 toneladas. Em algumas folhas obtidas realizou-se apenas uma prensagem, em outras folhas foram realizadas duas prensagens e outro conjunto de folhas foi prensado quatro vezes. As prensagens foram realizadas em folhas individuais, e a intenção de fazer mais prensagens era aproximar da espessura do material de isolamento original, alvo do estudo, de 1 mm com variação de 0,1mm para mais espesso ou mais fino.

Após a prensagem, as folhas foram destinadas à prensa hidro-pneumática de corte, SCHÖN, de 100 toneladas (a mesma utilizada na empresa para o material original) e obteve-se o interior do defletor estampado. Com as chapas metálicas, nas prensas de fechamento, tipo CHAVETA com capacidade de 45ton, marca SOUZA, onde foram montados os defletores utilizados para testes.

A Figura 5 apresenta um esquema com fotografias que resumem o processo de obtenção dos defletores de calor contendo, internamente, material isolante reciclado manualmente.

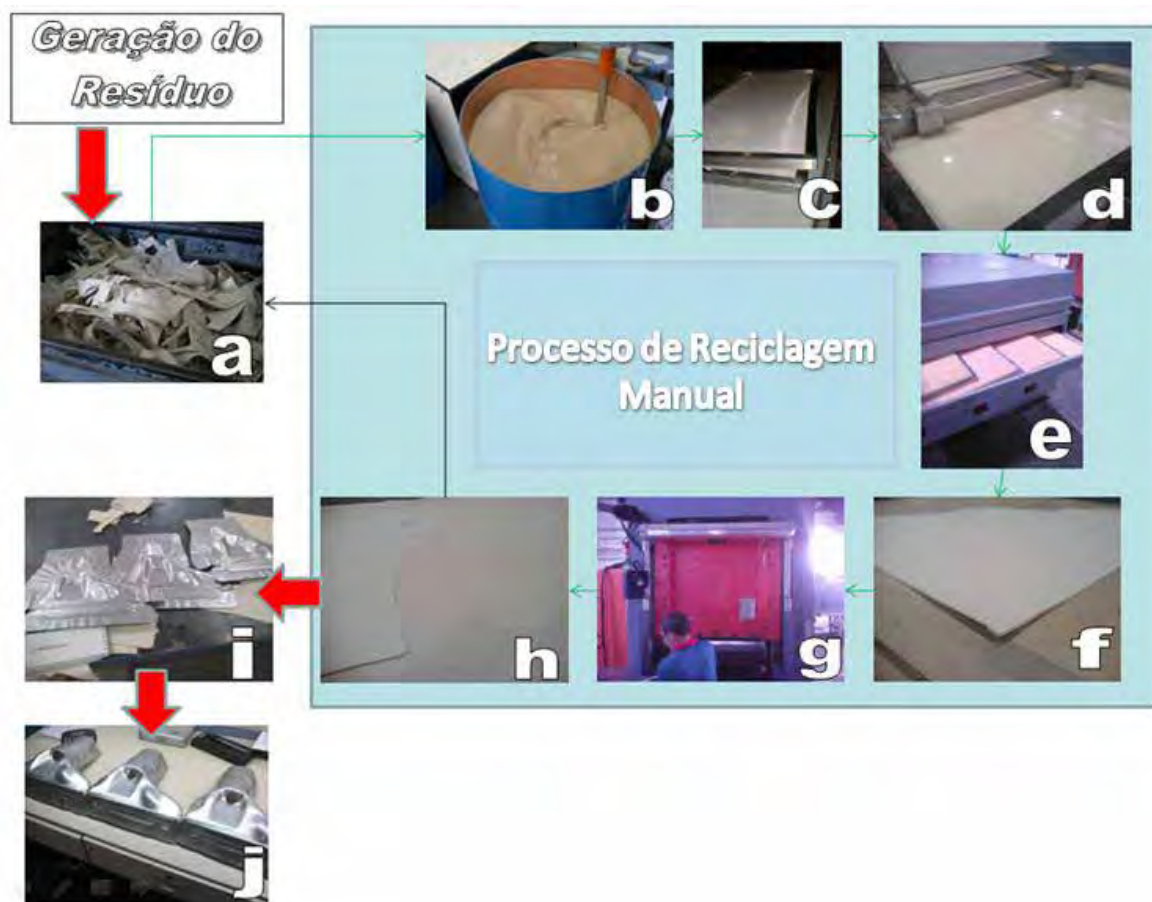


Figura 5: Esquema representativo do processo de reciclagem manual de isolantes térmicos. Em (a) a representação de aparas de resíduos de isolante térmico, em (b) o *pulper adaptado*, (c) as telas para a disposição das fibras, (d) caixa com água para a melhor ordenação das fibras, (e) forno de secagem das telas, (f) material obtido, (g) prensagem, (h) recorte do material e em (i) o material retorna para o processo produtivo, ou seja, para o preenchimento de defletores de calor (j).

4.2 Reciclagem Industrial

Após desenvolver-se a linha específica de produção em escala manual e verificar a exequibilidade da reciclagem do material, iniciou-se uma busca por processos industriais de produção de papel. Isso porque o esquema montado e a maquinaria utilizada permitiam uma produção muito baixa, da ordem de uma tonelada por mês, enquanto que as menores indústrias recicladoras de papéis conseguem a taxa de reciclagem da ordem de cinco toneladas por dia.

Uma vez que a geração desse resíduo na empresa encontrava-se na ordem de 4,5 t/mês, a reciclagem em escala industrial caracterizou-se com fundamental importância para a execução do negócio, uma vez que a reciclagem manual não geraria a produção suficientemente necessária para a reciclagem total dos resíduos desse processo. Dessa maneira, foi contratada a empresa Auster, recicladora de papel e fabricante de palmilhas de sapatos e capas de caderno por meio da reciclagem de papéis e papelões que também se localiza em Piracicaba. Assim, durante um dia inteiro foi realizada nessa empresa a reciclagem das aparas do material isolante.

A reciclagem industrial se deu por meio de máquinas desfolhadeiras, de tecnologia considerada já ultrapassada na indústria do papel, porém que atendiam as necessidades do projeto.

Seu processo consiste na existência de um *hidrapulper*, responsável pela desagregação do material, onde se triturou na proporção de 950 kg de aparas do resíduo de isolante térmico para 10.000 litros de água, sem a adição quaisquer componentes ligantes. Essa quantidade bastante superior a reciclagem manual, deve-se a necessidade de bombeamento, enquanto que na reciclagem manual a movimentação da polpa era feita através de recipientes e aplicada manualmente.

Após a dissolução dos resíduos em água, cerca de 30 minutos, a mistura foi encaminhada para dois tanques de homogeneização e espera até a entrada na máquina desfolhadeira. Toda a mistura, antes de seguir o caminho para a alimentação da máquina, passou por um sistema de caixa de nível, o qual selecionou a mistura em uma faixa de concentração que possibilitasse a movimentação pelas bombas do sistema. Dessa forma, forneceu-se assim a correta concentração para a alimentação da máquina, sendo a mistura líquida suficiente para ser bombeada. As porções que se encontravam inadequadas para adentrarem a máquina foram destinadas a um terceiro tanque de retorno, o qual aproveitou a água que saiu da máquina para adequar à concentração.

A entrada na máquina propriamente dita dá-se por um lançamento da massa obtida sobre uma tela de malha vinte fios por centímetros quadrados, a qual entra em contato por meio de pressão entre rolos com um sistema de feltros pegadores. Esses feltros aderem à massa disposta sobre as telas e a encaminha para o rolo metálico, o qual tem a função de concentrar as fibras obtidas em forma de pequenas camadas de “papel”.

O rolo metálico gira incessantemente com o conjunto do equipamento até formar a espessura determinada em sua válvula solenoide. Quando chegada à espessura solicitada,

nesse caso, 2,8 mm para conseguir retirar o material sem se partir, uma espécie de faca é acionada automaticamente, cortando a folha e possibilitando a retirada manual da máquina.

Depois de obtidas as folhas, as mesmas formaram uma composição em um *pallet*, sendo que a cada cinco folhas adicionava-se uma tela em nylon vinte fios por centímetro quadrado. Após o acúmulo de aproximadamente trezentas folhas, ou noventa centímetros de altura da pilha, levou-a para uma prensa desaguadora, responsável pela retirada da água excessiva no material.

Uma vez prensados os materiais e retirada a água excessiva, o material foi destinado a um forno aquecido por caldeira a lenha, com três seções de temperatura, sendo a primeira mantida em 90°C, a segunda a 80°C e a terceira em 70°C, onde secou-se o material até uma umidade de 12%. Devido à dificuldade de retirada da máquina, produziu-se o material com uma espessura de 2,8 mm na desfolhadeira, chegando a 1,4 mm após a prensagem na desaguadora e secagem do material no forno, sendo que o objetivo da espessura ao final da produção era no máximo de 1 mm, para coincidir com o material já usado no processo.

A Figura 6 apresenta um esquema com fotografias que resumem o processo de obtenção dos defletores de calor contendo, internamente, material isolante reciclado industrialmente.



Figura 6: Esquema representativo do processo de reciclagem de isolantes térmicos em escala industrial. Em (a) a representação de aparas de resíduos de isolante térmico, em (b) a embalagem de envio dos resíduos para industrialização, (c) o *hidrapulper*, (d) máquina desfolhadeira responsável pela formação das folhas, (e) retirada das folhas da máquina, (f) prensagem para a retirada do excesso de água, (g) secagem

no forno aquecido por meio de uma caldeira, (h) material final seco (i) o material retorna para o processo produtivo, ou seja, para o preenchimento de defletores de calor (j).

Uma grande dificuldade identificada para o desenvolvimento da reciclagem desse material, ao menos nessa empresa específica, foi o alto teor de fibras e materiais inorgânicos. Estes quando conduzidos por bombas de pressão são altamente abrasivos, demandando de processo industrial específico e devidamente preparado, preferencialmente com rotores e tubulações em aço inoxidável, o que torna o sistema mais resistente à alta abrasividade. Porém, tal dificuldade gera necessidade de alto investimento para a adaptação do processo produtivo para a reciclagem dos isolantes térmicos.

4.3 Ensaios com os defletores de calor produzidos manual e industrialmente

Realizadas as produções dos materiais, estes foram destinados para testes de controle de qualidade de isoladores térmicos para defletores de calor, uma vez que se buscava para o reciclado a aplicação original. Assim, os procedimentos e equipamentos que a empresa ElringKlinger (Piracicaba-SP), geradora do resíduo e patrocinadora do projeto, utiliza para verificar a qualidade da matéria-prima recebida e para validar o defletor produzido, foram utilizados para avaliar a qualidade dos materiais reciclados produzidos.

Todos os ensaios foram realizados somente com o material isolante, sendo que a montagem do defletor apresentada nas Figuras 5 e 6 (itens 4.1 e 4.2, respectivamente) foi feita somente para se verificar a finalização do processo de obtenção da peça.

Os testes especificados pela norma interna da empresa (BN 2207, 2002) são de espessura, compressibilidade, retorno, densidade, perda de massa por ignição e resistência mecânica por tração. Todos esses ensaios foram realizados com os materiais originais e com os reciclados assim que considerados prontos, a exceção do ensaio de tração que foi realizado após submeter às amostras a aquecimento a 100°C por 4 horas. A norma recomenda ainda novos ensaios de compressibilidade, retorno e resistência à tração após manter o material isolante por 22 horas a 200°C.

Nesses ensaios foram medidas as propriedades dos seguintes materiais: isolante original virgem (para comparação), isolante reciclado manualmente sem a etapa de

prensagem, isolante reciclado manualmente prensado uma vez, isolante reciclado manualmente prensado duas vezes e isolante reciclado manualmente prensado quatro vezes, isolante reciclado industrialmente e isolante original virgem pertencente a outro lote. Cada material forneceu a propriedade após realizar os cálculos das médias e desvios-padrão dos resultados obtidos com 7 amostras.

4.3.1 Determinação da Espessura do Material

Para a determinação da espessura do material, obtiveram-se através das aparas preparadas para o ensaio de densidade, que abaixo são apresentadas, sete medidas para a determinação da espessura, realizada através de um micrômetro digital da marca Mitutoyo.

4.3.2 Determinação da Densidade

Para a determinação da densidade do material, ou também denominada de densidade aparente, tomou-se como guia a norma “Statisk gaskets for flange connections – Part 2: Gaskets Made from Sheets” (DIN28090-2, 1995), a qual sugere a obtenção de um retalho de material com as dimensões de 100 mm por 100 mm.. A massa desse retalho, obtida após a secagem por duas horas a 60 °C deve ser dividida pelo resultado da multiplicação entre as dimensões do material, sendo espessura, comprimento e largura. A massa foi obtida através de uma balança analítica, marca METTLER TOLEDO, modelo XS205.

4.3.3 Determinação da perda de massa por ignição

A norma DIN 52911 (2008), relativa à perda por ignição, sugere para a determinação desta propriedade, aquecer uma quantidade conhecida de amostra a 600 °C, durante o período de uma hora. Passado esse tempo, o material deve ser retirado e disposto para esfriar em um dessecador por um período de aproximadamente trinta minutos. As amostras devem ser medidas previamente, anotando-se suas três dimensões e calculando-se o volume. Pesa-se antes do aquecimento o cadinho de forno, o qual em conjunto com a amostra, será levado a mufla, quando a temperatura do mesmo estiver estabilizada a 600°C.

Os materiais reciclados que forneceram os melhores resultados em comparação com o original foram submetidos, juntamente com o isolante original, ao ensaio de isolamento térmica, termogravimetria e de espectroscopia de energia dispersiva.

4.3.4 Determinação da Resistência por Tração

Quanto à determinação da força máxima admissível de tração do material foi realizado de acordo com a norma “Standard Test Methods for Tension Testing of Nonmetallic Gasket Materials”, (ASTM F 152, 1995) onde se exerceu tração em amostras de dimensões de 25 mm de largura, comprimento de 152 mm e comprimento entre os grampos do amostrador do equipamento de 102 mm. Foi utilizado o equipamento ZWICK/ROELL, modelo ZMART PRO, onde foi obtida a força máxima de ruptura. O resultado esperado é a tensão exercida no material a qual se obtêm através da divisão da tração máxima pela área da secção transversal do material em seu ponto de ruptura. Quando da realização do ensaio, foi verificada uma grande diferença entre os resultados das amostras recortadas em diferentes sentidos das placas produzidas. Notou-se que valores altos se correlacionavam ao sentido da formação do papel na desfolhadeira. O mesmo comportamento foi evidenciado, porém com menor diferença entre as direções dos recortes no material reciclado manualmente. Para as amostras do material original observou-se a diferença entre a direção da maior dimensão e da dimensão transversal do rolo. Assim, este ensaio foi realizado com dois conjuntos de amostras: um conjunto preparado para ser tracionado em direção paralela às fibras e outro conjunto para ser tracionado em direção perpendicular as fibras, sendo neste caso, para os materiais originais as direções paralelas à dimensão de maior comprimento do rolo como as favoráveis às fibras.

4.3.5 Determinação da Compressibilidade e retorno

A determinação de compressibilidade e retorno do material foi realizada de acordo com a norma “Standard Test Method for Compressibility and Recovery of Gasket Materials”, (ASTM F-36, item K, 2003), no Durômetro Marca Zwick, Modelo D7900. O ensaio consiste em avaliar a capacidade de adaptação à conformação do material após solicitações de pressão e sua capacidade de recuperação após a prensagem sofrida. O equipamento funciona através de aplicação de cargas definidas para cada tipo de material, listados na norma acima citada.

Inicialmente alocou-se o papel no equipamento, onde o tarou. Para o caso do isolante térmico, aplicou-se a carga de 222N por exatamente um minuto, onde obteve-se o

valor de compressão do material. Após esse período removeu-se a pré-carga através da manivela lateral do equipamento e se aguardou outro minuto para a recuperação do material em sentido à espessura inicial. Aguardou-se mais um minuto para que se fosse tomada a leitura do retorno.

4.3.6 *Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva.*

A fim de se avaliar a disposição das fibras e das partículas nos materiais reciclados, em comparação com o original, foi realizada a análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV). O MEV utiliza de um feixe de elétrons que é disposto em uma sonda que varre a amostra de interesse. A partir dessa “varredura” é gerada uma imagem tridimensional que leva em consideração as distâncias entre os corpos de interação com o feixe.

De acordo com Reed (1996), as imagens obtidas por essa técnica são dadas em tons de cinza e fornecem detalhes da superfície do material. Os tons claros são as faces que refletem de maneira mais eficiente, por estarem voltadas ao detector. Normalmente, a resolução dessas imagens é o diâmetro do feixe incidente.

Vale ressaltar que os materiais não condutores de corrente elétrica, como os deste estudo, devem ser metalizados. Esta metalização consiste geralmente de adição de uma película de ouro sobre o material, o que possibilita a condução de carga na amostra.

A técnica do MEV também possibilita a acoplagem de um sistema de energia dispersiva (EDS), sendo este um auxiliador de determinação da composição semi-quantitativa e qualitativa das amostras, a partir dos raios-x gerados da interação dos elétrons do microscópio com os das amostras.

Assim como a microscopia eletrônica, a espectroscopia de energia dispersiva também foi realizada no material isolante original, reciclado manual e reciclado industrialmente. A finalidade deste ensaio foi verificar, ao menos qualitativamente, se a reciclagem poderia alterar a composição do material. Foram escolhidas duas regiões com aumento de 1.000 vezes e obtidos, com cada uma, o espectro de raio-X de toda a imagem, o que foi utilizado para avaliar a composição química do material.

As amostras de cada material, nas dimensões aproximadamente 15mm por 8mm, foram coladas em um porta-amostras metálico, que foi posicionado no microscópio

eletrônico de varredura MEV INSPECT, do Laboratório de Caracterização Estrutural da Universidade Federal de São Carlos para a obtenção das imagens e dos espectros.

4.3.7 *Análise Termogravimétrica*

No material reciclado manualmente, no reciclado industrialmente e no material original (apenas um dos lotes, dadas as mínimas diferenças observadas nas outras propriedades) também foram feitas análises por termogravimetria (TGA, na sigla em inglês), na Termobalança Seiko modelo TGA-50, disponível no Departamento de Materiais e Tecnologia da Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da UNESP e adquirida no processo FAPESP 08/00171-1.

A TGA é uma técnica que, por meio do aquecimento do material, alterações em sua massa são detectadas por uma balança de precisão. O equipamento quantifica, quando analisadas as curvas, alterações na massa que podem ser associadas à perda de água, de solventes, de plastificantes, descarboxilação, pirólises, oxidação, decomposição, perda percentual de peso e teor de cinzas (Perkin Elmer, 2010).

Para as amostras dessa dissertação, a taxa de aquecimento utilizada foi de 10°C/minuto a partir da temperatura ambiente (Cerca de 30°C). Foi utilizado gás nitrogênio até 800°C, para verificar as degradações em atmosfera inerte. Após 800°C, utilizou-se a mistura denominada de ar sintético (Oxigênio com concentrações variáveis de 19,5 a 23,5% e Nitrogênio com concentrações 76,5 a 80,5%), (WhiteMartins, 2012) para proceder a queima da amostra, o que forneceu também o teor de materiais inertes de cada material.

4.3.8 *Determinação da Capacidade de Isolação Térmica*

O teste de isolação térmica foi realizado em equipamento existente na ElringKlinger alemã, em equipamento desenvolvido pela própria empresa. Este consiste de irradiadores de infravermelho que irão aquecer até aproximadamente a temperatura de 800°C uma câmara que contém tanto a amostra (o defletor montado, como apresentado nas Figuras 2j e 3j) quanto uma chapa de aço aluminizado adjacente à amostra (suporte). Termopares são alocados de modo a medir a exata temperatura próxima à irradiação e logo após o defletor, de modo a verificar a eficiência do isolamento. A Figura 7 apresenta um

esquema do ensaio de isolamento térmica, que foi elevado até aproximadamente a temperatura de 800°C.

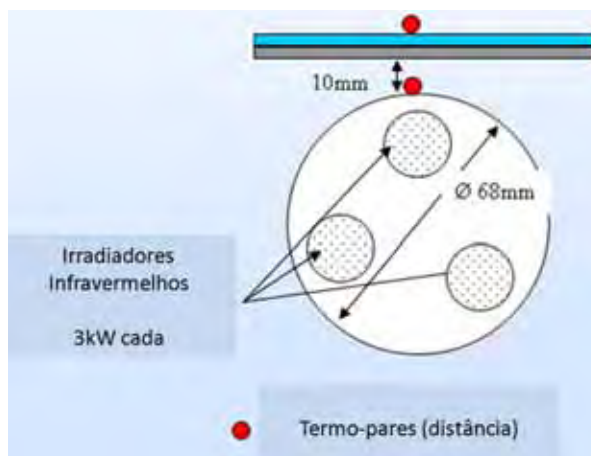


Figura 7: Esboço do sistema de aquecimento e alocação dos termopares para o teste de isolamento térmica, bem como da chapa metálica (cinza) e do defletor montado (azul).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 8 a 16 apresentam, respectivamente, os resultados dos ensaios realizados com o material isolante reciclado manualmente sem a etapa de prensagem, isolante reciclado manualmente prensado uma vez, isolante reciclado manualmente prensado duas vezes, isolante reciclado manualmente prensado quatro vezes, isolante reciclado industrialmente sem a etapa de prensagem e isolante reciclado industrialmente e prensado. As propriedades verificadas foram espessura (Figura 8), densidade (Figura 9), perda de massa por ignição (Figura 10), resistência à tração na ruptura após aquecimento a 100 °C por 4 horas (Figura 11), resistência à tração na ruptura após aquecimento a 200 °C por 22 horas (Figura 12), compressibilidade (Figura 13) e compressibilidade após 200°C

por 22 horas antes (Figura 14), retorno (Figura 15) e retorno após aquecimento a 200°C por 22 horas (16). Deve-se lembrar que o material defletor de calor submetido aos ensaios é constituído de partículas dos verdadeiros isolantes dispersos em algo muito parecido a uma folha de papel, de modo que está sendo tratado desta forma neste trabalho. Alterações em propriedades podem ser fruto de problemas de dispersão das partículas isolantes ou de modificações físicas e/ou químicas ocorridas neste papel.

5.1 Espessura.

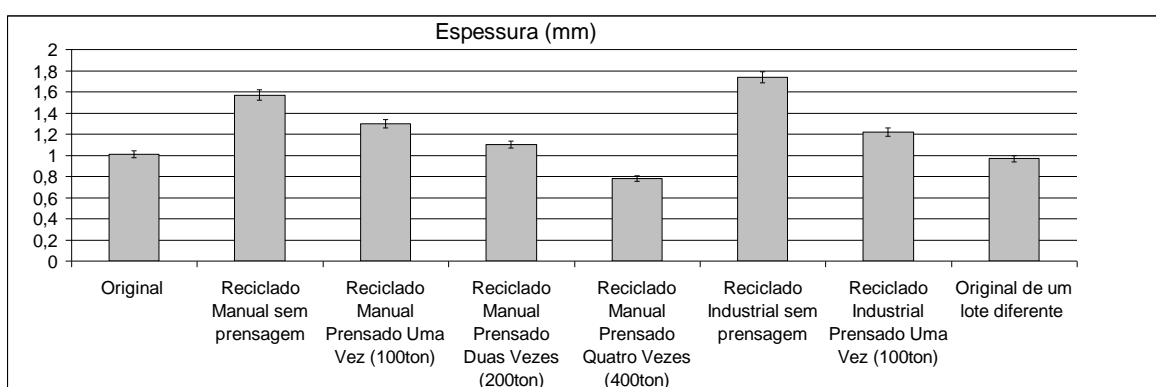


Figura 8: Resultados das espessuras dos materiais avaliados.

5.2 Densidade.

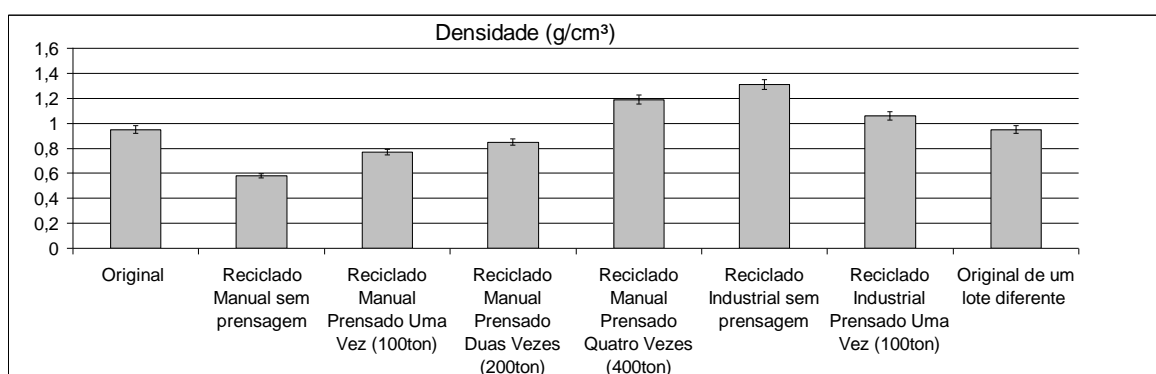


Figura 9: Resultados das densidades dos materiais avaliados.

Observa-se pela Figura 9 que a espessura desejada, a do material original, de 1mm, somente foi aproximada pelo material reciclado manualmente após quatro prensagens. Não foi observado o comportamento esperado, no caso do reciclado manual, de quanto mais

prensagens, menor a espessura, o que pode significar problemas na execução das prensagens ou mesmo da polpa. Em linhas gerais, os resultados de espessura expressam a dificuldade de se obter um processo homogêneo. Ao se verificar o processo manual a espessura varia de acordo com a coluna de água percorrida no tanque confeccionado para esse fim e também de acordo com a concentração de polpa dentro do mesmo tanque. No processo de reciclagem industrial a espessura é constante, porém é demasiadamente grande. A tecnologia da máquina utilizada para a reciclagem já é de certo modo ultrapassada, sendo que é necessária uma determinada espessura que garanta uma resistência mínima ao material ainda úmido, pois o mesmo deve ser puxado do sistema após uma válvula acionar o corte quando se atinge esta espessura.

O número de prensagens tende a, também, aumentar a densidade, o que se observou na Figura 6. Porém, o material reciclado manual prensado quatro vezes, que forneceu o melhor resultado de espessura, apresentou-se bem mais denso que os materiais originais testados. Já a densidade do prensado somente duas vezes aproximou-se mais do valor da propriedade determinada para o material original, assim como a densidade do material reciclado industrialmente sem prensar. Esperava-se ainda, e os resultados corroboraram essa expectativa, que com relação ao material prensado (industrial ou manualmente), o material sem prensar apresentasse densidade menor e espessura maior. A distância dos valores dessas propriedades em relação aos valores do material original mostra a necessidade da prensagem após a reciclagem. Os desvios-padrão obtidos para as duas propriedades podem ser considerados aceitáveis.

As variações tanto de espessura quanto a densidade parecem estar mais relacionadas à problemas de diferenças de concentração da polpa (com mais ou menos celulose ou partículas) ocasionadas por uma distribuição irregular do material nas telas de nylon durante a reciclagem. Nesse sentido, se esperava desvios-padrão mais acentuados do

material reciclado manual pelas necessidades intrínsecas de reprodutibilidade, mas estes se mostraram semelhantes aos registrados tanto para o reciclado industrialmente quanto para o material original.

5.3 Perda de Massa por Ignição.

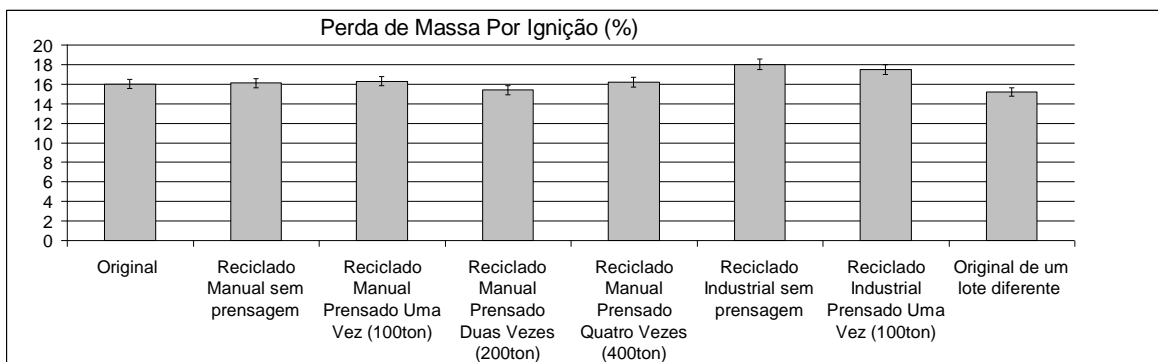


Figura 10: Perda de massa por ignição dos materiais avaliados após a queima a 600°C durante uma hora.

Observa-se pela Figura 10 que todos os materiais reciclados apresentaram propriedades (tanto em termos de valores médios quanto em termos de desvios-padrão) muito próximos às dos materiais originais. Isto sugere que o procedimento de reciclagem – incluindo os diferentes números de prensagens - não produziu materiais com composições diferentes do original. Isso porque, em linhas gerais, as perdas de massa em torno de 15-20% para todas as amostras significam que esta é a fração queimável (orgânica) do material isolante, corroborando as informações que este teria cerca de 80% de cargas inorgânicas, as grandes responsáveis pelo isolamento térmico do defletor (POZIOMYCK, 2009).

5.4 Determinação da Resistência à Tração.

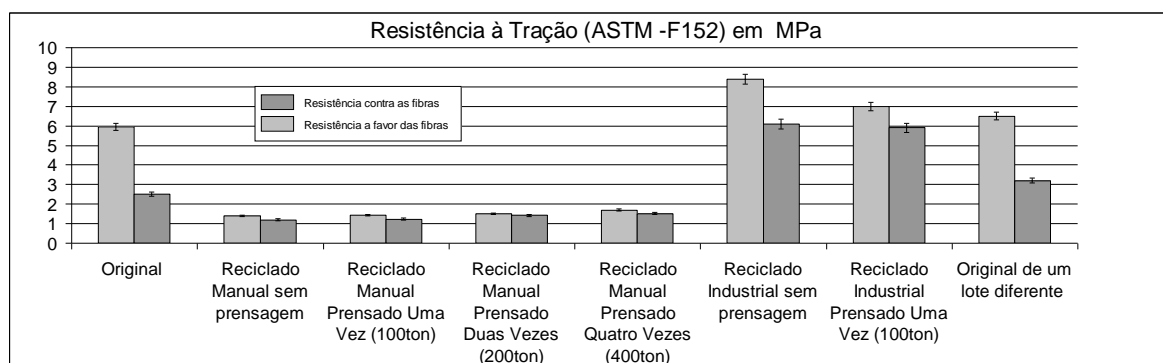


Figura 11: Resistência à tração na ruptura dos materiais avaliados após aquecimento a 100 °C por 4 horas.

Observa-se pela Figura 11 que os materiais apresentam resultados diferentes nas duas direções, o que já era esperado, dada a conhecida anisotropia do papel (LAVRYKOV e RAMARAO, 2012). Nota-se também que os reciclados manualmente possuem resistência à tração na ruptura (nas duas direções) inferior aos originais e que os reciclados industriais apresentam resultados superiores. Este último resultado deve estar relacionado, provavelmente, à formação do material isolante a partir de várias camadas durante o processo de produção pelas desfolhadeiras. Neste equipamento, rolos realizam várias revoluções formando a cada revolução uma fina camada, sendo a espessura final obtida com a superposição de tantas camadas quantas necessárias.

A inevitável quebra das fibras celulósicas durante a reciclagem pode ter contribuído para as propriedades mecânicas mais pobres do material reciclado manualmente. Porém, Hubbe, Venditti e Rojas (2007) afirmam que a diminuição do tamanho das fibras na reciclagem de papel e seu reflexo nas propriedades mecânicas do papel reciclado é geralmente superestimado. Segundo os autores, apesar do cisalhamento sofrido, somente a nova polpação não necessariamente causa uma diminuição brusca do tamanho das fibras que justifique perdas sensíveis de propriedades. Durante a secagem, prensagem, armazenamento, uso e descarte ocorrem uma série de mudanças físicas e químicas que

ajudam a explicar a perda de propriedades mecânicas normalmente reportadas com papéis reciclados. Entre essas mudanças devem ser dados destaques para a perda de finos celulósicos na água (que eventualmente passam pela tela de nylon), o aparecimento de trincas nas fibras, o fechamento de poros, diminuição da área superficial e a formação de ligações hidrogênio entre as superfícies de duas fibras prensadas (CHEVALIER-BILLOSTA *et al.*, 2007; HUBBE, VENDITTI e ROJAS, 2007; LETKOVÁ, LETKO e VRSKA, 2011). Todas mudanças ajudam a explicar as propriedades mecânicas mais pobres do reciclado manual em relação ao original.

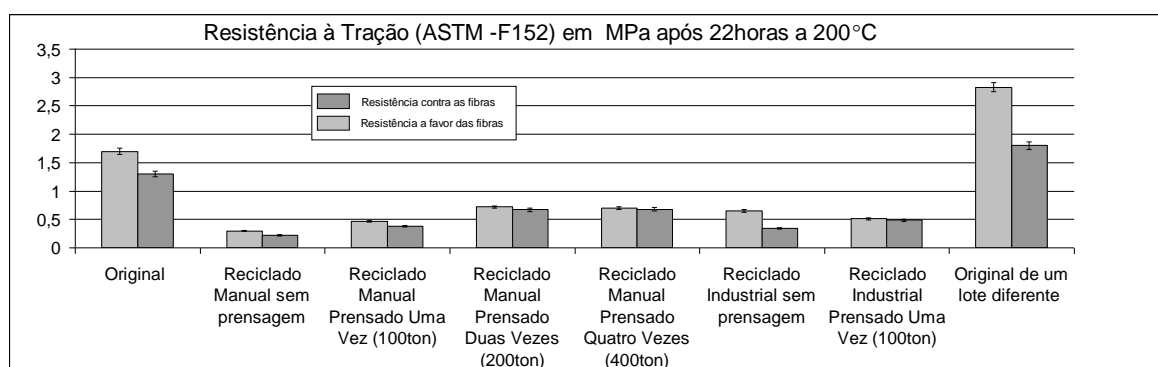


Figura 12: Resistência à tração na ruptura dos materiais avaliados após o aquecimento a 200 °C durante 22 horas.

Após o longo período de aquecimento do material, nota-se pela Figura 12 uma redução significativa na resistência à tração do material reciclado e, em menor escala, também no material original. Quedas na resistência à tração de papéis aquecidos nesta faixa de temperatura são normalmente atribuídas ao amolecimento do material como um todo, a um aumento da cristalinidade e ao enrijecimento das fibras (HUBBE, VENDITTI e ROJAS, 2007).

De acordo com a norma interna do fabricante, o valor mínimo para a resistência à tração na ruptura é de 1,8 MPa para amostras aquecidas a 100°C por 4 horas e 0,5 MPa para amostras aquecidas a 200°C por 22 horas. Isto significa que o material reciclado

manualmente e prensado quatro vezes (Figuras 11 e 12) e duas vezes (Figura 12), bem como o material reciclado industrialmente sem prensar (Figura 11 e 12) demonstraram resistência à tração superior à solicitada.

É interessante colocar que o refino, uma etapa normalmente aplicada na fabricação do papel a partir da madeira e, dependendo da necessidade, também na reciclagem, não foi realizada na reciclagem do material isolante térmico. Sabidamente o refino melhora bastante as propriedades mecânicas, por promover atrações entre as fibras celulósicas. Trata-se de submeter a pasta celulósica a uma espécie de moinho cujo cisalhamento provocará delaminações e fibrilações nas camadas externas das fibras celulósicas, facilitando a ligação entre elas posteriormente. Dessa maneira, caso as propriedades, em especial mecânicas, do reciclado sejam consideradas insuficientes, um processo de refino bem programado pode ser aplicado na reciclagem do material isolante (CHEVALIER-BILLOSTA *et al.*, 2007; HUBBE, VENDITTI e ROJAS, 2007).

5.5 Determinação da Compressibilidade e Retorno.

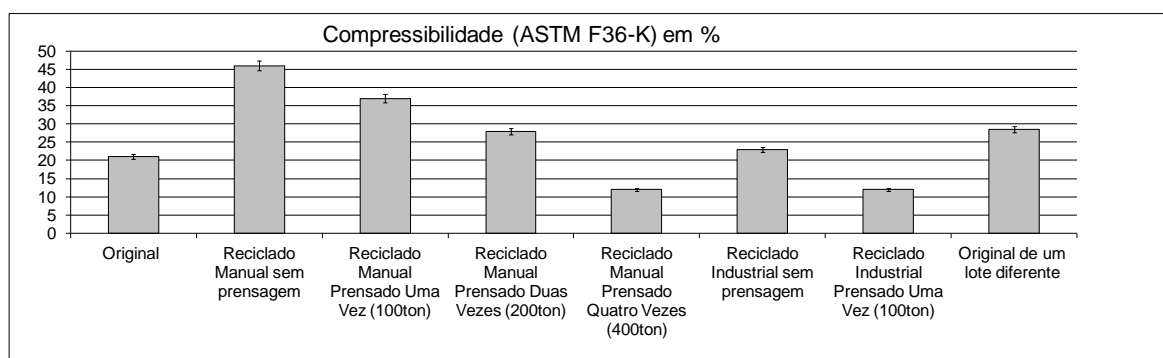


Figura 13: Compressibilidade dos materiais avaliados.

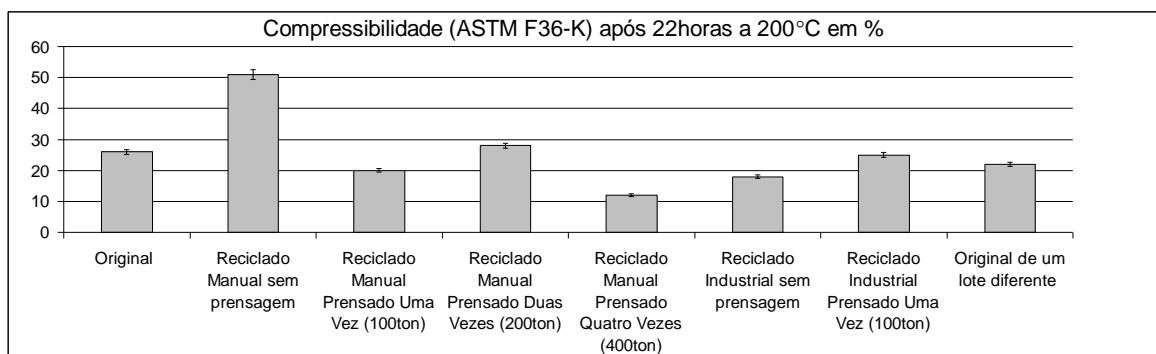


Figura 14: Compressibilidade medida após 22 horas a 200°C.

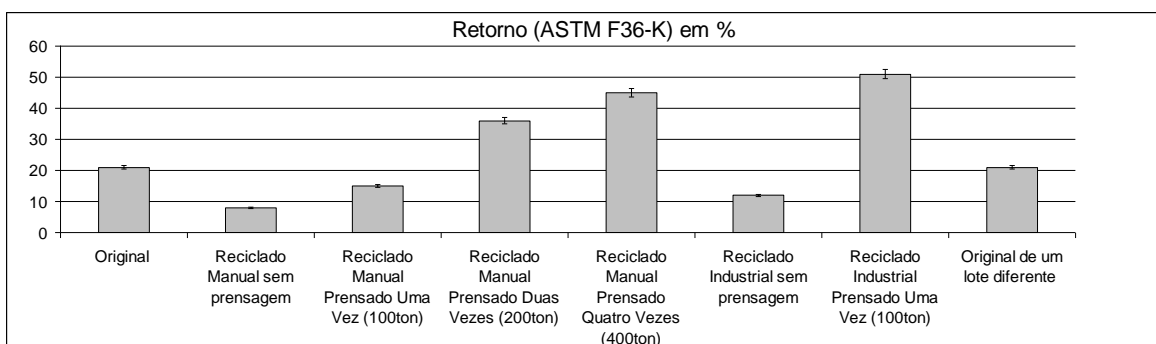


Figura 15: Retorno dos materiais avaliados.

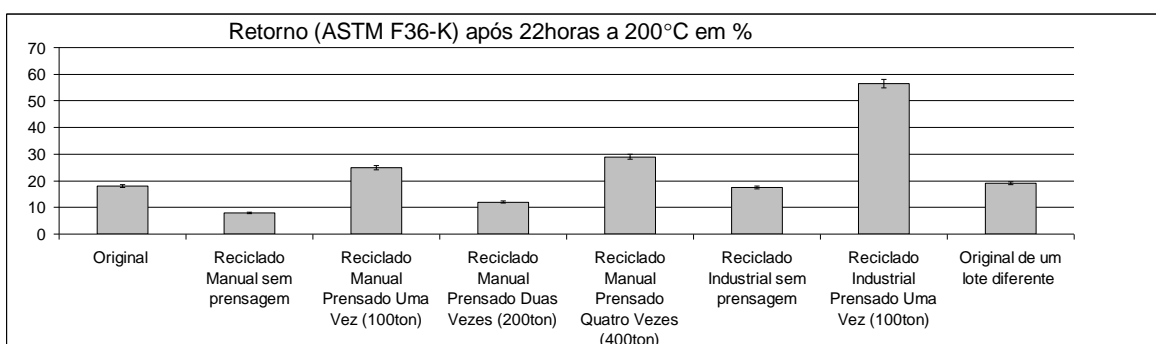


Figura 16: Retorno medido após 22 horas a 200°C dos materiais avaliados.

Segundo as Figuras 14 e 15, relativas à compressibilidade dos materiais (ou seja, o quanto os materiais diminuem sua espessura ao se aplicar uma carga por determinado tempo), os reciclados mais próximos dos originais em relação aos ensaios de compressibilidade antes e após aquecimento a 200°C por 22 horas são o reciclado manualmente e prensado duas vezes e o reciclado industrialmente sem prensar. Já com relação à propriedade de retorno, ou seja, o quanto ele aumentam de espessura após a retirada da carga compressiva, nota-se pelas Figuras 16 e 17 que, antes do aquecimento o

material reciclado manualmente e prensado uma vez pode ser considerado o material reciclado mais próximo do original. Após o aquecimento, o reciclado manualmente prensado duas vezes e o reciclado industrialmente sem prensar foram os que tiveram valores de propriedade de retorno menos distantes dos resultados obtidos pelo material original.

Dentro de cada classe de reciclagem (manual e industrial) observa-se pela Figura 13 que, antes do aquecimento, os materiais que menos sofreram influência da compressão foram os prensados e, no caso dos manuais, quanto mais prensagem menor a compressibilidade. Nota-se pela Figura 15 que os prensados (e mais vezes prensados no caso dos manuais) foram os que apresentaram maior retorno, o que provavelmente está relacionado ao fato de que esta propriedade é calculada a partir da divisão da espessura recuperada pela espessura perdida no ensaio anterior. Como a prensagem diminuiu a influência da compressão (ou seja, diminuiu a espessura perdida), o retorno foi proporcionalmente maior.

As mesmas propriedades medidas após o aquecimento (Figuras 14 e 16) nos materiais reciclados manualmente não mostraram o mesmo comportamento das propriedades antes do aquecimento (Figuras 13 e 15). Isto sugere que os problemas causados pelo aquecimento (degradação das cadeias celulósicas, aumento da cristalinidade e enrijecimento das fibras) manifestaram-se de forma diferente nas amostras prensadas, causando variação nos resultados (HUBBE, VENDITTI e ROJAS, 2007).

De posse de todos os resultados da Figura 8 a 16, observa-se que não há como estabelecer alguma regra que auxilie na predição de um determinado resultado ou ao menos de seu comportamento em relação aos obtidos com o material original. Isso era esperado em virtude da variabilidade intrínseca do processo manual e do fato de que os equipamentos da reciclagem industrial não terem sido adaptados para o material de

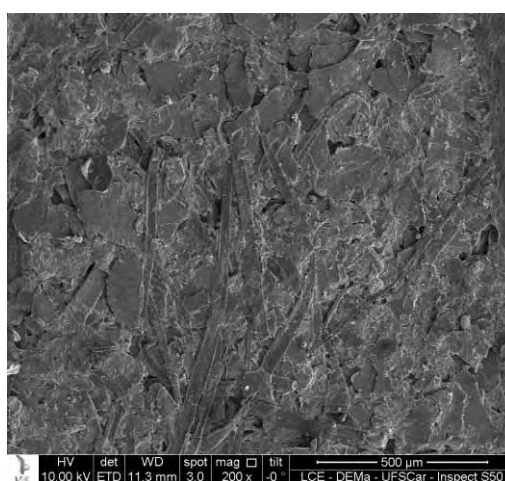
interesse. Também não é possível afirmar que o processo de reciclagem tenha prejudicado as propriedades do papel final em relação ao original, a não ser com relação às propriedades de tração, em especial após aquecimento prolongado (Figura 12). Mesmo nesse caso, boa parte dos materiais reciclados atingiu o valor mínimo requerido para a aplicação. Ainda, as boas propriedades de tração do reciclado industrial anteriormente ao aquecimento prolongado (Figura 11) sugerem que acertos específicos de produção podem ser feitos visando a obtenção de parâmetros mais próximos aos desejados, no caso, os determinados para o material original.

Dada a necessidade de se escolher um material reciclado para a continuidade dos estudos, considerou-se que o material reciclado manualmente e prensado duas vezes apresentou o melhor conjunto de propriedades em relação ao material original. Assim, amostras desse material seguiram para os ensaios restantes (microscopia eletrônica, termogravimetria e isolamento de calor), assim como amostras do material original (para comparação) e amostras do material reciclado industrialmente e prensado. Embora este último não tenha fornecido os melhores resultados, foi também selecionado para os testes seguintes, pois acredita-se que melhoras sensíveis podem ser conseguidas com o ajuste do processo numa planta específica para este material, o que garantiria uma melhor reprodutibilidade e produtividade do que o processo manual.

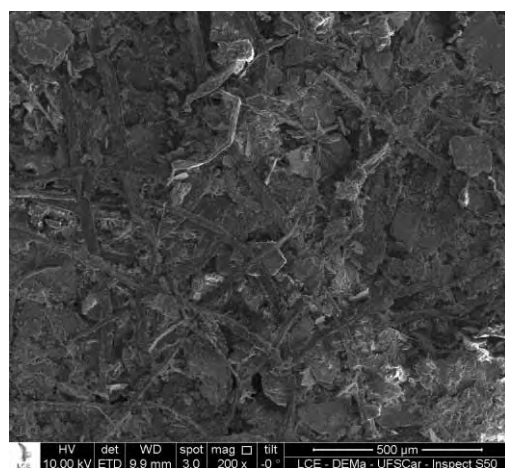
5.6 Microscopia Eletrônica de Varredura e Espectroscopia de Energia Dispersiva.

A Figura 17 apresenta imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura com aumentos de 200 vezes das amostras do material original (a), do reciclado manual prensado duas vezes (b) e do reciclado industrial prensado (c). Observa-se pelas

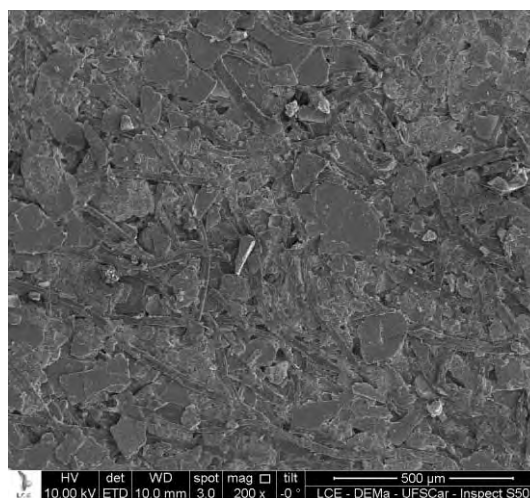
micrografias que tratam-se de materiais bastante semelhantes, com fibras (provavelmente de celulose) entrelaçando partículas (provavelmente de refratários) que, ao menos aparentemente, são maioria na composição. Assim, como já comentado, tanto o material original quanto o reciclado tem nas fibras de celulose uma forma de aprisionar as partículas cerâmicas que exercerão a função de isolamento de calor. Não é possível notar uma alteração drástica no tamanho das partículas ou, principalmente, nas fibras (bem como na espessura dessas últimas), o que poderia significar que o processo de reciclagem teria influenciado negativamente essas dimensões (HUBBE, VENDITTI e ROJAS, 2007). Também não foi possível observar, inclusive em aumentos superiores, delaminação das fibras ou trincas nas mesmas, bem como o fechamento de poros. (CHEVALIER-BILLOSTA *et al.*, 2007; HUBBE, VENDITTI e ROJAS, 2007; LETKOVÁ, LETKO e VRSKA, 2011).



(a)



(b)



(c)

Figura 17: Imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura, com ampliações de 200 vezes, de amostras do material original (a), do reciclado manual prensado duas vezes (b) e do reciclado industrial prensado (c).

A Figura 18 apresenta um espectro de energia dispersiva, obtido dos raios-X gerados durante o bombardeio da amostra de material reciclado industrial prensado com elétrons para a obtenção das imagens de microscopia (Figura 17c). Espectros dos outros materiais não serão apresentados pois se apresentaram rigorosamente iguais em termos de posição e formato dos picos, bem como de identificação do átomo que gerou o pico.

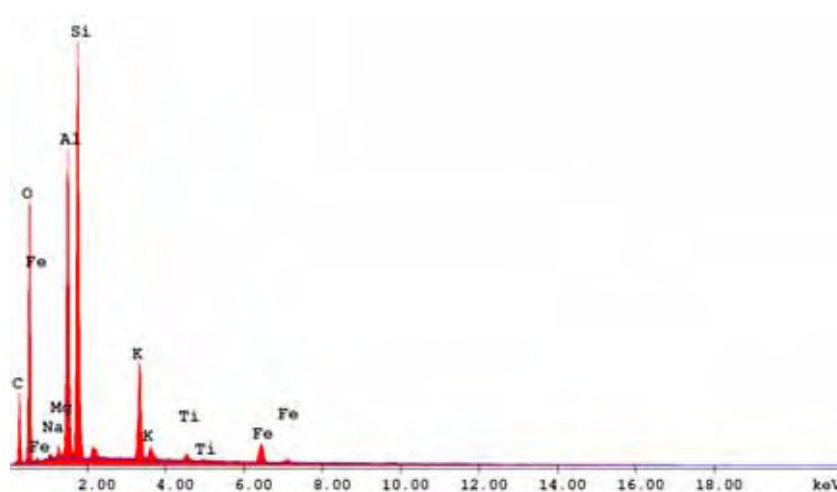


Figura 18: Espectro de energia dispersiva da amostra do material reciclado industrial.

Como esta espectroscopia não pode ser considerada quantitativa, o valor percentual (obtido a partir da área de cada pico) não deve ser levado em conta para verificações de aumento ou diminuição na presença de um ou outro elemento. Porém, trata-se de uma técnica bastante confiável em termos de identificação da presença ou ausência de determinado elemento na área varrida pela imagem. Assim, o espectro da Figura 18 e os espectros dos outros materiais estudados apresentaram os mesmos elementos (carbono, oxigênio, ferro, sódio, magnésio, alumínio, silício, potássio e titânio). Isto é um interessante indicador que a reciclagem não afetou a composição do material e corrobora os resultados dos ensaios de perda de massa por ignição (Figura 10). Esses elementos presentes também confirmam a informação de que o material é composto de fibras celulósicas (carbono) entrelaçando partículas de aluminatos, silicatos e micas (ELRING KLINGER, 2011; DANA, 2012; SAWNA, 2012). A mica é um grupo de minerais complexo que pode apresentar, além do oxigênio e silício, todos os metais observados nos espectros (ferro, sódio, magnésio, alumínio, potássio e titânio) (ARANCIBIA e MORATA, 2005). O oxigênio era esperado por fazer parte tanto da celulose quanto da composição dos refratários, assim como é o hidrogênio, não detectável pela técnica.

5.7 Análise Termogravimétrica.

As curvas termogravimétricas do material isolante reciclado manualmente e prensado duas vezes, do material isolante reciclado industrialmente e prensado uma vez, bem como do material original são apresentadas na Figura 19. Observam-se grandes semelhanças no comportamento conforme cada material vai sendo aquecido.

A Tabela 1 apresenta uma comparação detalhada do comportamento termogravimétrico de cada material estudado, em determinadas faixas de temperatura,

incluindo sugestões sobre o que causou o comportamento. Segundo Raad, Pinheiro e Yoshida (2006), de 200°C a 300°C ocorrem as perdas relacionadas à hemicelulose, ou polioses e no intervalo de 240°C a 350°C às que se relacionam à degradação da celulose. Outro componente comum da madeira, é a lignina, que degrada-se de 350°C a 500°C. Segundo Bai, Hu e Xu (2012) tanto as hemiceluloses quanto a lignina são dissolvidas durante a polpação da madeira e tratadas como resíduos.

Dessa maneira, além das temperaturas de 200°C, 240°C e 300°C para verificar a degradação da celulose ou eventualmente até de hemiceluloses ainda presentes no papel, foram ainda verificadas as perdas de massa em 110°C (relacionadas à umidade livre), bem como a 500°C (associadas não somente à degradação de lignina não totalmente removida durante a polpação como também de aditivos e resinas utilizadas para dar liga ao papel). Para finalizar as investigações foram determinadas as perdas de massa a 800°C (a partir do qual foi injetado ar sintético no sistema) e 990°C (o último ponto do ensaio).

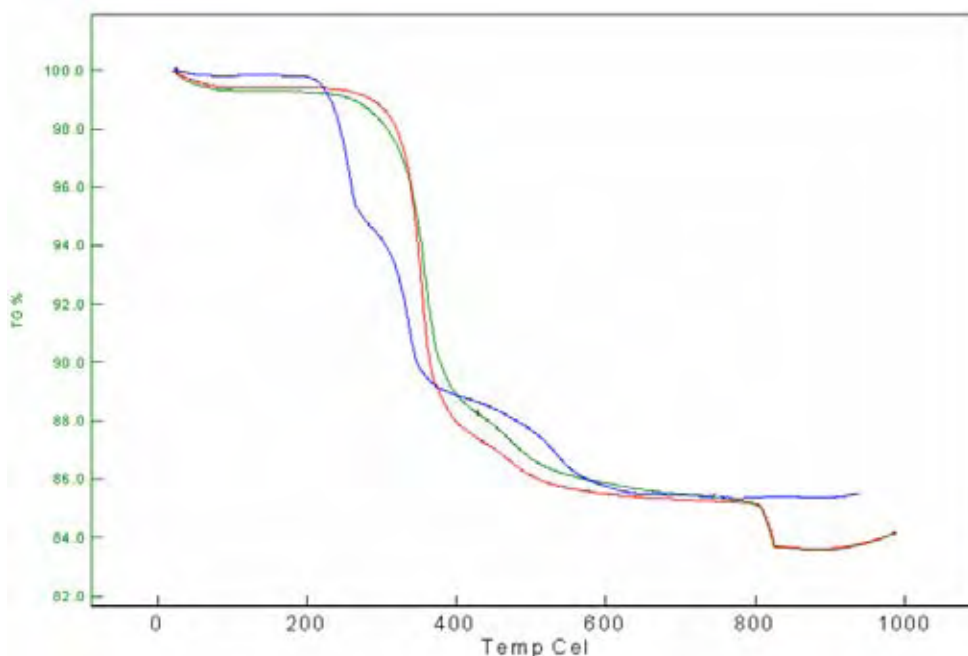


Figura 19: Curvas termogravimétricas dos materiais estudados. A curva vermelha representa o material reciclado industrialmente, a verde o reciclado manualmente, enquanto que a azul representa o material original.

Tabela 1: Perdas de massa ocorridas durante a realização do ensaio termogravimétrico do material original, reciclado manual e prensado duas vezes e reciclado industrial prensado para determinadas faixas de temperatura, bem como o principal provável motivo de cada perda.

Perda de Massa				
(%)				
Faixa de Temperatura (°C)	Reciclado Manual	Reciclado Industrial	Original	Provável Motivo da perda de massa (saída ou degradação)
25-110	0,7	0,7	0,3	Umidade livre
110-200	0,0	0,0	0,0	Outros voláteis
200-240	0,1	0,1	0,5	h-celulose e/ou polioses
240-300	0,9	0,6	5,4	h-celulose e/ou Celulose
300-350	3,7	4,8	2,8	Celulose
350-500	7,8	9,2	5,0	Aditivo, resina e/ou lignina
500-800	1,6	1,2	3,2	Resina
800-990	1,0	1,1	0,3	Fração oxidável e não pirolisável

Observa-se pela Tabela 1 que os três materiais analisados podem ser considerados bastante similares. Até 350°C os materiais reciclados podem ser considerados inclusive

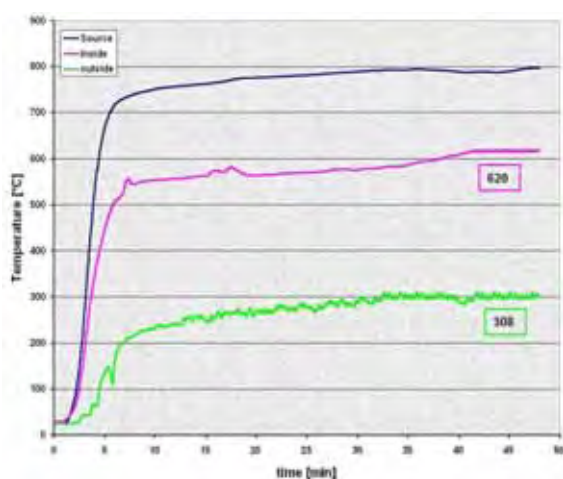
mais estáveis termicamente que o original, pois sofreram menos perdas de massa (exceção a 110°C, o que pode estar relacionado a uma secagem menos eficiente). O total de degradações relacionadas à celulose e, eventualmente, à hemicelulose (degradadas de 200-350°), de 4,7% para o reciclado manual prensado duas vezes, 5,5% para o reciclado industrial prensado uma vez e 8,7% para o material original, é um interessante indício que o processo de reciclagem e mais especificamente a(s) nova(s) prensagem(ns) tendem a dificultar degradações posteriores. A Figura 18 corrobora esses resultados, ao mostrar que o material reciclado ficou fisicamente similar ao original.

De 350°C a 500°C tem-se a degradação atribuída a componentes não celulósicos do papel, porém igualmente orgânicos, como aditivos e resinas, além de, eventualmente, lignina residual. Nessa faixa de temperatura, os reciclados perderam mais material (7,8% e 9,2%, respectivamente, para o manual e o industrial) que o original (5%). Esse resultado sugere que aparas desse material reciclado devem ser cuidadosamente estudadas antes de se pensar numa outra reciclagem, pois a resina e os aditivos são menos estáveis.

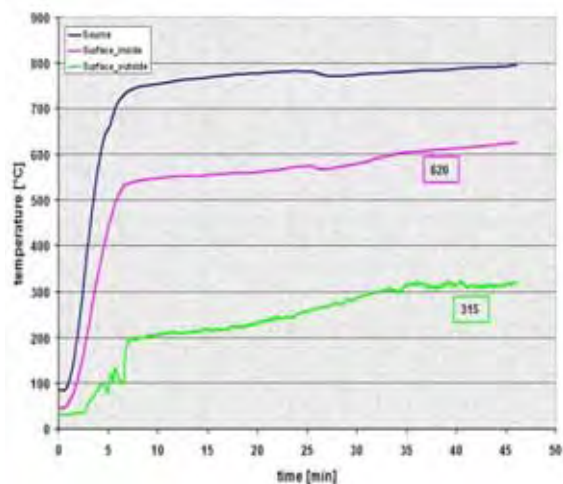
Até 800°C a atmosfera utilizada foi a de nitrogênio e posteriormente introduziu-se ar sintético, ou seja, oxigênio no sistema de aquecimento. Dessa forma, pode-se afirmar que antes dessa temperatura as degradações se deram por razões térmicas e posteriormente por combustão. Acima de 800°C o material original degrada-se menos, ou seja, é um material mais estável nessa faixa de temperatura, ao contrário do apresentado até 800°C.

5.8 Determinação da Capacidade de Isolação Térmica.

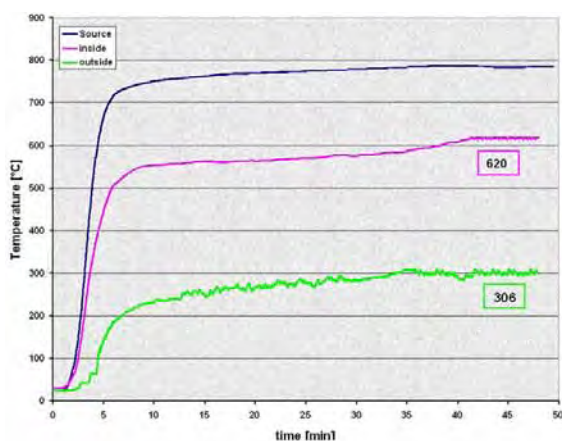
A Figura 20 apresenta as curvas do teste de isolamento térmico feitos com os materiais isolantes original (a), reciclado manualmente e prensado duas vezes (b) e o reciclado industrialmente e prensado (c).



(a)



(b)



(c)

Figura 20: Curvas de aquecimento e de isolamento térmica.

Em (a) do material original e (b) do material reciclado manualmente e (c) material reciclado industrialmente.

A linha em azul (acima) representa o aquecimento da fonte, a linha rosa (intermediária) representa a

temperatura de superfície interna do defletor e a verde (abaixo) é referente a temperatura da superfície externa do defletor, ou seja, a temperatura após a deflação do calor.

Observa-se pela Figura 20, que tanto o material original quanto os reciclados foram extremamente efetivos em isolar uma fonte de calor de 800°C, pois as temperaturas máximas alcançadas no termopar localizado após o isolante foram de 308 °C para material original, 315 °C para o material reciclado manualmente e 306 °C para o material reciclado por meio industrial. A variação da diferença na temperatura máxima alcançada pelos materiais pode ser considerada aceitável, principalmente ao se considerar que o material reciclado manualmente, ao menos graficamente, apresentaram um comportamento melhor que o original em tempos intermediários de aquecimento. Este melhor comportamento pode ser evidenciado pelo fato de que os materiais reciclados manualmente demoraram mais para atingir a região de temperatura máxima.

A Tabela 2 apresenta outros resultados das análises termogravimétricas, dessa vez segundo faixas de temperaturas mais amplas, de 310°C, 620°C e 800°C, registradas no ensaio de isolamento térmico (Figura 21). Deve-se ressaltar que no ensaio termogravimétrico, até 800°C, não permitiu-se a entrada de oxigênio, ao contrário do ensaio de isolamento térmico, realizado em atmosfera ambiente. Na Tabela 2 é apresentado ainda o teor de cinzas de cada amostra.

Tabela 2: Massas residuais após 310oC, 620oC e 800oC e o teor de cinzas das amostras.

	Massa Remanescente		
	(%)		
Faixa de Temperatura (°C)	Original	Reciclado Industrial	Reciclado Manual
25 – 310	97,9	98,4	93,5
25-620	85,8	83,9	83,3
25 – 800	85,1	83,4	82,7
Teor de Cinzas (25-990)	84,2	82,3	82,5

Observa-se pela Tabela 2 que os materiais reciclados se assemelham em comportamento, enquanto que o material original se apresenta mais estável (menor perda de massa). Os teores finais apresentaram o mesmo comportamento, com restante de massa semelhante entre os reciclados manual e industrial. Os intervalos de temperatura selecionados representam as temperaturas ocorridas no ensaio de isolamento térmica, sendo: 800°C (temperatura da fonte de calor), 620°C (temperatura antes do defletor) e por volta de 310°C (temperatura após o defletor). De uma forma geral, o percentual mantido entre os materiais não representou diferenças no isolamento (Figura 21).

Ao final do ensaio, o material original obteve o maior índice de teor de cinzas, enquanto que os reciclados apresentaram-se bastante semelhantes. Em linhas gerais, foram obtidos materiais com cerca de 80% de cinzas inertes, o que corrobora a suspeita levantada quando da análise das micrografias (Figura 19), que sugeriam que a quantidade de partículas cerâmicas refratárias (inorgânicas, que não pirolisam nem entram em combustão) era superior a quantidade de fibras celulósicas (orgânicas, ou seja, pirolisáveis

e queimáveis por combustão). Esses resultados estão de acordo com os resultados do ensaio de Perda de Massa por Ignição (Figura 11), realizado em atmosfera oxidativa, que determinou que os isolantes originais e reciclados apresentavam de 15 a 20% de fração queimável a 600°C.

Os resultados apresentados na Figura 21 evidenciam a real possibilidade de aproveitamento das aparas de material original na confecção de produtos com a mesma função. Esta possibilidade é a intenção maior de qualquer processo de reciclagem, dada a possibilidade de manter o valor agregado do produto original.

Deve-se ressaltar que, uma vez que a refratariedade (a principal propriedade desejada para o produto) foi mantida, se julgado necessário, outras propriedades necessárias para a aplicação (espessura, densidade, tração, compressibilidade e retorno) podem ser ajustadas, por exemplo, a partir da aplicação de técnicas mais modernas de reciclagem de papéis.

Deve se considerar ainda, que o produto em questão pode ser considerado nobre e cujo descarte deve ser evitado, não somente pelas suas potencialidades e custo (tanto do material quanto do aterramento), mas também pela própria disposição final em solo. Segundo a Tabela 2, no máximo 15,8% do material é orgânico, ou seja, pode ser eventualmente biodegradado. O restante é inorgânico e estável, inclusive, em temperaturas próximas a 1.000°C sob ação de oxigênio. Ou seja, num aterro, a não ser que reaja com algum outro componente, a maioria do material deve permanecer intacta por tempos muito longos.

A alta carga inorgânica faz com que seja pouco viável a alternativa da incineração, ao contrário do papel de uma maneira geral, sempre visado para a recuperação da energia contida. Por exemplo, um papel usado em máquinas de copiar possui um teor de cinzas médio de 21,6% (LAVRIKOV e RAMARAO, 2012). A maior carga orgânica faz com que

a ideia da queima seja sempre presente em estudos sobre o papel comum, inclusive comparações baseadas em avaliações de ciclo de vida (WANG, TEMPLER e MURPHY, 2012). Interessantes estudos de avaliação de ciclo de vida também fazem comparações sobre os impactos ambientais da reciclagem de diferentes tipos de papel (LIANG, ZHANG e XU, 2012) ou sobre, por exemplo, as emissões de gases de efeito estufa durante a obtenção do papel virgem e do reciclado (JAMES, 2012).

Brystrom e Lonnstedt (2000) discutem as vantagens e desvantagens da reciclagem em relação à utilização de aparas de papel para obtenção de energia renovável para o próprio processo de fabricação da polpa. Segundo os autores, a polpação a partir de aparas tem uma série de vantagens, entre elas a não existência de resíduos de madeira e os muitos produtos químicos dissolvidos no processo à partir da lenha. Porém, quando o papel já está impresso pode haver a necessidade da retirada da tinta impregnada. Ainda, o processo de fabricação da polpa (reciclada ou virgem) é geralmente baseado em fontes não renováveis de energia e a utilização das aparas é vista como uma forma de mudar essa situação.

Nesse contexto, a reciclagem das aparas dos isolantes de calor utilizados nesse trabalho traria as vantagens existentes na polpação dessas aparas, bem como outras. Essas aparas de material isolante podem ser consideradas de alta qualidade por não serem impressas e por serem geradas dentro da fábrica, havendo mínima quantidade de impurezas e nenhum dos materiais associados a resíduos de papel pós-consumo, como adesivos e grampos metálicos (IOSIP *et al.*, 2010). As vantagens em termos de qualidade das aparas para a reciclagem devem ser somadas ao baixo potencial energético desse material numa eventual queima, o que torna essa opção pouco atraente, como já comentado.

6 CONCLUSÕES

O presente trabalho demonstrou a possibilidade de se obter um produto semelhante ao original a partir de aparas de isolante térmico. O sistema de reciclagem deve ser aperfeiçoado e mecanizado em parte, o que vai diminuir influências externas e deve aumentar a reprodutibilidade dos resultados. Entretanto o material apresentou aprovação à principal exigência, o isolamento térmico.

Os resultados de espessura do material expressam a dificuldade de se obter um processo reprodutível. Ao se verificar o processo manual a espessura varia de acordo com a coluna de água percorrida no tanque confeccionado para esse fim e também de acordo com a concentração de polpa dentro do mesmo tanque.

No processo de reciclagem industrial a espessura é constante, entretanto é reprovada, pois é demasiadamente grande. A tecnologia da máquina utilizada para a reciclagem já é ultrapassada, sendo que se precisa de uma espessura que configure uma resistência mínima ao material ainda úmido, pois o mesmo deve ser puxado do sistema após uma válvula acionar o corte quando se atinge a espessura solicitada.

Quanto às análises termogravimétricas os materiais se assemelham, apesar de ligeiras sinuosidades com original fornecido e aprovado pelo fabricante de defletores, sendo que há uma diferença não significativa, o teor de umidade, o que pode ser explicado pelos processos carentes de fornos potentes ou mesmo de sistemas de prensas que eliminassem a água existente no interior das folhas. Outro sistema de reciclagem adequaria os teores de umidade dos materiais reciclados facilmente.

Relativo às análises de espectroscopia de energia dispersiva, ao se comparar os materiais reciclados manuais e industriais, nota-se a manutenção dos elementos no material, não se obtendo perdas significativas dos elementos característicos, bem como à concentração dos materiais.

O ensaio de isolamento térmica confirma a eficácia dos materiais reciclados, uma vez que a finalidade de isolamento térmica foi atendida em ambos os casos, reciclado industrialmente ou manualmente, isolando uma fonte de 800°C para uma temperatura média de 310°C.

Para se conseguir um material idêntico ao da matéria-prima original, ou seja, espessura de 1 mm e atendimento aos outros parâmetros, aparentemente é necessário um esforço de engenharia da empresa além de óbvios investimentos. Porém, já se sabe que a

principal propriedade, a efetividade de isolamento térmica do material reciclado, por qualquer uma das metodologias, industrial ou manual, é comparável à do material original.

7 Recomendações para trabalhos futuros

A luz do desenvolvimento do presente trabalho deve-se incrementar o processo de reciclagem manual, pois apresentou resultados interessantes, sobretudo o tratamento com duas prensagens (200 toneladas de pressão) e representa a necessidade de baixos investimentos, demandando basicamente a reprodutibilidade da espessura obtida. A inclusão de processos de aplicação mecanizada na polpa e de rolos para ajuste de espessura auxiliou a redução das interferências nas grandezas como espessura, densidade, compressibilidade, retorno e resistência à tração. Entretanto os implementos a serem realizados devem ser resistentes à corrosão e à forte abrasividade que o material representa quando em forma de polpa.

8 Próximas etapas do trabalho

O presente trabalho deve ser continuado com avaliações de materiais produzidos em maquinários mais modernizados de plantas industriais fabricantes de materiais isolantes e que possam reproduzir os resultados. Uma vez ajustados os processos produtivos, o material estará em plenas condições de ser aceito como matéria prima na empresa detentora da tecnologia.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARANCIBIA, G.; MORATA, D. Compositional variations of syntectonic white-mica in low-grade ignimbritic mylonite. Departamento de Geología, Universidad de Chile. *Journal of Structural Geology* 27, 745–767p., 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Sistemas da Gestão Ambiental – Requisitos com Orientação para Uso*. ABNT NBR ISO 14001, 2 ed. , 27 p., 2004.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES, ANFAVEA, 2012. Disponível em: <<http://www.anfavea.com.br/carta.html>> Acesso em: 24 de jun. de 2012.

ASTM (ASTM INTERNATIONAL). - ASTM F-36, item K, Standard Test Method for Compressibility and Recovery of Gasket Materials, 2003.

ASTM (ASTM INTERNATIONAL). ASTM F 152-95, Standard Test Methods for Tension Testing of Nonmetallic Gasket Materials, 1995.

ASTM (ASTM INTERNATIONAL). D 2240-05: Standard test method for rubber property: durometer hardness. West Conshohocken, 2010a.

AVILA, G. J. & PAIVA, E. L. Processos operacionais e resultados de empresas brasileiras após a certificação ambiental ISO 14001. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 13, n. 3, Dec. 2006.

BAIA, L.; HUA, H.; XU, B, J. Influences of configuration and molecular weight of hemicelluloses on their paper-strengthening effects. *Carbohydrate Polymers* v.88. 1258–1263p. 2012.

BALLOW, R.H. *Gestão da cadeia de suprimentos (Supply Chain Management) – conceitos, estratégias e casos*. São Paulo: Atlas, 310p. 2004.

BERGMILLER, G. G. *Lean manufacturer's transcendence to green manufacturing: Correlating the diffusion of lean and green manufacturing systems*. University of South Florida. 2006.

BOONS, F. A. A.; BAAS, L.W. Types of industrial ecology: the problem of coordination. *J. Cleaner Prod.* Vol. 5, No. 1-2, pp. 79-86,1997

BRASIL. Presidência da República. Lei no 12.305, de 2010. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 03 ago. 2010. Seção 1, n. 147, p. 3-7. Disponível em: <http://www.in.gov.br/visualiza/index.jsp?data=03/08/2010&jornal=1&pagina=3&totalArquivos=84>>. Acesso em 28 ago. 2011.

BYSTRÖM, S.; LÖNNSTEDT, .L. Paper recycling: a discussion of Methodological approaches. Swedish University of Agricultural Sciences. Resources, Conservation and Recycling 28, 55–65, 2000.

CHEVALIER-BILLOSTA, V.; JOSELEAU, J.P.; COUCHAUX, A.RUEL, K. Tying together the ultrastructural modifications of wood fibre induced by pulping processes with the mechanical properties of paper. V.14:141 –152p., 2007.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Guia Técnico Ambiental da Indústria de Papel e Celulose – Série P+L. São Paulo: CETESB, 2008. 49p.

CORAZZA, R.I. Gestão ambiental e mudanças da estrutura organizacional. RAE-eletrônica, v. 2, n. 2, jul-dez/2003.

COSTA, M.M. Princípios de Ecologia Industrial Aplicados à Sustentabilidade Ambiental e aos Sistemas de Produção de Aço. Tese (Doutorado em Ciências em Planejamento Energético) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, 2002.

DANA, SHIELDING SYSTEMS, 2011; disponível em: <http://www.dana.com/wps/wcm/connect/Dext/dana/resources/040>

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG - DIN52911 Ignition Loss, 2008.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG: DIN 28090-2, Statisk gaskets for flange connections – Part 2: Gaskets Made from Sheets, 1995.

ELRINGKLINGER, KATALOG-ABSCHIRMSYSTEME 2011; disponível em: <http://www.elringklinger.de/de/produkte>.

ELROTHERM® SHIELDING SYSTEMS 2010. Thermal and Acoustic Protection for Engine and Unnderbody. <http://www.elringklinger.de/sites/default/files/katalog-abschirmsysteme-201009-en.pdf>. Acessado em 10/05/2011

ENVIRONMENTAL PROTECT AGENCY, 2011; disponível em: <http://www.epa.gov/aboutepa/ocfo.html> Acessado em 10/05/2011.

EPA - ENVIRONMENTAL PROTECT AGENCY. Life-Cycle Assessment Inventory Guidelines and Principles. United States Environmental Protection Agency. Risk Reduction Engineering Laboratory. Cincinnati, OH. February 1993.

FERREIRA, J. V. R. Análise de Ciclo de Vida dos Produtos. Instituto Politécnico de Viseu, 2004.

GALDIANO, G.P. Inventário do ciclo de vida do papel offset produzido no Brasil. Dissertação de mestrado para a Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 280p. São Paulo, 2006.

GHALEB, Y; ABASSI, A.; BASSIM, E; ABBASSI, B. Environmental assessment for paper and cardboard industry in Jordan — a cleaner production concept. *Journal of Cleaner Production* 12, 2004.

GIANNETT, F.B.; ALMEIDA C.M.V.B.; BONILA S.H. A Ecologia Industrial dentro do Contexto Empresarial. *Banas Qualidade*, Setembro, 2007. P76-83. Disponível em www.banasqualidade.com.br.

HUBBE, M.A.; VENDITTI, R.A.; ROJAS, O.J. What happens with the cellulosic fibers during the paper making and recycling? A review. *NCSU.EDU Bioresources*, North Carolina State University, 2007.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA - INMETRO -. Sobre a Certificação ISO14001 - Brasil. Disponível em: http://www.inmetro.gov.br/gestao14001/Rel_Certificados_Validos.asp?Chamador=INMETRO14&tipo=INMETROEXT. Acesso em: 24 jun. 2012.

IOSIP, A.; NICU, R.; CIOLACU, F.; BOBU, E. INFLUENCE OF RECOVERED PAPER QUALITY ON RECYCLED PULP PROPERTIES. Paper presented at the 14th International Symposium on Cellulose Chemistry and Technology, September 8-10, 2010, Iasi, Romania. *Cellulose Chem. Technol.*, v.44 (10): 513-519, 2010.

ISAIA, G.C.; GASTALDINI, .A.L.G. Perspectivas Ambientais e econômicas do concreto com altos teores de adições minerais: um estudo de caso. *Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído*. Porto Alegre, v.4, n.2, p:19-30. 2004.

JACOBS, M. *Green Economy: Environment, Sustainable Development and the Politics of the Future*. University of British Columbia, 1993.

JAMES, K. An investigation of the relationship between recycling paper and card and greenhouse gas emissions from land use change. *Resources, Conservation and Recycling* v: 67, 44– 55p. 2012.

JOHN, V.M.; ÂNGULO, S.C. Metodologia para desenvolvimento de reciclagem de resíduos. *Coletânea Habitare - vol. 4 - Utilização de Resíduos na Construção Habitacional*, 2004. *JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION* v. 11, 397–409p, 2003.

JOHN, V.M.; ZORDAN, S.E. Research & development methodology for recycling residues as building materials. *Escola Politécnica, Revista de engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol.13 - Nº 4 - out/dez 2008, 416-425. University of São Paulo, São Paulo, 2000.

KUMAR, D.; SINGH, J.; PANDEY, P.C. BEHAVIOURAL ANALYSIS OF A PAPER PRODUCTION SYSTEM WITH DIFFERENT REPAIR POLICIES. *Microelectron. Reliab.*, Vol. 31, No. I, pp. 47-51, 1990.

LETKOVÁ, E.; LETKO, M.; VRŠKA, M. Influence of recycling and temperature on the swelling ability of paper. Department of Chemical Technology of Wood, Pulp and Paper, Faculty of Chemical and Food Technology, Slovak University of Technology, Radlinského 9, v.8: 12-37p Bratislava, Slovakia, 2011.

LIANG, S.; ZHANG, T.; XU, Y. Comparisons of four categories of waste recycling in China's paper industry based on physical input–output life-cycle assessment model. *Waste Management* V.32: 603–612p, 2012.

LIMA, W. de P. Impacto ambiental do eucalipto, Univ. de São Paulo, FAPESP, 306p, 1996.

MANO, E. B.; PACHECO, E. B. A. V.; BONELLI, C. M. C. Meio ambiente, poluição e reciclagem. São Paulo: Edgard Blucher, 2005.

MORETTI, G.N.; SAUTTER, K.D.; AZEVEDO, J.A.M. ISO 14001: implementar ou não? Uma proposta para a tomada de decisão. *Eng. Sanit. Ambient.* vol.13 no.4 Rio de Janeiro Oct./Dec. 2008.

NEWELL, S.A.; FIELD, F. R. Explicit accounting methods for recycling in LCI, *Resources, Conservation and Recycling*, v. 22, Issues 1-2, p. 31-45, Mar. 1998.

PERALTA-ZAMORA, E. ESPOSITO, J. REYES E N. DURÁN. Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose. Tratamento biológico e fotocatalítico. Instituto de Química - UNICAMP - CP 6154 - 13083-970 -Campinas – SP, 1996.

PERKIN ELMER. Thermogravimetric Analysis (TGA). A Beginner's Guide Perkin Elmer – 2010; disponível em: www.perkinelmer.com

POMBO, F. R. & MAGRINI, A. Panorama de Aplicação da Norma ISO 14001 no Brasil. *Gest. Prod.*, São Carlos, v. 15., n. 1, p. 1-10, 2008.

RAAD, T. J.; PINHEIRO, P. C. C.; YOSHIDA, M. I.; Equação geral de mecanismos cinéticos da carbonização do *Eucalyptus* spp. *CERNE (UFL)*; v. 12, (2), p. 93-106, 2006.

RAAD, T.J.; PINHEIRO, P.C. Mecanismos cinéticos da carbonização do *Eucalyptus* spp. *Cerne*, Lavras, v. 12, n. 2, p. 93-106, abr./jun. 2006

RANKIN, W.J. Minerals, Metals And Sustainability. Meeting Future Materials Needs. CSIRO Publishing. Collingwood, Australia, 2011.

REBITZER G, FLEISCHER G. Identifying the environmental impact drivers and tradeoff options in the life cycle of automobiles—a software based methodology for the sound restriction of system boundaries. *Proceedings of the SAE Total Life Cycle Conference*, Detroit, USA. Warrendale, USA: Society of Automotive Engineers (SAE); p. 86– 92. 2000.

REBITZER, G.; EKVALL, T.; FRISCHKNECHT, R.; HUNKELER, D.; NORRIS, G.;SCHMIDT, W.P.; SUH, S.; WEIDEMA, B.P.; PENNINGTON, D.W.; RYDBERG, T. Life cycle assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. *ELSEVIER Environment International* v.30, 701– 720p, 2004.

REED, S.J.B. *Electron Microprobe Analysis and Scanning Electron Microscopy in Geology*, New York, Cambridge University Press, 201p. 1996.

Regulamento da Comunidade Européia, (CE) n.º 595/2009; disponível em: http://europa.eu/legislation_summaries/environment/air_pollution/128186_pt.htm. Acessado em 10/05/2011

ROLDAN, F.; MIYAKE, D.I. Mudanças de forecast na indústria automobilística: iniciativas para a estruturação dos processos de tomada de decisão e processamento da informação. *Gest. Prod.* [online]. vol.11, n.3, pp. 413-427. ISSN 0104-530X, 2004.

SACHDEVA, A.; KUMAR, D.; KUMAR, P. Planning and optimizing the maintenance of paper production systems in a paper plant. Department of Mechanical and Industrial Engineering, Indian Institute of Technology, Roorkee 247667, India *Computers & Industrial Engineering* 55 (2008) 817–829, 2008.

SANTI, A.M.M.; SEVA, A.O.S. Resíduos Renováveis e Perigosos como combustíveis industriais. Estudo sobre a difícil sustentação ambiental da fabricação de cimento no Brasil, anos 1990. VIII CBE, Congresso Brasileiro de Energia, Rio de Janeiro. 1999.

SANTOS, C. Prevenção à Poluição Industrial: Identificação de Oportunidades, Análise dos Benefícios e Barreiras. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SANTOS, C. Prevenção à Poluição Industrial: Identificação de Oportunidades, Análise dos Benefícios e Barreiras. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

SARKIS, J. A strategic decision framework for green supply chain management. Clark University, Graduate School of Management, 950 Main Street, Worcester, MA 01610, USA. *Journal of Cleaner Production*. 2003.

SAWNA, PACKING INDUSTRY CO. 2011; disponível em: <http://www.sanwapacking.co.jp/english/html/lineup.html>

SERGIY, A.; LAVRYKOV, B.; RAMARAO, V.A. Thermal Properties of Copy Paper Sheets. *Drying Technology*, V30: 297–311P, 2012

SETTE, T.C.C. Desenvolvimento de uma Proposta de Indicadores para a Avaliação do Desempenho ambiental dos Processos Produtivos Industrial sob a ótica da Biomimética. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas 143p. 2010.

SHEAA, K.; CHESSONB, P. Community ecology theory as a framework for biological invasions. The Pennsylvania State University, University Park, USA. 2002.

SILVA, T. N. & CAMPOS, L. M. S. Avaliação da Produção e da Qualidade do Gás de Aterro para Energia no Aterro Sanitário dos Bandeirantes. *Eng. Sanit. Ambient.* , v. 13, n.1, p. 88-96, 2008.

TSUKAMOTO, J.; SABANG, J. Soil macro-fauna in an Acacia mangium plantation in comparison to that in a primary mixed dipterocarp forest in the lowlands of Sarawak, Malaysia. Faculty of Agriculture, Education and Research Center for Subtropical Field Science, Kochi University, Nankoku 783-8502, Volume 49, Issue 1, 31 January 2005, Pages 69–80 Japan, 2004.

TUKKER, A.; GIELEN, D. J. A concept for the environmental evaluation of waste management benefits. In: GOUMANS, J. J.; VAN DER SLOOT, H. A.; AALBERS, G. (Ed.). Environmental Aspects of Construction with Waste Materials. London: Elsevier, 1994.

UNEP, Integrated Assessment of Trade Liberalization and Trade-Related Policies. New York and Geneva, 2002

VAN GINKEL, C.G.;KESTER, H.; STROO, C.A.; VAN HAPEREN. Biodegradation of EDTA in pulp and paper mill effluents by activated sludge.Water Science and Technology;40(11-12):259–66. 1999.

VILELA JUNIOR, A.; DEMAJOROVIC, J. Modelos e ferramentas de gestão ambiental: desafios e perspectivas para as organizações. São Paulo: editora SENAC, 2006.

WANG, L.; TEMPLER, R.; MURPHY, R. A Life Cycle Assessment (LCA) comparison of three management options for waste papers: Bioethanol production, recycling and incineration with energy recovery Bioresource Technology V. 120: 89–98p. 2012.

WHITEMARTINS, Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos. FISPQ n°: P-4560-G, 2012.

XIN R. Cleaner production in China's pulp and paper industry.Journal of Cleaner Production; 6(3-4):349–55p, 1998.