



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
ENGENHARIA DE MATERIAIS



---

ENG 02298 TRABALHO DE DIPLOMAÇÃO

**DESENVOLVIMENTO DE PAINEIS SANDUÍCHE COM LÂMINAS DE POLIETILENO DE ALTA  
DENSIDADE E NÚCLEO ISOLANTE DE RESÍDUO INDÚSTRIAL DO SETOR CALÇADISTA**

Guilherme Pinton Delfino

00150651

Prof. Dra. Ruth Marlene Campomanes Santana

Dezembro de 2012

## **Agradecimentos**

À minha esposa, Lais, pelo amor, carinho e dedicação incondicional ao longo de todo o curso em especial aos momentos críticos da minha jornada acadêmica em que me auxiliou a encontrar caminhos quando eles esvaiam-se sob meu olhar, aos meus pais, Júlio e Roseli, e meus irmãos, Júlio e Jonatan, por toda confiança, dedicação e amor dados ao longo de toda a minha vida, ajudando a formar o homem que sou hoje. Agradeço a eles por tudo isto.

A todos os professores, em especial à professora Doutora Ruth Marlene Campomanes Santana, minha orientadora neste trabalho, pelos ensinamentos, apoio, dedicação e confiança dedicada a mim, agradeço também suas respostas “*the flash*” e todo conhecimento que me passaste.

Aos amigos e colegas de curso, Lorenzo e Fábio, que me ajudaram na execução de alguns procedimentos, às técnicas do LACOR, Regina, e do LAPOL, Bruna, pelo auxílio na execução de ensaios.

Aos demais colegas de curso, pelas sérias e cansativas madrugadas de estudos compartilhados e pelos alegres e inesquecíveis momentos de descontração.

À UFRGS pela oportunidade de cursar um curso de excelência.

A todos que colaboram de alguma maneira para a realização deste trabalho.

*“Nunca andes pelo caminho traçado, pois ele  
conduz somente aonde outros já foram”*

Alexander Graham Bell

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Representação esquemática dos componentes de um compósito .....	4
<b>Figura 2</b> – Esquema de classificação para compósitos. (CALLISTER, 2006) .....	5
<b>Figura 3</b> – Micrografia da superfície de um compósito particulado PP/CaCO <sub>3</sub> . (SANTANA & MANRICH, 2009).....	5
<b>Figura 4</b> – Micrografias obtidas por microscópio eletrônico de varredura das fibras: a) sisal; e b) curauá – (SPINACÉ, et al., 2011).....	6
<b>Figura 5</b> - Preforma costurada, +45, 0, -45. (PARDINI, 2000) .....	7
<b>Figura 6</b> – Distribuição das camadas de um painel sanduiche .....	8
<b>Figura 7</b> – Modelo representando a estrutura da molécula do Polietileno, onde as esferas escuras são átomos de carbono e as claras são de hidrogênio. ....	10
<b>Figura 8</b> – Processo de produção do etileno verde. Disponível em: <a href="http://www.braskem.com.br/siteaspx/produtos-verdes">http://www.braskem.com.br/siteaspx/produtos-verdes</a> .....	13
<b>Figura 9</b> – Constituintes do painel .....	15
<b>Figura 10</b> - Resíduos da indústria calçadista gaúcha.....	16
<b>Figura 11</b> – Prensa Hidráulica utilizada para confecção dos painéis sanduiche .....	17
<b>Figura 12</b> – Ensaio de compressão.....	18
<b>Figura 13</b> – Sistema para ensaio de impacto por queda de dardo utilizado no trabalho.....	19
<b>Figura 14</b> – Ensaio para análise de propriedades de isolamento térmico.....	20
<b>Figura 15</b> – Sistema para análise de propriedade de isolamento térmico dos painéis .....	20
<b>Figura 16</b> – Imagem do ensaio de isolamento sonoro.....	21
<b>Figura 17</b> – Imagens do ensaio de envelhecimento natural. (a) mostrando a inclinação de 45° da mesa. (b) visão geral da mesa de apoio das placas.....	22
<b>Figura 18</b> - Radiação ultravioleta durante o ensaio de envelhecimento natural. Fonte: Dados da rede do INMET.....	23
<b>Figura 19</b> – Imagem do equipamento presente no LACOR/UFRGS .....	23
<b>Figura 20</b> – Curva de DSC da amostra de um dos componentes do recheio.....	25
<b>Figura 21</b> – Amostra do resíduo segmentada para comparação da diferença da representatividade da massa do resíduo e do volume .....	26
<b>Figura 22</b> – Representatividade dos constituintes do resíduo da indústria calçadista.....	27
<b>Figura 23</b> – Curva da carga de compressão máxima até 50% de deformação .....	29
<b>Figura 24</b> – Comparação dos painéis após e antes do ensaio de compressão .....	30
<b>Figura 25</b> – Curva da energia de impacto para as alturas ensaiadas.....	30
<b>Figura 26</b> – Perda de massa de gelo dentro e fora do cubo isolado.....	33

<b>Figura 27</b> – Imagem da peça no 12º dia de exposição é possível perceber a formação de orvalho sobre a placa. ....	35
<b>Figura 28</b> – Presença de material vegetal, limo, sobre as fibras de algodão.....	35
<b>Figura 29</b> – Projeto de enfermaria realizado em telha trapezoidal de Aluzinc, com núcleo isolante de EPS e revestimento interno em forro lambri de PVC. (Divulgação: GRUPO COLMEIA).....	37
<b>Figura 30</b> – Casas para situações emergenciais entregadas pelo DEMHAB Porto Alegre (Departamento Municipal de Habitação).....	38
<b>Figura 31</b> – Refeitório Industrial confeccionado em painel sanduiche Aço + EPS. (Divulgação: GRUPO COLMEIA).....	39

## INDÍCE DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> – Propriedades do polietileno de alta densidade. (CALLISTER, 2006).....	12
<b>Tabela 2</b> – Parâmetros de processamento por prensagem utilizado .....	16
<b>Tabela 3</b> – Massa de constituintes para painel de 180x180x30mm .....	17
<b>Tabela 4</b> – Dados e médias climatológicas de 03 de outubro a 1° de novembro de 2012 na cidade de Porto Alegre/RS .....	22
<b>Tabela 5</b> – Condições do ensaio de envelhecimento acelerado em névoa salina.....	24
<b>Tabela 6</b> – Detalhamento da composição dos resíduos provenientes de indústria calçadista .....	26
<b>Tabela 7</b> – Métodos de processamento do painel sanduiche para encontrar o ótimo processamento.....	28
<b>Tabela 8</b> – Resultados das dimensões das amostras antes e após o ensaio de compressão .....	29
<b>Tabela 9</b> – Análise dos painéis após ensaios de impacto por queda de dardos .....	31
<b>Tabela 10</b> – Comparações das massa de gelo remanescente e temperaturas dentro e fora do cubo. ....	32
<b>Tabela 11</b> – Ensaio para avaliação da capacidade de isolamento sonoro.....	33
<b>Tabela 12</b> – Absorção de água pelo painel no ensaio de envelhecimento natural. ....	35
<b>Tabela 13</b> – Absorção de água pelo painel no ensaio de envelhecimento acelerado.....	36
<b>Tabela 14</b> – Comparação das etapas confecção da casa de emergência entre o projeto atual utilizado pelo DEMHAB e o novo modelo em painéis de PEAD .....	38

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. Materiais compósitos.....	4
3.2. Classificação dos compósitos .....	4
3.2.1. Compósitos reforçados com partículas .....	5
3.2.2. Compósitos reforçados com fibras .....	6
3.2.3. Compósitos estruturais .....	6
3.2.3.1. Painéis sanduíche .....	7
3.2.3.1.1. Seleção de materiais para laminados .....	9
3.2.3.1.2. Seleção de materiais para núcleo.....	9
3.3. Polietileno de alta densidade (PEAD).....	10
3.4. Desenvolvimento sustentável.....	11
3.4.1. Fontes renováveis .....	12
3.4.2. Importância do uso de resíduos.....	13
4. MATERIAIS E MÉTODOS .....	15
4.1. Materiais .....	15
4.1.1. Polietileno de alta densidade (PEAD) .....	15
4.1.2. Material do núcleo do painel.....	15
4.2. Metodologia.....	16
4.2.1. Processamento por prensagem .....	16
4.2.2. Caracterização.....	17
4.2.2.1. Análise térmica de DSC do resíduo .....	17
4.2.2.2. Ensaio de Compressão.....	18
4.2.2.3. Ensaio de impacto.....	18
4.2.2.4. Propriedades de isolamento térmico .....	19
4.2.2.5. Propriedades de isolamento acústico.....	21
4.2.2.6. Envelhecimento natural.....	21
4.2.2.7. Envelhecimento acelerado em névoa salina .....	23
5. DISCUSSÕES DE RESULTADOS .....	25
5.1. Caracterização da matéria-prima.....	25
5.2. Determinação das condições ótimas de processamento dos painéis .....	27

5.3. Propriedades mecânicas .....	28
5.3.1. Compressão .....	28
5.3.2. Impacto .....	30
5.4. Propriedade de isolamento térmico .....	31
5.5. Propriedade de isolamento acústico .....	33
5.6. Degradação .....	34
5.6.1. Envelhecimento natural.....	34
5.6.2. Envelhecimento acelerado em câmara de névoa salina.....	36
5.7. Aplicações .....	37
6. CONCLUSÕES.....	40
7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS .....	42
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	43
ANEXO A.....	46
ANEXO B .....	47

## RESUMO

Os painéis sanduiche vêm sendo utilizados cada vez mais para confeccionar ambientes com agilidade, bom acabamento superficial e excelentes propriedades de isolamento térmico e acústico. Os painéis são mais leves, quando comparados a paredes convencionais de alvenaria, e possuem vantagens de serem moduladas e projetadas exatamente de acordo com as necessidades do cliente, reduzindo assim diversas etapas durante a construção. Os painéis convencionais são confeccionados de aço e possuem núcleo isolante, na maioria das vezes, de poliestireno expandido ou poliuretano expandido, porém o alto custo para a utilização das estruturas sanduiche impedem sua maior aplicação no mercado nacional. O uso de polietileno de alta densidade para confeccionar as lâminas do painel foi proposto exatamente para reduzir o custo de fabricação, já que o PEAD é um dos polímeros mais baratos do mercado. Simultaneamente o núcleo proveniente de resíduos pré-consumo da indústria calçadista, além de ser ambientalmente correto, chega a custo praticamente zero a fábrica de painéis. O processo utilizado, em escala laboratorial, foi o de compressão que permite a confecção do painel acabado em apenas uma etapa e possui variáveis de processo fáceis de monitorar e ajustar.

As avaliações das propriedades mecânicas do painel foram feitas através de ensaio de impacto e de compressão, com intuito de avaliar a degradação dos painéis foram realizados ensaios de envelhecimento natural e também de envelhecimento acelerado em névoa salina que não identificaram alterações nas propriedades físicas e mecânicas do painel.

Através de ensaios para avaliação das propriedades de isolamento térmico e acústico, verificou-se que o painel apresentou características isolantes em todas as situações.

O uso de painéis sanduiche confeccionado com lâminas de PEAD e núcleo isolante em resíduo pré-consumo da indústria calçadista reduz o custo e o tempo para execução da obra, bem como auxilia a proteger o meio ambiente com a retirada destes resíduos dos aterros sanitários. Os resultados mostraram que estes painéis podem substituir, em algumas aplicações, com vantagens a construção em alvenaria convencional e os painéis hoje utilizados.

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de novos materiais tende não apenas utilizações de alta tecnologia e sofisticação, mas também produtos que possam reduzir impactos ambientais trazendo benefícios à sociedade e ao usuário final deste produto. No estado do Rio Grande do Sul o setor da construção civil e coureiro-calçadista representam alguns dos pilares mais sólidos da economia, porém os resíduos por eles gerados também estão entre os mais expressivos resultando os maiores impactos ambientais, conforme aponta os resultados obtidos no Relatório sobre a Geração de Resíduos Sólidos Industriais, executado por Silva, et al (2003).

A etapa de corte e reforço para confecção de tênis e sapatos gera cerca de 25-30% de resíduos, o que representa cerca de 80 toneladas de resíduos/milhão de pares (UNIDO, 2000). O EVA (Copolímero de etileno acetato de vinila) representa 14% deste resíduo. Porém o impacto ambiental não é gerado apenas pelo grande volume de resíduos gerados, isto porque o beneficiamento e processamento do couro utiliza cerca de 17 produtos químicos diferentes e estes são destinados a aterros. A maioria destes aditivos é nociva ao meio ambiente e à saúde – principalmente devido à presença de cromo. O chorume dos aterros que recebem os resíduos da indústria calçadista e dos curtumes, portanto, carregam estes produtos químicos. (ROQUE, 2011).

Por outro lado, a grande quantidade de geração dos resíduos provenientes do setor da construção civil está diretamente ligada ao grande desperdício de materiais de construção que é produzido na realização dos empreendimentos da indústria da construção civil, segundo Neto (2005).

Desta forma, gerar soluções inovadoras para reaproveitar estes resíduos pré-consumo gerados pelo setor coureiro-calçadista, assim como reduzir o desperdício de materiais de construção durante uma obra civil é de suma relevância, já que reduzirá consideravelmente o impacto ambiental gerado.

A eliminação do plástico pode ser feita, por incineração, no entanto, como a produção de plásticos envolve o uso de produtos químicos potencialmente prejudiciais, as cinzas produzidas nem sempre são aceitas num aterro por causa de sua potencialidade de causar poluição solo por que o chorume leva consigo metais pesados (REBEIZ e CRAFT, 1995; SIDDIQUE et al, 2008). A reciclagem mecânica é uma alternativa de solução para este

problema, pois evita que o material seja despejado no aterro através do seu reuso em novos produtos.

Um exemplo desta reutilização ocorre com concretos leves feitos através do uso de resíduos de calçados e resíduos da construção civil e demolição, os chamados RCD, que conforme Lima et al (2010), foi possível construir concretos leves e convencionais com características semiestruturais à estruturais de acordo com a composição dos agregados. A sua deste agregado para a produção de concreto tem vantagens econômicas e ecológicas, em comparação com outros agregados leves.

Outro exemplo de produto reciclado é a madeira plástica, que segundo Molina et al (2009) trata-se de um compósito termoplástico que envolve duas ou mais matérias-primas, provenientes de resíduos de madeira de diferentes espécies e diversos tipos polímeros convencionais. Essa mistura é obtida a partir da utilização de tecnologia de processamento, a chamada intrusão, um processo que possui características da injeção e da extrusão. Desse processo resultam peças que podem imitar e, em alguns casos, substituir a madeira natural, reduzindo o corte de árvores e permitindo o uso de resíduos, beneficiando em ambos os casos, a conservação do meio ambiente (aumento da vida útil dos aterros sanitários).

Assim, este trabalho tem como objetivo criar uma solução prática e economicamente viável de compósitos de painéis sanduiche com chapas de PEAD (polietileno de alta densidade) e núcleo isolante em resíduos oriundos da fabricação de calçados com intuito de empregar no setor da construção civil modulada. Segundo Almeida (2009), o uso da construção modulada através de painéis possui certa facilidade de montagem, devido ao seu peso reduzido e ao fato de serem geralmente pré-fabricados, assim se obtém economia de tempo e de custos.

Para se caracterizar o desempenho do compósito foram avaliadas as propriedades de isolamento acústico e térmico, resistência ao impacto, compressão, bem como ensaios de envelhecimento natural e envelhecimento acelerado em névoa salina.

Neste contexto, criar soluções práticas, ambientalmente corretas e economicamente viáveis se torna um diferencial muito interessante para os setores coureiro-calçadista e da construção civil a fim de trazer benefícios como aumento da competitividade através do gerenciamento dos resíduos gerados para este setor e através do aumento da produtividade e redução de resíduos – para a construção civil.

## **2. OBJETIVOS**

O presente trabalho tem como objetivo a elaboração de um novo painel com estrutura sanduiche confeccionado em Polietileno de Alta Densidade (PEAD) e núcleo isolante composto de resíduo pré-consumo da indústria calçadista, para aplicação na construção civil como paredes e divisórias não estruturais, bem como de avaliar suas propriedades mecânicas, de isolamento térmico e acústico e seu comportamento a ensaios acelerado e natural de envelhecimento.

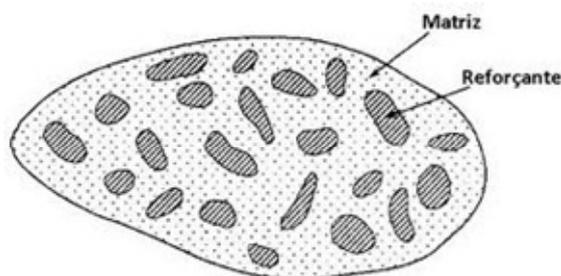
### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Materiais compósitos

Os compósitos são materiais que possuem dois ou mais diferentes constituintes ou fases, segundo Mathews e Rawling (1999), eles devem estar em proporções razoáveis – mais de 5% em massa – devem possuir diferentes propriedades químicas e físicas. A união destes materiais deve formar um novo material com propriedades ímpares – como ocorre nos ossos - as quais não são atingidas individualmente, ou seja, os materiais devem agir em sinergia. Outro exemplo típico é o compósito de fibra de vidro em resina polimérica. A fibra de vidro confere resistência mecânica, enquanto a matriz polimérica – muitas vezes composta de resina epoxídica – é responsável pela flexibilidade do compósito (PADILHA, 2007).

Muitos materiais compósitos são compostos por apenas duas fases. A matriz, fase contínua que envolve a outra fase, chamada com frequência de fase dispersa. A matriz pode ser um metal, um polímero ou um cerâmico, que confere estrutura ao material compósito preenchendo os espaços vazios que ficam no reforço e mantendo-o na sua posição.

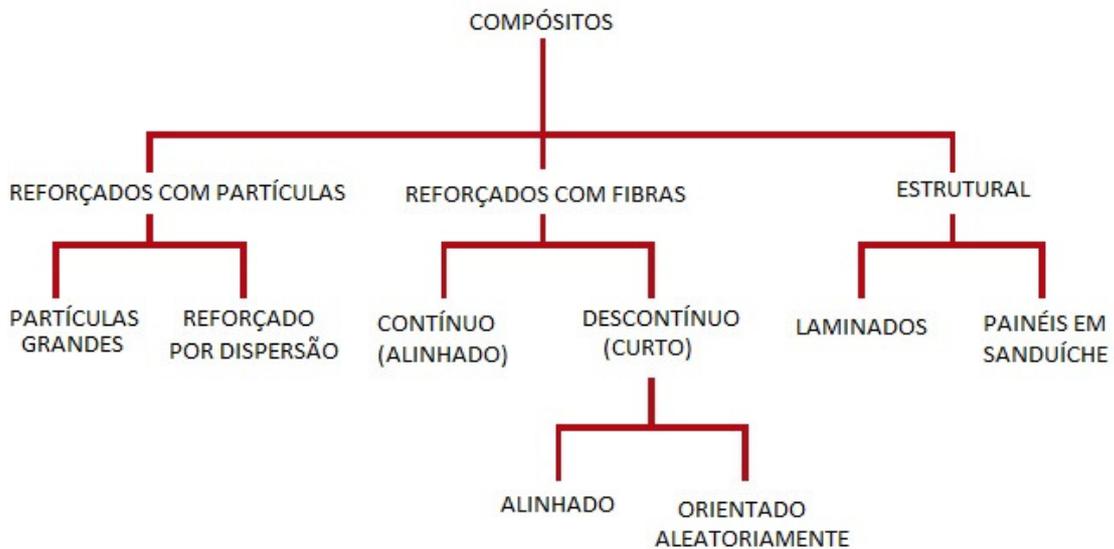
Os constituintes do reforço proporcionam força e rigidez, mas também aumentam a resistência ao calor, corrosão e condutividade. Para o reforço representar uma vantagem para o compósito este deve ser mais forte e rígido que a matriz. Deste modo a boa interação entre matriz e reforço pode ser garantida pela criação de uma interface entre ambos que possa adequar a rigidez do reforço com a ductilidade da matriz. (VENTURA, 2009)



**Figura 1** – Representação esquemática dos componentes de um compósito.

#### 3.2. Classificação dos compósitos

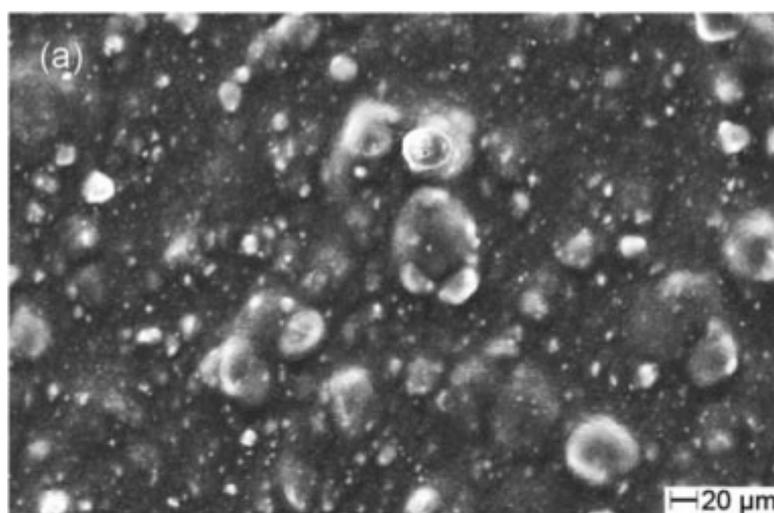
Os materiais compósitos estão classificados em três grupos principais: compósitos reforçados com partículas, compósitos reforçados com fibras e compósitos estruturais como mostrado no seguinte esquema. (CALLISTER, 2006)



**Figura 2** – Esquema de classificação para compósitos. (CALLISTER, 2006).

### 3.2.1. Compósitos reforçados com partículas

Segundo Callister (2006) a distinção entre as duas subclassificações – partículas grandes e reforçado por dispersão – está baseada no mecanismo de reforço ou de aumento de resistência. Partículas grandes indica que estas não terão interação matriz-reforço tratadas do nível atômico, assim deve-se aplicar a mecânica do contínuo. Essencialmente a matriz transfere parte da tensão que está sendo aplicada às partículas, as quais suportam uma fração da carga. A interface matriz-reforço deve possuir ligação forte para que se atinja uma melhoria no comportamento mecânico e se estipule o grau de reforço a ser utilizado no material compósito.

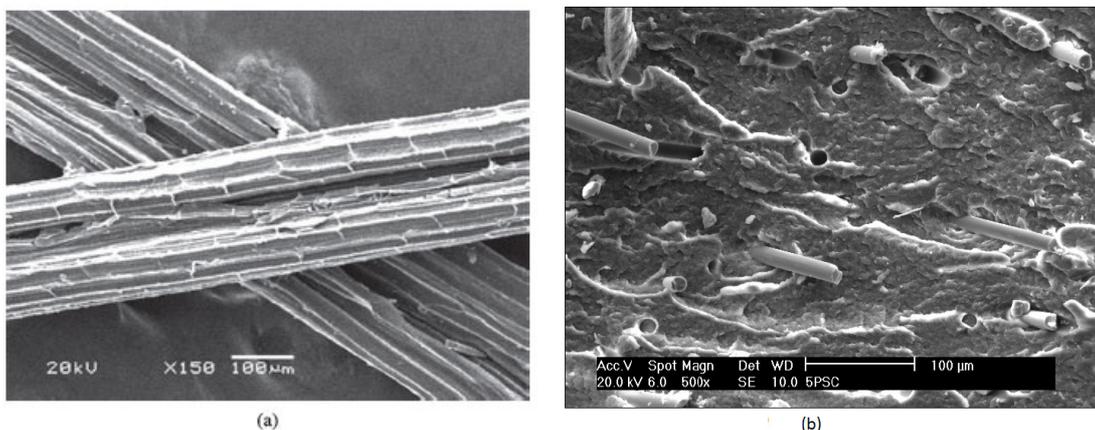


**Figura 3** – Micrografia da superfície de um compósito particulado PP/CaCO<sub>3</sub>. (SANTANA & MANRICH, 2009)

Já na segunda subclassificação – reforçado por dispersão – as partículas são muito menores, entre 10 e 100nm. Nesta subclassificação as interações são tratadas no nível atômico, onde as partículas impedirão o movimento de discordância, sendo a matriz responsável por suportar a maior parte da carga aplicada.

### 3.2.2. Compósitos reforçados com fibras

Nesta subclassificação estão os mais comuns e também os compósitos mais importantes tecnologicamente, suas relações resistência-peso e rigidez-peso são muito elevadas, chamadas de resistência específica e módulo específico, que correspondem, respectivamente, às razões entre o limite de resistência à tração e a densidade relativa, e entre o módulo de elasticidade e a densidade relativa.



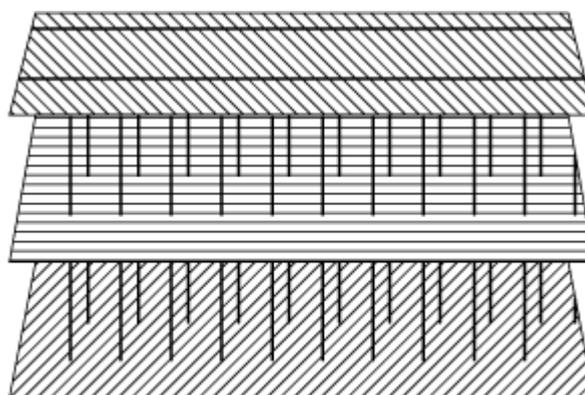
**Figura 4** – Micrografias obtidas por microscópio eletrônico de varredura: a) Fibras de sisal (SPINACÉ, et al., 2011; ); e b) Compósito com fibras .

Como observado na Figura 2, os compósitos reforçados com fibras são subclassificados de acordo com o tamanho de suas fibras. A Figura 4 mostra a micrografia de duas diferentes fibras naturais utilizadas para confecção de compósitos, a dimensão das fibras interfere em muitas propriedades. Fibras muito curtas não produzem uma melhoria significativa na resistência (CALLISTER, 2006), mas os fatores que levam a este comportamento não serão abordados neste trabalho.

### 3.2.3. Compósitos estruturais

Um compósito estrutural é comumente dividido em dois grupos. A primeira, os compósitos laminares são comumente manufaturados na forma clássica de empilhamento de

camadas individuais de tecidos bidirecionais ou camadas unidirecionais com orientação definida (PARDINI, 2000), conforme mostra a Figura 5. A costura entre tecidos é realizada para minimizar a delaminação e para manter as camadas orientadas durante o processamento conforme desejado.



**Figura 5** - Preforma costurada, +45, 0, -45. (PARDINI, 2000)

O segundo tipo de compósito estrutural são os painéis sanduíche, que serão abordados de maneira mais aprofundada neste trabalho.

### **3.2.3.1. Painéis sanduíche**

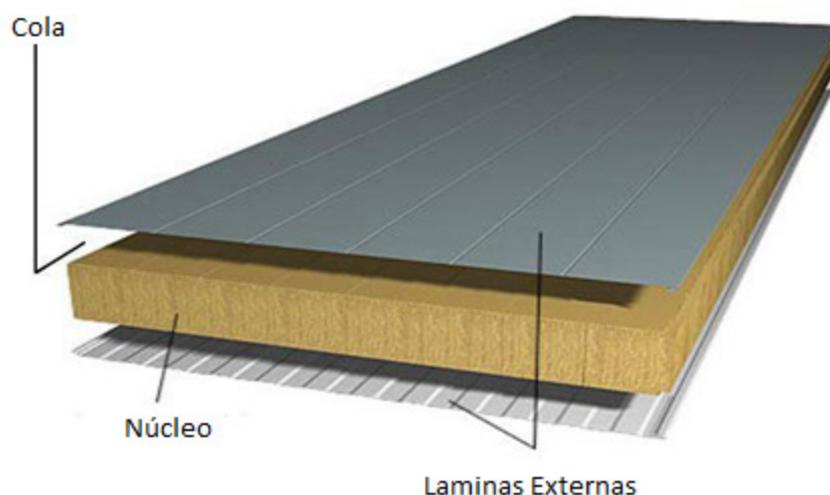
As estruturas em painéis sanduíche ocupam uma vasta porção do mercado de design de materiais compósitos. Possuem muitas aplicações e foram as primeiras estruturas leves de alto desempenho. Na indústria, geralmente, os painéis sanduíche apresentam-se como estruturas semiacabadas. (GAY, 2007)

Painéis sanduíches são utilizados na construção civil, construção de câmaras frigoríficas estacionárias, veículos para transporte de super congelados, congelados e refrigerados. Segundo Satori (2009) a propriedade de maior relevância que os painéis sanduíche devem ter para o transporte de cargas congeladas ou refrigeradas é o coeficiente global de transferência de calor, a autora informa que os painéis utilizados no transporte de produtos perecíveis, em sua grande maioria, apresenta este coeficiente de condutividade térmica acima do máximo determinado para caracterização de uma carroceria fortemente isolada, ou seja,  $\geq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ , estando na maioria das vezes, caracterizada como normalmente isolada.

Entretanto, no caso de aplicação para construção civil, este coeficiente não necessita ser restritamente seguido, o que permite uma maior liberdade para criação de soluções economicamente mais viáveis, ambientalmente corretas com processos que atinjam resultados satisfatórios, assim possibilitando o aumento do uso deste compósito no mercado nacional e internacional.

Segundo Gara (2012) sistemas de construtivos a base de painéis sanduíche são usados mundialmente em casos de urbanização intensiva – como ocorre no Brasil atualmente com o programa governamental Minha Casa Minha Vida. Isto se deve graças ao seu sistema de rápida e fácil montagem que o torna competitivo perante outros métodos convencionais de construção, como o caso de alvenaria e pré-moldados.

O painel sanduíche consiste essencialmente em duas faces, podendo inclusive possuir reforços metálicos, e um núcleo formado, normalmente, por um polímero celular – veja Figura 6. As faces deste tipo de painel podem estar unidas através de um adesivo estrutural ou em casos onde o núcleo é de espuma rígida de poliuretano injetado diretamente sobre os substratos, a união ocorrerá pelo próprio poliuretano. (SATORI, 2009)



**Figura 6** – Distribuição das camadas de um painel sanduíche.

Da mesma forma como ocorreu com os materiais compósitos em geral, a aplicação dos elementos do tipo sanduíche começou a se expandir em direção à indústria da construção civil a partir da década de 1990 (GAGLIARDO, 2010).

Na área da construção civil a utilização de estruturas sanduíche ainda é recente. No entanto, já existem componentes no mercado com características bem desenvolvidas, utilizados para divisórias, paredes, pisos, forros, mezaninos, passarelas e lajes, entre outras

aplicações. Esses componentes podem ter atributos de interesse, como resistência a elevadas cargas distribuídas, capacidade de vencer grandes vãos, resistência à umidade e intempéries, excelente isolamento térmico e acústico, alta resistência a impactos, resistência ao fogo e respeito ao meio ambiente.

As características e propriedades variarão de acordo com o projeto, porém para atingi-las, torna-se necessária a seleção dos materiais que comporão essas estruturas.

#### **3.2.3.1.1. Seleção de materiais para laminados**

As lâminas que constituem os painéis sanduíche devem satisfazer uma série de requisitos, quer em nível de fabricação, funcional ou estrutural, de modo a obter-se o comportamento pretendido para os painéis. Em nível funcional, uma das preocupações deve ser a estanqueidade ao vento e à água.

Já a nível estrutural é importante que tenham uma adequada capacidade resistente não só aos carregamentos a que o painel está sujeito como também à corrosão e ao fogo (DAVIES, 2000). Devem ser suficientemente espessas para resistir às tensões de tração, de compressão e de cisalhamento introduzidas pelo carregamento e apresentar um módulo de elasticidade em compressão adequado para evitar a flambagem (LEITE, et al, 2004).

#### **3.2.3.1.2. Seleção de materiais para o núcleo**

O material na qual é composto o núcleo, assim como as lâminas, também deve cumprir certos requisitos a nível funcional e estrutural. Em termos funcionais, deve apresentar boas propriedades isolantes térmicas e acústicas, uma boa resistência à absorção de humidade e um bom desempenho ao fogo. A escolha do material do núcleo depende da ordem de prioridade destes requisitos, já que é difícil escolher um material que satisfaça a todos. (DAVIES, 2001).

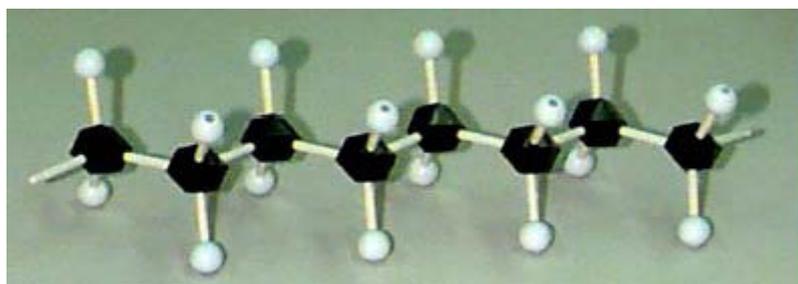
Em termos estruturais, o material de núcleo deve apresentar uma resistência adequada para resistir às tensões de cisalhamento e ao esmagamento provocado pelas tensões de compressão introduzidas pela flexão do painel ou por carregamentos localizados (LEITE, 2004). O núcleo deve ser suficientemente rígido na direção transversal às lâminas para garantir a distância certa entre elas e mantê-las aproximadamente planas, pois caso não se mantenham planas, a compressão das lâminas no seu próprio plano pode provocar a sua instabilidade e flambagem. O núcleo deve também ser suficientemente resistente ao

cisalhamento para garantir que, quando o painel flambe, as lâminas não deslizem entre si. Caso contrário, estas acabam comportando-se como duas vigas independentes e o efeito de sanduíche é perdido. Neste sentido, para impedir movimentos relativos entre as lâminas e o núcleo, é importante que a aderência entre eles não seja muito flexível e que o material adesivo (quando houver) consiga suportar as tensões de cisalhamento do núcleo (ALLEN, 1969; LEITE, 2004).

A resistência do material de núcleo é, em geral, reduzida, mas um aumento da sua espessura permite conferir ao conjunto uma rigidez à flexão mais elevada. De fato, uma rigidez adequada do núcleo contribuirá para a rigidez à flexão do painel como um todo. No entanto, se a densidade do núcleo for reduzida, essa contribuição é pequena e pode ser desprezada (ALLEN, 1969).

### 3.3. Polietileno de alta densidade (PEAD)

O polietileno de alta densidade (PEAD) é um polímero flexível, quimicamente simples, derivado do eteno ( $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) é representado pelo mero (unidade repetitiva):  $(-\text{CH}_2-\text{CH}_2-)_n$ . A Figura 7, ilustra a distribuição dos átomos na macromolécula. Devido sua larga escala de produção mundial é termoplástico barato, o que acabou o tornando, conseqüentemente, um dos mais comuns em uso e aplicação na indústria plástica.



**Figura 7** – Modelo representando a estrutura da molécula do Polietileno, onde as esferas escuras são átomos de carbono e as claras são de hidrogênio.

O polietileno possui propriedades altamente influenciadas pela quantidade relativa de fases cristalina e amorfa. As menores unidades cristalinas, lamelas, são planas e consistem de cadeias perpendiculares ao plano da cadeia principal e dobradas em zig-zag, para cada 5 a 15nm, defeitos são pouco frequentes. (DOAK, 1986). Sua cadeia possui baixo nível de ramificações, com alta densidade e altas forças intermoleculares, sua produção pode ser

obtida através do uso de catalizadores Ziegler-Natta. Na Tabela 1, podemos verificar algumas propriedades padrão do PEAD.

**Tabela 1.** Propriedades do polietileno de alta densidade. (CALLISTER, 2006).

Propriedades	Valor	Unidade
Densidade	0,959	g/cm <sup>3</sup>
Grau de cristalinidade	60-80	%
Temperatura de Transição Vítreia (Tg)	-90	°C
Temperatura de fusão	137	°C
Módulo de elasticidade	1,08	GPa
Limite de escoamento	26,2 – 33,1	MPa
Limite de resistência à tração	22,1 – 31,0	MPa
Ductilidade (alongamento percentual)	10 – 1200	%
Coefficiente de expansão térmica	106 – 198	10 <sup>-6</sup> (°C <sup>-1</sup> )
Condutividade térmica	0,48	W/m.K
Calor Específico	1850	J/kg.K
Resistividade Elétrica	10 <sup>15</sup> – 5x10 <sup>16</sup>	Ω.m
Dureza	60-70	Shore D

### 3.4. Desenvolvimento sustentável

No Brasil e em muitos outros países, a poluição era vista como um indicativo de progresso. Essa percepção foi mantida até que os problemas relacionados à degradação do meio ambiente, contaminação do ar, da água e do solo, se intensificaram. (BRAGA, et al. 2005).

A poluição ocorre quando as pessoas utilizam recursos materiais e energéticos, gerando resíduos que causam impactos negativos ao meio ambiente. Assim, identificamos que cada indivíduo gera resíduos de acordo com o que ele consome anualmente. Para se ter uma ideia, um cidadão norte-americano padrão consome, 50 vezes mais aço, 56 vezes mais energia, 170 vezes mais borracha sintética, 250 vezes mais combustível para motores e 300 vezes mais plástico que um cidadão indiano. (MILLER, 1985).

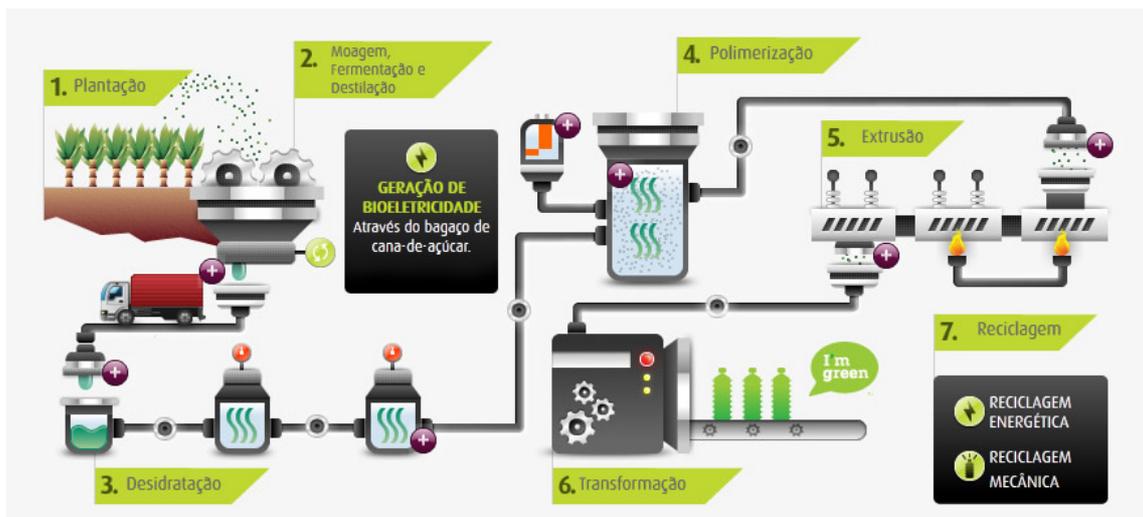
Desenvolvimento sustentável é um conceito que foi proposto pela Comissão Mundial do Desenvolvimento e Meio Ambiente, em 1987. Formada em 1984 pela Organização das Nações Unidas, incluía 23 membros de 22 países. Estudos realizados durante três anos entre membros e assessores da comissão gerou um relatório final – com o título: Nosso Futuro

Comum – conceituando o desenvolvimento sustentável: “Atender às necessidades da geração presente sem comprometer a habilidade das gerações futuras de atender às suas próprias necessidades”. (CMMAD – ONU, 1988)

### **3.4.1. Fontes renováveis**

Segundo Braga, et al (2005), fontes renováveis provem direta ou indiretamente da energia solar. De maneira direta pelo aquecimento de água e de ambientes, através da captação e uso direto da radiação solar ou indireta, como biomassa, matéria vegetal produzida pelo sol por meio da fotossíntese, outros exemplos de fontes renováveis que provém indiretamente da energia do sol são os ventos e a vazão dos rios. A grande diferença entre as fontes diretas e indiretas está na segunda, que é limitada pela quantidade de energia disponível no tempo.

O uso da biomassa como fornecedora de matéria-prima de fonte renovável na produção de polímeros já se tornou realidade desde setembro 2010, através do início da produção em escala comercial, pela Braskem, do primeiro “plástico verde” (BRASKEM, 2012) – No esquema de produção do polietileno verde na Figura 8, cuja inovação desse produto está em produzir eteno a partir do etanol da cana de açúcar. Comparando-os quimicamente, o polietileno verde e o produzido com nafta são idênticos, entretanto, seus impactos são distintos. Enquanto o segundo emite gases poluidores e causadores do efeito estufa, o primeiro retira o gás carbônico da atmosfera. Quando se usa combustíveis fósseis, não há recuperação da matéria-prima, um insumo é retirado para a superfície da terra, utilizado e descartado na atmosfera. No caso da queima do etanol, parte do gás carbônico é reabsorvido no crescimento da cana de açúcar. Ao utilizar o petróleo, cria-se um desequilíbrio ambiental, pois só há inserção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e não há processos equivalentes para retirá-lo da atmosfera (OCTAVIANO, 2011).



**Figura 8** – Processo de produção do etileno verde. Disponível em: <http://www.braskem.com.br/site.aspx/produtos-verdes>

### 3.4.2. Importância do uso de resíduos

Recentemente, os impactos de resíduos industriais e domésticos na saúde humana e no meio ambiente continuam a representar um dos problemas mais difíceis que a sociedade enfrenta. A gestão de resíduos é uma questão muito importante, tanto do ponto de vista da saúde pública e quanto do setor industrial. Com uma quantidade crescente de materiais perigosos devendo ser eliminados de uma maneira segura e econômica, os resíduos acabam se tornando uma oportunidade real para produzir matérias-primas limpas, para novos produtos, reduzindo custos e conservando recursos (ANDREOLA, 2010).

Nessa perspectiva, muitas indústrias buscam pela implantação de soluções, motivados, ainda, pelas imposições das normas ISO 9000 e ISO 14000, no empenho de gerenciar seus produtos e processos sem a agressão ao ambiente, e sem o prejuízo da comunidade com os resíduos gerados (ANDRADE, 2002; RACCIOPPI, 2000).

O gerenciamento de resíduos pré-consumo da indústria termoplástica, por exemplo, pode ser feito por meio da reciclagem primária, onde se adiciona os resíduos de produtos aos polímeros virgens, com baixos investimentos na aquisição de equipamentos e infraestrutura para seu reaproveitamento, de modo a não alterar significativamente as características químicas desses materiais. (PATEL, 2000).

A reciclagem torna-se viável pelo seu potencial em economizar combustível fóssil e reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>. (PATEL, 2000). Além disso, também traz como vantagem as facilidades de uso dos resíduos industriais como matéria-prima, muitas vezes sem a

necessidade de limpeza prévia, separação de componentes por processos especiais sofisticados, aliados aos baixos custos de implantação do sistema. A viabilidade comercial da reciclagem depende do desempenho e da relação custo/benefício do produto final.

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordados os materiais e procedimentos utilizados para produzir e avaliar as propriedades do painel sanduiche confeccionado.

### 4.1. Materiais

O novo painel sanduiche desenvolvido neste trabalho é confeccionado a partir de uma matéria-prima virgem, o polietileno de alta densidade, nas lâminas do painel (pellets) e o núcleo é composto de resíduos pré-consumo da indústria calçadista. A Figura 9 ilustra os constituinte em volume dos painéis e que são detalhados a seguir.



**Figura 9** – Constituintes do painel.

#### 4.1.1. Polietileno de alta densidade (PEAD)

Matéria-prima virgem proveniente da extinta Politeno Indústria e Comércio S/A, hoje incorporada a Braskem S/A (referência: IA59), índice de fluidez 7,30 g/10min e densidade 0,96 g/cm<sup>3</sup>. O PEAD foi usado para confeccionar as lâminas externas dos painéis. Neste trabalho também foi utilizado como agente aglomerante do núcleo, para que o mesmo não se delamine já que os constituintes deste não possuem propriedades adesivas.

#### 4.1.2. Material do núcleo do painel

O material usado no núcleo do painel foi resíduo industrial fornecido por uma indústria calçadista gaúcha. O resíduo é produzido principalmente nas etapas de corte da matéria-prima para confeccionar os calçados. Na Figura 10 é possível visualizar a aparência do formato do

resíduo usado. Este resíduo não passou por alguma etapa prévia de separação, seleção ou de lavagem, sendo diretamente empregado no processo de produção dos painéis.



**Figura 10** - Resíduos da indústria calçadista gaúcha

## 4.2. Metodologia

Nesta seção será abordado o processo de prensagem utilizado para confeccionar o painel, bem como os procedimentos para caracterizar o produto, como ensaios de compressão, impacto, envelhecimento acelerado em névoa salina e envelhecimento natural, além de avaliação de isolamento térmico e acústico.

### 4.2.1. Processamento por prensagem

Os painéis foram produzidos através da prensagem a quente de seus constituintes. A prensa utilizada foi a prensa hidráulica com aquecimento da marca SOLAB modelo SL-11 presente no laboratório de materiais poliméricos – LAPOL – da UFRGS, conforme Figura 11.

Os parâmetros utilizados para o processamento são apresentados na Tabela 2, estes valores são para painéis com características dispostas na Tabela 3, que descreve as massas de cada constituinte do painel.

**Tabela 2** – Parâmetros de processamento por prensagem utilizado.

T (°C)	*t <sub>a</sub> (min)	**t <sub>p</sub> (min.)	Pressão (ton)	Resfriamento
200	10	10	3	Repouso sobre bandeja c/ circulação de água fria.

\*t<sub>a</sub>: Tempo de pré-aquecimento – sem pressão aplicada

\*\*t<sub>p</sub>: Tempo de compressão aplicada



**Figura 11** – Prensa Hidráulica utilizada para confecção dos painéis sanduiche.

**Tabela 3** – Massa de constituintes para painel de 180x180x30mm.

Item	Massa (g)
Lâmina Superior	111
Núcleo	200
Aglomerante	20
Lamina Inferior	111
Massa total do Painel	442*

\*sem perdas

#### 4.2.2. Caracterização

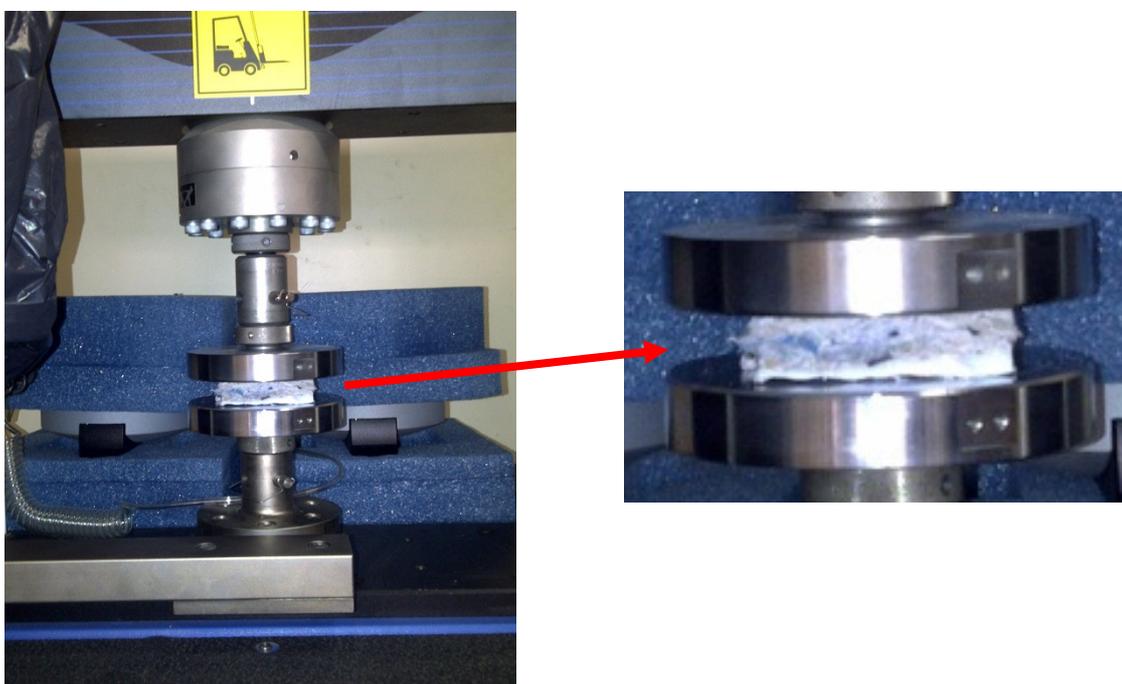
##### 4.2.2.1. Análise térmica de DSC do resíduo

Para identificação de um dos constituintes do resíduo pré-consumo proveniente da indústria, que não possível de ser identificado por métodos convencionais, como o método visual e físicos (cor da chama e densidade, por exemplo), foi usada a análise de Calorimetria Diferencial de Varredura-DSC, equipamento da marca TA Instrument, modelo Q-20. A amostra

foi submetida numa rampa de aquecimento de temperatura ambiente até 160°C, resfriamento até -80°C e segundo aquecimento até 160°C, para determinação da  $T_g$  e  $T_f$ .

#### 4.2.2.2. Ensaio de Compressão

O ensaio de compressão foi realizado na máquina de ensaio universal INSTRON modelo 3382 situada no LAPOL (Figura 12) baseado na norma ASTM D3574-81. No qual foi medida a máxima tensão de compressão para uma deformação de 50% da amostra com cédula de carga de 100kN e velocidade de 1,3mm/min. O ensaio foi realizado em quatro amostras no total, todas elas foram retiradas de uma mesma placa.



**Figura 12** – Ensaio de compressão.

#### 4.2.2.3. Ensaio de impacto

O ensaio de impacto por queda de dardo foi realizado em quatro diferentes alturas (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 metros) para cada amostra. As amostras testadas foram agrupadas em três grupos, as processadas, as envelhecidas a intemperismo natural e por névoa salina, como especificadas a seguir:

1. Amostra pós-produção;

2. Amostra após envelhecimento natural (ao intemperismo) por 30 dias;
3. Amostra envelhecida de maneira acelerada por névoa salina em 144 horas.

O equipamento utilizado foi confeccionado pelo próprio laboratório – conforme Figura 13.



**Figura 13** – Sistema para ensaio de impacto por queda de dardo utilizado no trabalho.

O cálculo da energia absorvida no impacto pela amostra é calculada pela equação de Energia Potencial, que segue:

$$E = m.g.h, \text{ onde:}$$

$m$  = massa total do corpo descendente ( $m_{\text{embolo}} + m_{\text{argola}} = 2,013\text{kg}$ );

$g$  = constante da aceleração gravitacional ( $9,8 \text{ m/s}^2$ );

$h$  = Altura inicial do corpo descendente.

#### **4.2.2.4. Propriedades de isolamento térmico**

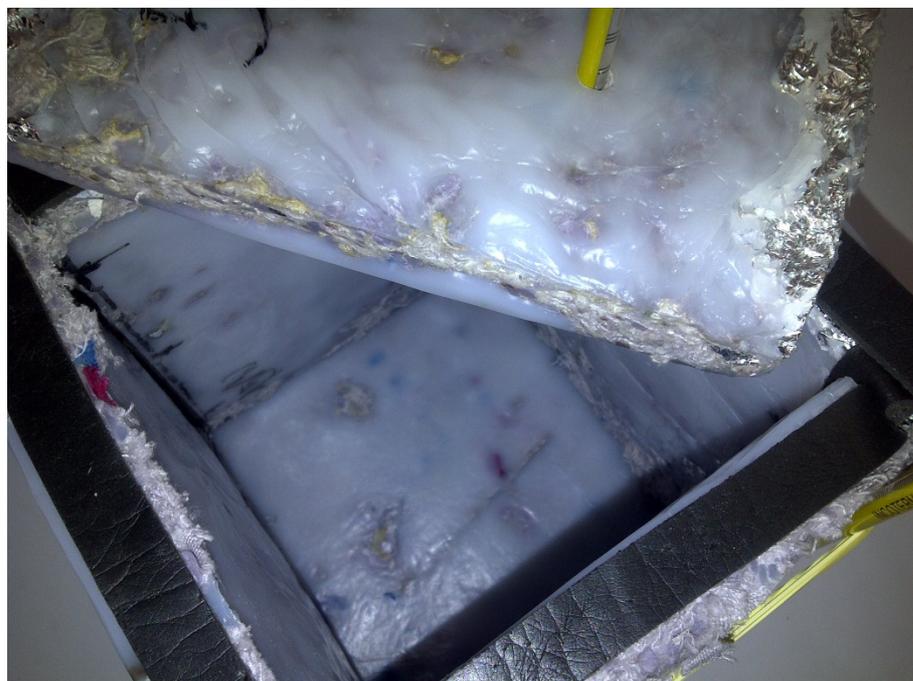
Para avaliação do isolamento térmico das placas foi confeccionado um cubo composto apenas pelos painéis sanduiche. As vedações dos perímetros dos painéis foram feitas com uma espuma flexível de poliuretano. A Figura 14 mostra o momento do ensaio para análise das propriedades de isolamento térmico.



**Figura 14** – Ensaio para análise de propriedades de isolamento térmico.

O ensaio foi realizado analisando comparativamente a taxa da massa de gelo descongelada com o tempo dentro do sistema isolado (Fig.14) e no ambiente externo. Além disto, foi monitorado a temperatura interna e externa do sistema– medição realizada através do uso de termômetros interno e externo.

A imagem da Figura 15 mostra o detalhamento interno do cubo isolante criado para esta análise, vale salientar o cuidado em vedar o ambiente o máximo possível com a ajuda da espuma flexível de PU.



**Figura 15** – Sistema para análise de propriedade de isolamento térmico dos painéis.

#### 4.2.2.5. Propriedade de isolamento acústico

Outro fator muito importante para a caracterização dos painéis sanduiche, para uso em construção civil principalmente, é a capacidade de isolar parte do som gerado externamente.

Para avaliação desta propriedade foi utilizado o mesmo sistema usado durante a análise da capacidade de isolamento térmico dos painéis. Além disto, fizeram parte do ensaio um microcomputador, um software gerador de ruídos (Filtered Noise Generator, versão 1.11) e um decibelímetro. A Figura 16 mostra como foi montado o esquema para analisar esta característica dos painéis.

Os ruídos gerados foram de fontes quadradas nas frequências de 100, 1000, 3000, 5000 e 10000 Hz. Para a correta avaliação foi medida a intensidade sonora dentro e fora do cubo para as mesmas frequências testadas.



Figura 16 – Imagem do ensaio de isolamento sonoro.

#### 4.2.2.6. Envelhecimento natural

O ensaio de envelhecimento natural foi realizado no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM), da UFRGS de acordo a norma ASTM D1171-99. A Figura 17 apresenta duas imagens retiradas durante o do ensaio. A amostra foi fixada em

uma sistema inclinada a 45° e foi iniciado no dia 03 de outubro de 2012 e finalizado no dia 1 de novembro de 2012, totalizando vinte e nove dias de ensaio. O mês de outubro teve características climatológicas na cidade de Porto Alegre, segundo dados do Weather Channel de acordo com o detalhado na Tabela 4.



**Figura 17** – Imagens do ensaio de envelhecimento natural. (a) mostrando a inclinação de 45° da mesa. (b) visão geral da mesa de apoio das placas.

**Tabela 4** – Dados e médias climatológicas de 03 de outubro a 1° de novembro de 2012 na cidade de Porto Alegre/RS

<b>Média das temperaturas máximas</b>	24 °C
<b>Média das mínimas</b>	15 °C
<b>Média das temperaturas</b>	19 °C
<b>Precipitação Acumulada</b>	114 mm

Fonte: Site The Weather Channel

A Figura 18 mostra os dados coletados pela estação automática de Porto Alegre, radiação ultravioleta ao longo dos dias do ensaio.

O principal objetivo na realização do ensaio de envelhecimento natural é acompanhar se a amostra, quando exposta as intempéries e a radiação ultravioleta, sofrerá alteração de cor e/ou perda de resistência mecânica causada por fragilização das lâminas do painel, neste caso um material polimérico termoplástico o polietileno de alta densidade.



**Figura 18 -** Radiação ultravioleta durante o ensaio de envelhecimento natural. Fonte: Dados da rede do INMET.

#### 4.2.2.7 Envelhecimento acelerado em névoa salina

O ensaio de envelhecimento acelerado em névoa salina foi inicializado no dia 16 de outubro de 2012 às 17 horas tendo duração de 144 horas. O equipamento utilizado pertence ao laboratório de corrosão-LACOR, da UFRGS. O equipamento é da marca BASS, modelo USC, veja Figura 19. O ensaio foi realizado de acordo com as normas NBR 8094 e ASTM B 117.



**Figura 19 –** Imagem do equipamento presente no LACOR/UFRGS.

A Tabela 5 apresenta as condições do ensaio de acordo com as normas supracitadas. Apesar do esperado resultado de inalterado nas propriedades e na aparência dos painéis após a realização do ensaio, o ensaio permite a certificação do produto para usos em módulos habitacionais em plataformas de petróleo off-shore.

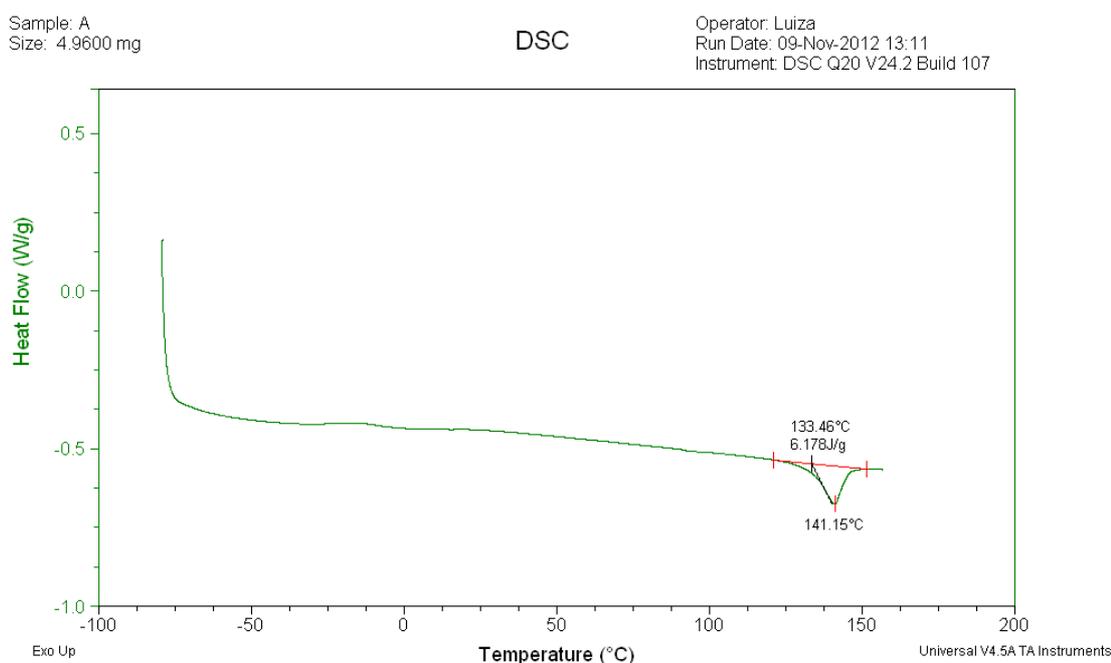
**Tabela 5** – Condições do ensaio de envelhecimento acelerado em névoa salina.

<b>Volume da câmara</b>	1.000 L
<b>Temperatura</b>	35±2°C
<b>Concentração de NaCl</b>	50±5 g/L
<b>pH da solução</b>	6,5 – 7,2
<b>Pressão do ar</b>	0,7 – 1,4 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Volume condensado para 80cm<sup>2</sup></b>	1,5 ± 0,5 mL/h

## 5. DISCUSSÕES DE RESULTADOS

### 5.1. Caracterização da matéria-prima

Para identificação dos materiais foi feita uma análise visual de suas características e uma complementação através da realização de uma análise térmica de DSC - Calorimetria Diferencial de Varredura - para um dos componentes do resíduo, o qual não foi possível sua identificação prévia, porém foi possível observar um comportamento borrachoso. A Figura 20 mostra a análise térmica realizada para este material, através dela é possível visualizar a temperatura de fusão de 141°C e Tg de -10°C, indicando um elastômero termoplástico, cuja temperatura de fusão é característica de um grade específico de elastômero termoplástico de poliéster (DUPONT, 2012), tal resultado condiz com seu comportamento elastomérico previamente observado.



**Figura 20** – Curva de DSC da amostra de um dos componentes do recheio.

Para determinação da composição e proporção mássica dos diferentes materiais encontrados no resíduo industrial de calçado, primeiramente foi realizado uma amostragem do resíduo, seguidamente foram separados manualmente os diferentes tipos de materiais como mostrado na Figura 21. Observa-se na imagem o maior volume de resíduo corresponde ao algodão, seguido pelos resíduos de couro e elastômero de poliéster, e finalmente os resíduos coloridos correspondente a EVA.

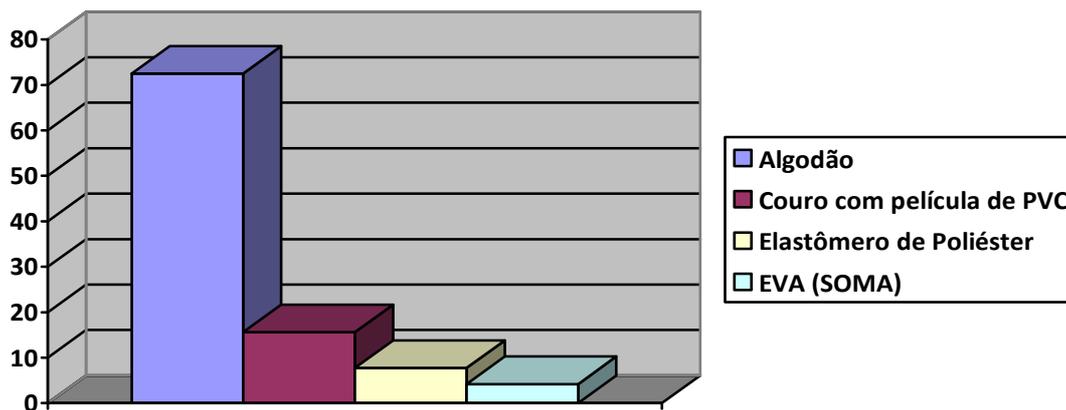


**Figura 21** – Amostra do resíduo segmentada para comparação da diferença da representatividade da massa do resíduo e do volume

Na Tabela 6 e na Figura 22 são detalhados a composição e proporção mássica dos materiais que compõem o resíduo de calçado obtidas por análise gravimétrica. A massa da amostra usada foi de 97,88g.

**Tabela 6** – Detalhamento da composição dos resíduos provenientes de indústria calçadista.

<b>Material</b>	<b>Massa (g)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
<b>Algodão</b>	70,966	72,50
<b>Couro com película de PVC</b>	15,268	15,60
<b>Elastômero de Poliéster</b>	7,569	7,73
<b>EVA (SOMA)</b>	4,079	4,18
<b>EVA – Azul Claro</b>	2,164	2,21
<b>EVA – Azul Escuro</b>	0,945	0,97
<b>EVA – Rosa</b>	0,582	0,60
<b>EVA – Preto</b>	0,388	0,40



**Figura 22** – Representatividade dos constituintes do resíduo da indústria calçadista.

Vale observar o volume significativo de algodão no resíduo e o volume de EVA, que apesar de pouca representatividade em massa (4,18%), possui um volume considerável devido a sua baixa densidade por se tratar de uma lâmina de EVA expandido.

## 5.2. Determinação das condições ótimas de processamento dos painéis

Tratando-se de um novo material compósito de nova formulação, não existe documentação dos parâmetros de processamento para este painel sanduíche propriamente dito. Assim, os parâmetros avaliados foram temperatura, pressão de compressão, tempo de pré-aquecimento, tempo de compressão, tipo de resfriamento (ar comprimido ou ao ar normal; água e a mistura de ambos). Na Tabela 7, são apresentadas as diversas condições de processamento, e mostrados a avaliação da influência das alterações dos parâmetros no produto final.

A escolha dos parâmetros iniciais de processamento, especialmente a temperatura, foi baseado sobre o ponto de fusão do PEAD, com margem para que ocorra a completa fusão das chapas e também de acordo histórico de processamento de placas de resíduos sintético de calçados realizado por Patricia Cofferi, et al (2012).

Como se observa na Tabela 7 foram várias tentativas até chegar ao método ótimo de processamento que aliou ótimo acabamento superficial, com tempo de processamento.

**Tabela 7 – Métodos de processamento do painel sanduiche para encontrar o ótimo processamento.**

	Temp.	T <sub>a</sub> (min)	t <sub>p</sub> (min.)	P (ton)	Resfriamento	Resultado
1	200°C	10	5	12	Água	Processo lento e acabamento insatisfatório devido à formação de “enrugamento”
	m <sub>p</sub> = 138g; m <sub>n</sub> = 300g; m <sub>a</sub> =30g					
2	200°C	5	5	3	Água	Processamento rápido porem com fusão parcial de pellets devido aos baixos tempos de residência e/ou pressão e/ou devido à baixa pressão.
	m <sub>p</sub> = 138g; m <sub>n</sub> = 300g; m <sub>a</sub> =30g					
3	200°C	5	5	6	Água	Processamento rápido porem com acabamento insatisfatório devido à formação de “enrugamento”.
	m <sub>p</sub> = 138g; m <sub>n</sub> = 250g; m <sub>a</sub> =25g					
4	200°C	5	5	6	Ar comprim.	Bom acabamento superficial, porem com resfriamento muito lento e fusão parcial de pellets devido à pequena espessura do painel e baixos tempos de residência e/ou pressão.
	m <sub>p</sub> = 91,5g; m <sub>n</sub> = 150g; m <sub>a</sub> =15g					
5	200°C	7	7	6	Água	Acabamento insatisfatório com formação de enrugamento devido ao método de resfriamento.
	m <sub>p</sub> = 111g; m <sub>n</sub> = 200g; m <sub>a</sub> =20g					
6	200°C	10	10	3	Ar comprim. + Spray c/ água	Bom acabamento superficial porem com tempo muito longo de resfriamento.
	m <sub>p</sub> = 111g; m <sub>n</sub> = 200g; m <sub>a</sub> =20g					
7	200°C	10	10	3	Repouso sobre bandeja c/ circulação de água fria.	Ótimo acabamento superficial e tempo razoável de resfriamento.
	m <sub>p</sub> = 111g; m <sub>n</sub> = 200g; m <sub>a</sub> =20g					

t<sub>a</sub> → tempo de pré-aquecimento;

t<sub>p</sub> → tempo com pressão aplicada;

P → pressão aplicada;

m<sub>p</sub> → massa do laminado;

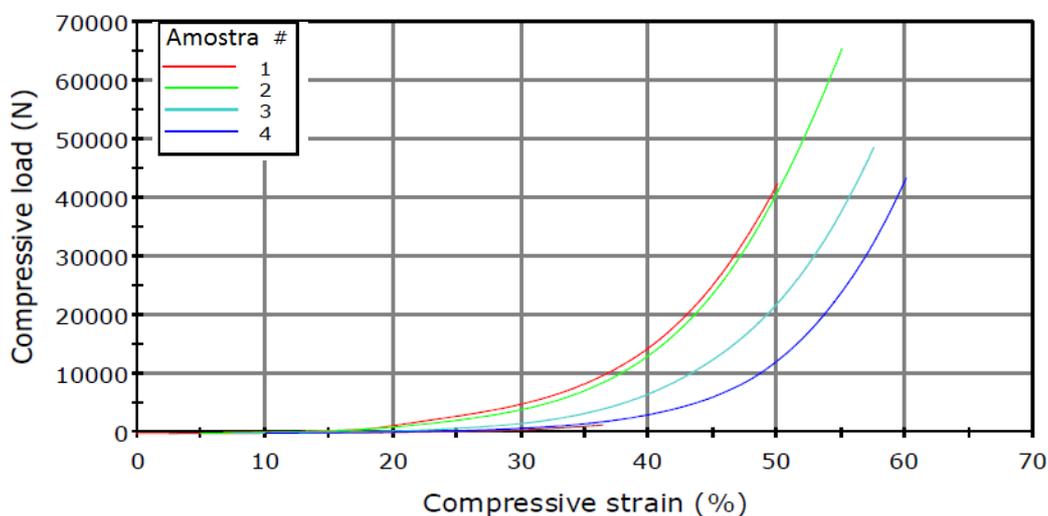
m<sub>n</sub> → massa do núcleo;

m<sub>a</sub> → massa de aglomerante (agente de acoplamento).

### 5.3. Propriedades mecânicas

#### 5.3.1. Compressão

Os resultados do perfil da carga aplicada no ensaio de compressão são mostrados na Figura 23, onde é possível verificar que no geral as amostras apresentaram bom desempenho mecânico à compressão a 50% de deformação com carga necessária em média aplicada de 40325 N.



**Figura 23** – Curva da carga de compressão máxima até 50% de deformação.

Na Tabela 8 são apresentados os resultados das dimensões das amostras antes e após o ensaio de compressão, assim como a deformação permanente após ensaio de compressão. É possível verificar que as amostras apresentaram deformação permanente, após ensaio de compressão em 50 % de deformação, em média de 13%.

**Tabela 8** – Resultados das dimensões das amostras antes e após o ensaio de compressão.

Amostra	L (mm)	C (mm)	E <sub>inicial</sub> (mm)	Tensão de Compressão (MPa)	E <sub>final</sub> (mm)	Deformação permanente (%)
1	84,24	85,47	25,22	47,05	22,89	9,24
2	84,63	83,31	26,01	67,78	22,77	12,46
3	84,61	84,17	26,29	54,51	23,4	10,99
4	83,9	84,87	26,92	54,37	21,5	20,13
<b>Média</b>	84,34	84,45	26,11	55,93	22,64	13,21
<b>Desvio Padrão</b>	0,35	0,93	0,705	8,64	0,81	4,80

A Figura 24 foi retirada após o ensaio de compressão da primeira amostra, nota-se claramente que houve deformação permanente já que o painel não retornou a sua espessura inicial.

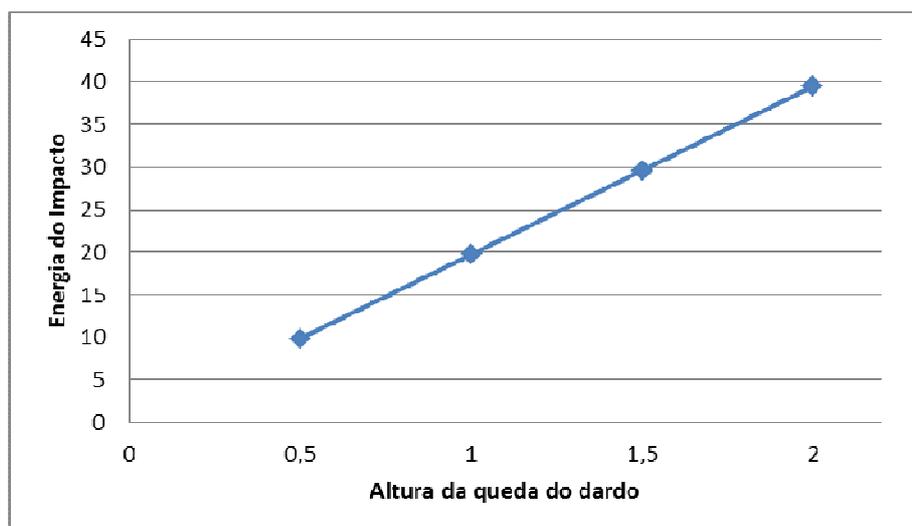


**Figura 24** – Comparação dos painéis após e antes do ensaio de compressão.

### 5.3.2. Impacto

O ensaio de impacto foi realizado em três diferentes amostras: A primeira amostra saiu diretamente do processamento, a segunda após envelhecimento natural de 30 dias e a terceira após envelhecimento acelerado em névoa salina. A Figura 25 ilustra o gráfico da energia do impacto x altura da queda do dardo.

A energia potencial gravitacional (energia do impacto) foi calculada utilizando o valor da aceleração da gravidade de  $9,81\text{m/s}^2$ , nas tabelas o índice “h” representa a altura de queda do dardo e o peso total do dardo em todas as alturas de todos os ensaios foi de 2,013 Kg. (conforme detalhado no capítulo 4.2.2.3). Os resultados para todas as amostras estão apresentados na Tabela 9.



**Figura 25** – Curva da energia de impacto para as alturas ensaiadas.

**Tabela 9** – Análise dos painéis após ensaios de impacto por queda de dardos

<b>h (m)</b>	<b>Energia do Impacto (J)</b>	<b>R<sub>AP</sub></b>	<b>R<sub>EN</sub></b>	<b>R<sub>EA</sub></b>
<b>0,5</b>	9,87	Inalterado	Inalterado	Inalterado
<b>1,0</b>	19,74	Inalterado	Inalterado	Inalterado
<b>1,5</b>	29,62	Inalterado	Inalterado	Inalterado
<b>2,0</b>	39,49	Inalterado	Inalterado	Inalterado

R<sub>AP</sub> → Resultado para painéis após o processamento;

R<sub>EN</sub> → Resultado para painéis envelhecidos naturalmente;

R<sub>EA</sub> → Resultado para painéis com envelhecimento acelerado em névoa salina.

Através dos resultados é possível inferir que todos os painéis apresentaram ser tenazes, pela grande capacidade de absorver energia ao impacto, isto visualizado, porque não houve a fragilização das lâminas externas dos painéis após sofrerem envelhecimento natural de 30 dias e acelerado em névoa salina por 144 horas.

Apesar deste segundo método se tratar de um processo “acelerado” de envelhecimento não é possível inferir que, com um maior tempo de exposição e em um ambiente marinho de características similares ou inferiores das apresentadas na câmara de névoa salina o painel poderá apresentar a mesma resistência mecânica.

#### **5.4. Propriedade de isolamento térmico**

A propriedade de isolamento térmico das amostras de painéis foi medida indiretamente através do sistema criado de acordo com o ilustrado no capítulo 4.2.2.4. Na Tabela 10 mostra os resultados da temperatura e massa de gelo remanescente monitorado num período de 220 minutos dentro e fora do sistema. O resultado da temperatura no interior do sistema, no período de tempo avaliado mostrou-se em média constante (19°C) e menor que a temperatura externa (25°C), embora tenha-se usado somente um cubo de gelo. Resultado interessante que demonstra capacidade de isolamento térmico.

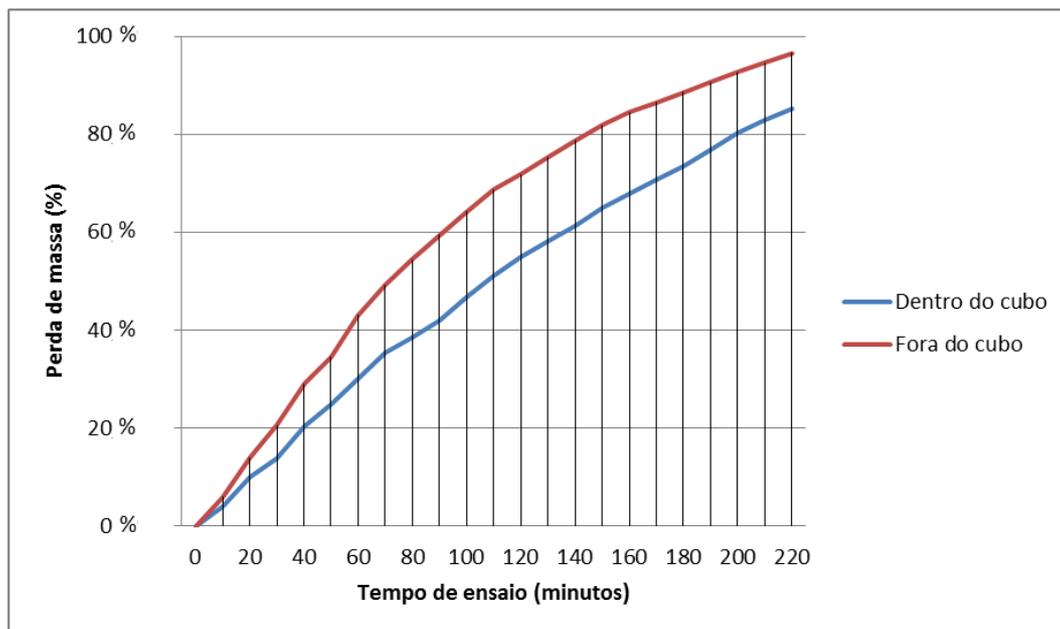
Em relação à massa remanescente do gelo, observa-se uma menor massa no gelo a exposto em ambiente externo, indicando que houve uma maior massa descongelada do que o ambiente interno, devido ao isolamento térmico do sistema.

**Tabela 10** – Comparações das massa de gelo remanescente e temperaturas dentro e fora do cubo.

Tempo (min)	Dentro do sistema		Fora do sistema	
	Massa de gelo (g)	Temp. (°C)	Massa de gelo (g)	Temp. (°C)
0	74,37	25	75,59	25
10	71,45	22	71,16	25
20	67,01	20	65,02	25
30	64,07	19,5	60,12	25
40	59,31	19	53,72	25
50	55,94	19	49,49	25
60	52,07	19	43,07	25
70	48,11	19	38,4	25
80	45,74	18,5	34,49	25
90	43,08	19	30,68	25
110	36,37	19	23,61	25
120	33,55	18,5	21,35	25
130	31,01	19	18,64	25
140	28,84	19	16,07	25
150	26,06	19	13,67	25
160	23,98	19	11,76	24
180	19,71	19	8,67	24
200	14,7	19	5,53	24
220	10,94	19	2,63	24

A Figura 26 mostra que no início do ensaio a inclinação da curva do ensaio fora do sistema isolado é maior do que dentro do sistema, o que significa que a taxa de fusão do gelo em água líquida é maior àquele que fica fora do sistema, até se atingir um pico máximo diferença em cerca de 70% de massa, a partir deste ponto a taxa de derretimento para o gelo fora do sistema começa a diminuir e se aproxima da taxa dentro do sistema.

Avaliando a Figura 26 é possível notar que a taxa de derretimento do gelo dentro do cubo é mais estável, isto é, aproxima-se de uma linha reta, enquanto que a taxa fora do cubo não apresenta tal característica.



**Figura 26** – Perda de massa de gelo dentro e fora do cubo isolado.

O resultado apresentado pelo gráfico infere de maneira clara que os painéis atuaram como atenuadores da temperatura e da taxa de derretimento do gelo. A temperatura externa média do ambiente durante a execução do ensaio foi de 25°C, enquanto que dentro do cubo a temperatura do ambiente foi 19°C. Ou seja, fica claro o comportamento isolante térmico do painel.

### 5.5. Propriedade de isolamento acústico

Para avaliação da capacidade de isolamento acústico dos painéis foi utilizado um software gerador de ruídos e montado um sistema de acordo com o detalhado no capítulo 4.2.2.5. A frequência sonora é medida em Hertz (Hz) e o nível do ruído em Decibéis (Db) conforme mostra a Tabela 11.

**Tabela 11** – Ensaio para avaliação da capacidade de isolamento sonoro.

Nível de Ruído	Frequência (Hz)				
	100	1.000	3.000	5.000	10.000
<b>Fora do cubo (Db)</b>	77,1	91,1	82,0	83,0	75,7
<b>Dentro do cubo (Db)</b>	64,0	72,5	46,9	49,4	58,4
<b>Porcentagem de redução</b>	16,99%	20,42%	42,80%	40,48%	22,85%

Analisando os dados da Tabela 12 se nota o excelente desempenho do painel em frequências de 3.000 e 5.000 hertz, na qual apresentou reduções maiores de 40% no nível do ruído gerado pela fonte sonora. Apesar dos resultados das demais frequências serem menos representativos fica comprovado que os painéis apresentam propriedades de isolamento acústico em todas as frequências testadas no ensaio, já que se isolou parte do som em todas as oportunidades.

## **5.6. Degradação**

### **5.6.1. Envelhecimento natural**

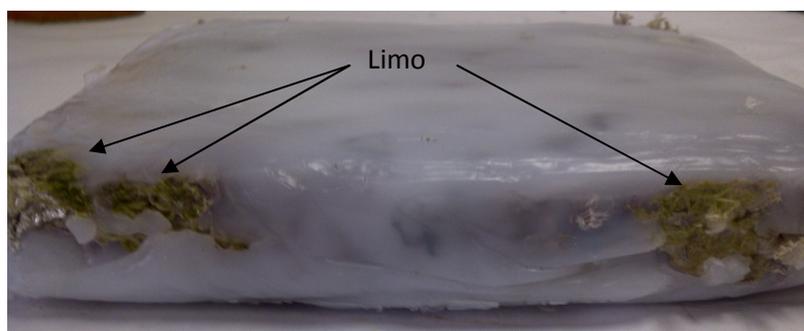
O ensaio de envelhecimento natural, realizado de acordo com o capítulo 4.2.2.6 deste trabalho visou observar alterações nos painéis expostos causados pela influência das intempéries como, por exemplo, radiações ultravioletas, chuva, sol, vento, poluição, entre outros, sobre as lâminas do painel e sobre o núcleo, que se encontrava exposto em alguns pontos do painel.

A Figura 27 foi retirada durante a execução do ensaio de envelhecimento natural e mostra o orvalho formado sobre a placa, um fenômeno físico causado pela condensação da umidade do ar, com a diminuição da temperatura a capacidade máxima de reter e incorporar vapor de água no ar, assim ele acaba precipitando sobre as superfícies, o que comumente ocorre com a grama ao amanhecer.

A Figura 28 foi retirada logo após a finalização do ensaio e é possível visualizar a degradação das fibras de algodão (cantos das placas não revestidas pelo PEAD), as quais algumas regiões foram cobertas por limo, uma alga verde presente em locais úmidos, mostrando biodegradação de um dos componentes do núcleo, fato esperado devido a ser de algodão.



**Figura 27** – Imagem da peça no 12º dia de exposição é possível perceber a formação de orvalho sobre a placa.



**Figura 28** – Presença de material vegetal, limo, sobre as fibras de algodão.

Após a finalização do teste foi realizada a pesagem do painel para verificar a porcentagem de alteração do peso do painel pela absorção de água pelas partes expostas do núcleo, a Tabela 12 detalha os resultados.

**Tabela 12** – Absorção de água pelo painel no ensaio de envelhecimento natural.

Massa inicial (g)	Massa final (g)	Diferença (g)	Alteração (%)
563,03	674,99	111,96	19,89

Como já era esperado o núcleo foi responsável pela absorção de água para o painel, porem este comportamento não é desejado para painéis a serem utilizados em paredes e divisórias de ambientes modulados, então o projeto de execução deve prever encaixes e

vedações que não permitam a exposição do núcleo, assim evitando a absorção de água através ou da umidade do ambiente, ou do contato direto com água.

### 5.6.2. Envelhecimento acelerado em câmara de névoa salina

O ensaio de envelhecimento acelerado em névoa salina foi realizado por 144 horas. Os resultados emitidos pelo laboratório responsável pelo ensaio estão em cópias digitalizadas dos documentos nos anexos A e B.

Conforme assinado pela laboratorista do LACOR, o painel não apresentou nenhuma alteração visual, ou seja, não se identificou nenhuma alteração de cor, como já era previsto. O mesmo foi notado quanto à resistência ao impacto, que para as alturas ensaiadas, não se notou nenhuma fragilização do painel.

Como ocorreu no ensaio de envelhecimento natural, partes do núcleo do painel ficaram expostas durante a execução do ensaio, assim também houve absorção de água e os resultados estão apresentados na Tabela 13.

**Tabela 13** – Absorção de água pelo painel no ensaio de envelhecimento acelerado.

<b>Massa inicial (g)</b>	<b>Massa final (g)</b>	<b>Diferença (g)</b>	<b>Alteração (%)</b>
426,98	517,93	90,95	21,30

Verificando os dados entre os ensaios de envelhecimento natural e envelhecimento acelerado em névoa salina se observa que a última teve uma alteração de peso de 21,30%, enquanto que a primeira de 19,78%, resultados que podem ser considerados iguais devida sua pequena diferença, apesar do ensaio em névoa salina manter a mesma concentração de água condensada durante todo o ensaio.

Além disto, vale ressaltar os resultados dos ensaios de impacto nos envelhecimentos acelerado e natural foram idênticos mesmo com a considerável absorção de água pelo painéis, resultado este que deve ser enaltecido, já que o painel não apresentou perda de suas propriedades mecânicas.

## 5.7. Aplicações

Os painéis desenvolvidos neste trabalho têm diversas aplicações, principalmente para Engenharia Civil onde podem ser aplicadas para confeccionar paredes, divisórias e teto de módulos habitáveis (Figura 29), casas populares para situações de emergências (Figura 30), galpões industriais (Figura 31), entre outros.



**Figura 29** – Projeto de enfermaria realizada em telha trapezoidal de Aluzinc, com núcleo isolante de EPS e revestimento interno em forro lambri de PVC. (Divulgação: GRUPO COLMEIA)

A Figura 29 foi retirada durante a execução de um projeto completo de Infraestrutura para a maior obra em andamento do Uruguai, uma indústria de celulose. A vantagem desta construção é a rapidez de mobilização para a obra. Como os ambientes vem com instalações elétricas e hidráulicas completas, o que permitiu a montagem da enfermaria da Figura 29 em apenas 5 dias.

Os painéis de PEAD idealizados neste trabalho poderiam substituir com vantagens a telha trapezoidal e conjunto de isolamento térmico dos módulos habitáveis. Devido ao menor custo do produto e ao menor tempo de produção, já que um dos gargalos da produção do Grupo Colmeia, empresa gaúcha que produz módulos habitáveis, é o revestimento dos módulos, que hoje são produzidos praticamente artesanalmente nas etapas abaixo listadas:

- Fixação das telhas nos quadros de lateral, frete e fundo com rebites;
- Instalação de madeiras, com parafusos autobrocantes, para sustentação do sistema de isolamento térmico;
- Corte e fixação, sob pressão, das placas de EPS (Poliestireno Expandido);
- Corte e fixação, com grampos industriais, das placas de forro lambri de PVC

Com a aplicação dos painéis para a construção de módulos habitáveis a confecção do produto se restringirá a apenas uma etapa, que será a fixação dos painéis sobre os quadros de lateral, frete e fundo.

Da mesma maneira os painéis podem ser utilizados para confeccionar casas populares para situações de emergência que hoje são cedidas pela Prefeitura Municipal de Porto Alegre através do DEMHAB – Departamento Municipal de Habitação, estas casas hoje são confeccionadas com aglomerado de madeira e revestidas externamente com argamassa, como pode ser visualizado pela Figura 30, conforme a informa a Prefeitura, o tamanho padrão das casas é de 8,91m<sup>2</sup> e elas são produzidas em cerca de 5 dias, precisam ser totalmente moduladas, como peças leves (para áreas de difícil acesso) e para este uso não precisam ser resistentes, já que são confeccionadas para durarem pouco tempo, por não se tratar de um programa habitacional mas sim emergencial.



**Figura 30** – Casas para situações emergenciais entregadas pelo DEMHAB Porto Alegre (Departamento Municipal de Habitação).

O uso de painéis para confecção de casas de emergência também traz benefícios, principalmente quanto à montagem, já que será pelo menos uma etapa a menos para confecção das casas populares, como segue na Tabela 14:

**Tabela 14** – Comparação das etapas confecção da casa de emergência entre o projeto atual utilizado pelo DEMHAB e o novo modelo em painéis de PEAD.

Casa padrão DEMHAB	Casa em painéis
Confecção das bases	Confecção das bases

<b>Instalação do piso</b>	Instalação do piso
<b>Instalação dos painéis de madeira</b>	Instalação dos painéis sanduiche de PEAD com núcleo de resíduo de calçado
<b>Revestimento externo em Argamassa</b>	Instalação do teto
<b>Instalação do teto</b>	Instalações elétricas
<b>Instalações elétricas</b>	Instalações hidráulicas
<b>Instalações hidráulicas</b>	

A solução emergencial para confecção casas para família carentes que foram vítimas de desastres ambientais não prevê nenhum tipo de acabamento externo e interno, como pintura, por exemplo, porem os painéis já possuem acabamento liso e na cor branca, conferindo um aspecto mais humano a casa e evitando mais uma etapa para acabamentos.

A terceira aplicação pode ser na substituição de painéis sanduiche confeccionados em aço com núcleo isolante de EPS, estes painéis são comumente utilizados para confeccionar galpões industriais conforme pode ser visto na Figura 31.



**Figura 31** – Refeitório Industrial confeccionado em painel sanduiche Aço + EPS. (Divulgação: GRUPO COLMEIA)

A fotografia acima foi tirada após a finalização do refeitório central para maior obra do Obra em andamento do Uruguai, o refeitório possui capacidade de atender 1.500 pessoas simultaneamente. Este refeitório foi montado em 25 dias utilizando a tecnologia de construção com painéis modulares semelhantes ao proposto neste trabalho. Os painéis deste projeto são com lâminas de aço galvanizado e núcleo isolante de EPS.

As etapas para confecção do projeto acima seriam idênticas, porem a vantagem de utilizar painéis sanduiche de PEAD com núcleo isolante em resíduo da indústria calçadista conforme proposto neste trabalho, seria o menor custo para produção do produto já que o PEAD é um dos polímeros mais barato do mercado e o núcleo isolante seria, a princípio, cedido sem custo pela indústria calçadista.

## 6. CONCLUSÕES

- Com os resultados de caracterização foi possível identificar qual são os matérias presentes nos resíduos provenientes da indústria coureiro calçadista gaucha e suas influências em propriedades de isolamento térmico e acústico.
- A condição de processamento ótima foi obtido quando o acabamento do painel foi a melhor no menor tempo de total para processamento, isto foi obtido com pressão de 3 toneladas, temperatura de processamento de 200°C tempo de pré-aquecimento de 10 minutos e mesmo tempo para pressão aplicada, já o resfriamento foi realizado em bandeja com circulação de água fria-
- O ensaio de compressão mostrou que, apesar do núcleo o painel ser macio, o uso de aglomerante para o núcleo conferiu ao painel resistência mecânica para deformação em 50% de 55,9 MPa.
- O ensaio de impacto mostrou que a resistência ao impacto do painel envelhecido naturalmente e envelhecido em névoa salina não foi alterado em relação ao painel após o processamento.
- O ensaio de propriedade de isolamento térmico mostrou que em um ambiente isolado é possível reduzir a taxa de derretimento do gelo o que, conseqüentemente, infere um comportamento isolante térmico do painel.
- O ensaio de propriedade de isolamento acústico mostrou uma redução da intensidade sonora em todas as frequências emitidas o que, conseqüentemente, infere um comportamento isolante acústico do painel.
- Os ensaios de envelhecimento não demonstraram nenhuma alteração visual nos painéis, porém se observou que em ambos os ensaios houve absorção de água pelos cantos das amostras não revestidas pelo PEAD, o que resulta em cuidados para confecção de projetos de ambientes nos quais não permitam que o núcleo fique exposto em extremidades e junções.
- Por todas as características apresentadas, conclui-se que é plenamente viável o uso dos painéis confeccionados neste trabalho para paredes e divisórias não estruturais de ambientes modulados, casas de emergências e galpões industriais, já que as características necessárias para estas aplicações foram alcançadas conforme os resultados acima descritos.

- O uso dos painéis sanduíche deste trabalho em obras poderá tornar a aplicação de produtos desta família mais comum no mercado da construção civil brasileira, já que sua aplicação é restrita devido a seu alto custo de produção.

## **7. SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS**

Avaliar as propriedades físicas e mecânicas dos painéis exposto a envelhecimento natural por 6 e 12 meses.

Estudar a influência da variação da espessura do núcleo isolante com as propriedades de isolamento térmico e acústico dos painéis.

Estudar a influência da espessura das lâminas nas propriedades mecânicas dos painéis.

Avaliar o uso de PVC para confeccionar as lâminas internas e externas e analisar a viabilidade financeira e seu comportamento quando exposto ao sol.

Comparar as propriedades de isolamento térmico e acústicos com painéis sanduíche com lâminas de aço e núcleos de EPS e PU expandido.

Avaliar a influência do método de resfriamento com as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Avaliar o uso de madeira plástica para confecção das lâminas dos painéis.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. [on-line] [acessado em 03 de novembro de 2012] - <http://www.braskem.com.br/site.aspx/produtos-verdes>
2. [on-line] [acessado em 06 de novembro de 2012] - [http://www2.dupont.com/Plastics/pt\\_US/assets/downloads/manuals/DuPont\\_Hytrel\\_Manual\\_de\\_Extrusao.pdf](http://www2.dupont.com/Plastics/pt_US/assets/downloads/manuals/DuPont_Hytrel_Manual_de_Extrusao.pdf)
3. [on-line] [acessado em 10 de novembro de 2012] - <http://br.weather.com/>
4. [on-line] [acessado em 18 de novembro de 2012] - <http://www.grupocolmeia.com.br/>
5. [on-line] [acessado em 18 de novembro de 2012] - <http://www.orevolucionario.org/opiniaof.php?ID=2281>
6. [on-line] [acessado em 30 de outubro de 2012] - <http://www.drashirleydecamos.com.br/noticias/19086>
7. ALLEN, H. G. **Analysis and design of structural sandwich panels**. Pergamon Press, Oxford, 1969, 283 p.
8. ALMEIDA, M. I. A. **Comportamento estrutural de painéis sanduíche compósitos para aplicações na indústria da construção**. 2009. 185p. Tese (Mestrado) – Instituto Superior Técnico, Universidade técnica de Lisboa, Portugal.
9. ANDRADE, O. B.; TACHIZAWA, T.; CARVALHO, A. B. **Gestão ambiental — enfoque estratégico aplicado ao desenvolvimento sustentável**. Makron Books, São Paulo (2002).
10. ANDREOLA, F.; BARBIERI, L.; LANCELLOTTI, I. **End of life-materials: weee glass recovery in construction sector**. Em: **Proceedings of the second international conference on sustainable construction materials and technologies**. Ancona. 2010.
11. BRAGA, Benedito; et al. **Introdução à engenharia ambiental**. 2º ed.. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2005.
12. CALLISTER, Willian D., Jr. **Fundamentos da Ciência e Engenharia de Materiais: uma abordagem integrada**, 2ª ed., LTC, 2006.
13. CMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO – 1988 apud BARBIERI, 1997, p. 23.
14. COFFERI, Patrícia; DE OLIVEIRA, Cristiano J. J.; SANTANA, Ruth M. C. **Placas com propriedades de isolamento térmico e acústico, obtidas a partir de resíduos sintéticos diversos oriundos da indústria calçadista**. 3º Congresso internacional de tecnologias para o meio ambiente. 2012.
15. DAVIES, J.M. **Lightweight Sandwich Construction**. Osney Mead, Oxford OX2 0EL: Blackwell Science Ltd, 2001.
16. DOAK, K. W. **Ethylene Polymers**. Em: MARK, H. M.; BIKALES, N. M.; OVERBERG, C. G.; MENGES, G. **Encyclopedia of Polymer Science and Engineering**. John-Wiley & Sons, New York, Volume 6 (1986).
17. FELTRAN, M. B. **Compósitos de PVC reforçados com fibra de vidro: uso de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira**. Dissertação de Mestrado. 2008. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil.

18. GAGLIARDO, Debora P.; MASCIA, Nilson T. **Análise de estruturas sanduíche: parâmetros de projeto.** Ambient. constr., Porto Alegre, v. 10, n. 4, Dec. 2010.
19. GARA, Fabrizio; RAGNI, Laura; ROIA, Davide; DEZI, Luigino. **Experimental tests and numerical modelling of wall sandwich panels.** Dept. of Civil and Construction Engineering and Architecture, Università Politecnica delle Marche, Ancona, Italy. 2012.
20. GAY, Daniel. **Composite materials: desing and aplications.** 2nd Ed. CRC Press, 2007.
21. LEITE, M.; FREITAS, M.; SILVA, A. **Sandwich construction.** Apresentação IST, DesignStudio, 2004.
22. MATTHEWS, F. L.; RAWLINGS, R. D. **Composite Materials: Engineering and Science.** Woodhead Publishing Ltd and CRC Press LLC. 1999.
23. MILLER, G. T. **Living in the environment.** Califórnia: Wadsworth Pub.Inc., 1985.
24. MOLINA, J. C.; CARREIRA, M. R.; CALIL, C. J. **ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE PERFIS RETANGULARES DE MADEIRA PLÁSTICA.** Revista Minerva – Pesquisa e Tecnologia, V. 6, nº 1.2009.
25. NETO, J. da C. M. **Gestão dos resíduos de construção e demolição no Brasil.** São Paulo: RiMA, 2005. 162p.
26. OCTAVIANO, Carolina. **Mudança de Petróleo para biomassa impulsiona química verde.** Revista eletrônica Com Ciência. 10 de julho de 2011.
27. PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades.** Editora Hemus. 2007.
28. PARDINI, Luiz Cláudio. **Preformas para compósitos estruturais.** Polímeros, São Carlos, v. 10, n. 2, jun. 2000.
29. PATEL, M.; THIENEN, N. V.; JOCHEM, E. W. **Resources Conservation & Recycling**, 29, 2000, p.65-90.
30. PINTO, T. P. **Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana.** 1999. 200p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.
31. RACCIOPPI, E. **Cultura ambiental na empresa.** Banas Ambiental, n.º 5, 2000, p.56-8.
32. REBEIZ, K.S., CRAFT, A.P. **Plastic waste management in construction: technological and institutional issues.** Resources, Conservation and Recycling 15, 245–257. 1995.
33. SANTANA, R. M. C.; MANRICH, S. **Synthetic paper form plastic waste: Influence of a surface treatment with corona discharge.** Journal of Applied Polymer Science. V. 114, 3420-3427. 2009.
34. SARTORI, Ana P., et al. **Determinação do coeficiente global de transferência de calor “U” em painéis sanduíche para isolamento térmico.** 10º CBPol. 2009.
35. SIDDIQUE, R., KHATIB, J., KAUR, I. **Use of recycled plastic in concrete: A review.** Waste Management 28, 1835–1852. 2008.
36. SILVA, R.C.; SANGOI, R.F.; ESPINOZA, M.W. **Relatório sobre a Geração de Resíduos Sólidos Industriais no Estado do Rio Grande do Sul,** FEPAM e FNMA, 2003, 27 pág.

37. SPINACÉ, M. A. S.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C.; GROSSI T. A.; DE PAOLI, M. A. **Poliolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal × curauá.** *Polímeros*, São Carlos, v. 21, n. 3, 2011.
38. UNIDO, 2000. **Wastes Generated in the Leather Footwear Industry.** Em: 14th Session of the Leather and Leather Products Industry Panel, Czech Republic. 13 – 15 de dezembro de 2000.
39. VENTRURA, A. M. F. M. **Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas.** 2009. Instituto Superior Técnico, Universidade técnica de Lisboa, Portugal.



