

Reciclagem de Embalagens Longa vida em Planta Compacta e Pequena Escala

Fernando Luiz Neves
Fernando J. von Zuben
Tetra Pak - Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma planta compacta para reciclar embalagens cartonadas longa vida pós-consumo com circuito de água totalmente fechado. O objetivo da planta é extrair a polpa e desaguá-la até 60% de umidade para possibilitar o transporte e comercialização para fábricas de papel. O polietileno e alumínio são utilizados para a produção de telhas e placas cujo processo são descritos neste trabalho. Os resultados mostram os benefícios do uso da polpa nos processos de fabricação de papel e também as vantagens dos produtos obtidos do processamento do plástico com alumínio.

ABSTRACT

This paper presents the development of compact recycling plant to process Milk and Beverage Carton Packages with water circuit totally closed. The objective of the plant is to extract the pulp and dewater it until 60% of humidity, which makes possible the commercialization to Paper Mills. The polyethylene and aluminum is used to produce roof tiles, panel boards or pellets which process is described in this work. The results show the benefits of the cellulose pulp in the papermaking process and also the advantages of the recycled products made of plastics with aluminum.

PALAVRAS-CHAVE

Papel, Reciclagem, Alumínio, Embalagem Longa Vida

KEY-WORDS

Paper, Recycling, Aluminum, Beverage Cartons

INTRODUÇÃO

As embalagens longa vida, compostas por papel, polietileno e alumínio estão cada vez mais presentes na vida dos consumidores, e com a crescente preocupação ambiental e o aumento do mercado de recicláveis, têm se mostrado extremamente interessante para a cadeia de reciclagem, já que o papel que representa 75% de seu peso é utilizado para a fabricação de embalagens secundárias, tubetes, além de entrar na composição de papéis reciclados para fins de impressão e fabricação de telhas de fibrocimento como substituto da celulose virgem.

Cada vez mais, negócios são gerados no setor de reciclagem e o que há algum tempo era um mercado para grandes empresas, está hoje interessando ao pequeno investidor. O melhor exemplo é o uso do polietileno & alumínio, considerado rejeito pelas fábricas de papel, está sendo industrializado por pequenas empresas para a confecção e placas e telhas.

O objetivo deste trabalho é apresentar uma planta compacta onde a polpa de celulose é extraída e pode ser comercializada para quaisquer fábricas de papel, e o plástico possa ser industrializado e transformado em placas ou telhas. A aplicação desta planta tem como alvo localidades que encontram-se distantes dos atuais recicladores e que possam se beneficiar de um

mercado local para as placas e telhas produzidas, além de agregar valor à polpa que poderá ser utilizada por qualquer indústria que utilize polpa de papel em seu processo.

Atualmente a reciclagem de embalagens longa vida é feita em fábricas de papel que utilizam as fibras de celulose para fabricação de diversos produtos como caixas de papelão, tubetes, papel para impressão, etc. O polietileno & Alumínio é comercializado e pode ser reciclado de três formas: A) fabricação de placas e telhas, B) extrusão e injeção e servindo como matéria-prima para a fabricação de peças plásticas ou ainda C) recuperação do alumínio metálico com alta pureza no processo a plasma térmico. O processo a Plasma gera também como subproduto a parafina que é comercializada para a indústria química e é usada, por exemplo, para produção de cosméticos e lubrificantes. O conceito de planta em pequena escala já está em operação sendo uma planta no Brasil, uma na Costa Rica e outra na África do Sul. No Brasil, este conceito já está sendo aplicado para planta em grande escala na ordem de 700 a 1000 ton/mês.

PROCESSO DE RECICLAGEM

A planta compacta é composta por dois processos: a retirada da polpa de papel e a fabricação de placas e telhas a partir do polietileno & Alumínio. O primeiro processo é composto por unidade de desagregação, peneira vibratória, desaguadora, unidade de tratamento de água de processo, além de tanques e bombas. O segundo processo é composto por moinho, ventoinhas para transporte pneumático, prensa aquecida, prensa fria (opcional) e equipamentos para corte. O polietileno & Alumínio pode ser comercializado no mercado.

A figura 1 mostra o fluxograma da planta compacta e a figura 2 mostra o lay out dos equipamentos.

O projeto foi desenvolvido em duas etapas, sendo a primeira delas, a extração da polpa. Esta primeira etapa foi feita em uma empresa na cidade de Valinhos onde foram instalados dois desagregadores, uma peneira vibratória, uma desaguadora e uma unidade de tratamento de água de processo. Nesta unidade, o polietileno juntamente com o alumínio é peletizado e comercializado como compósito para o mercado de vassouras e materiais de escritório. A segunda etapa do projeto foi desenvolvida em parceria com empresas já instaladas no Brasil e que utilizam o polietileno & Alumínio para a produção de placas e telhas. Após este desenvolvimento foram instaladas uma unidade na Costa Rica e outra na África do Sul que estão em funcionamento.

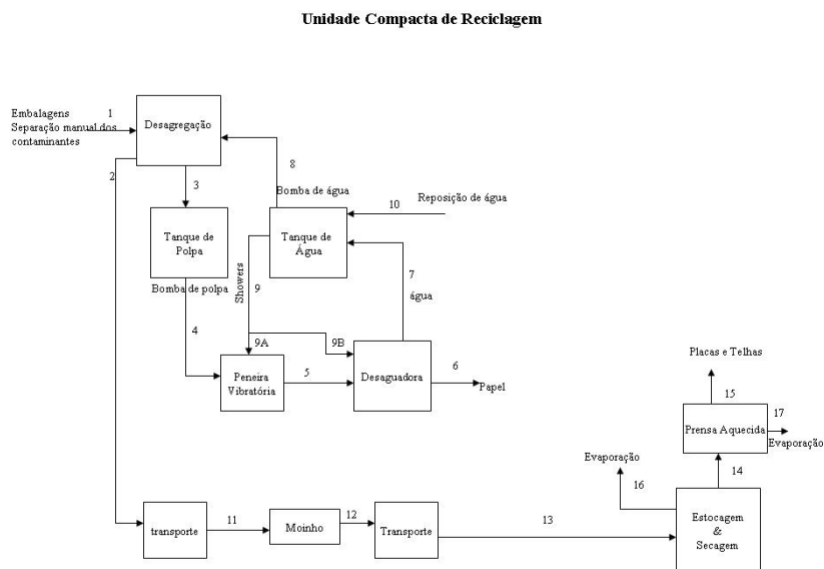


Figura 1 – Fluxograma da planta compacta de reciclagem de embalagens longa vida

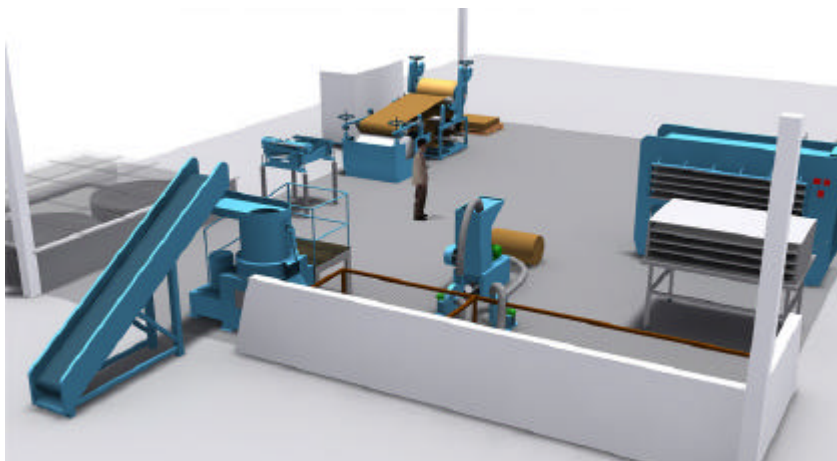


Figura 2 - Lay out 3D da planta compacta

EQUIPAMENTOS

DESAGREGADOR

A retirada da polpa de papel é feita utilizando equipamento especialmente projetado para desagregar o papel e bombeá-lo para o sistema de depuração de fibras e também centrifugar o polietileno & alumínio. Para maiores produções um hidrapulper pode ser utilizado, porém a umidade e a quantidade de fibra residual no polietileno com alumínio será maior.

A figura 3 mostra o processo de desagregação das embalagens longa vida. O tempo de desagregação pode variar de 5 a 10 minutos dependendo da quantidade de residual de papel aceitável para o processo. Em se tratando de peletização, este residual deve ser menor que 1%, já para a produção de placas e telhas pode-se atingir até 15% de papel. Telhas fabricadas com níveis de papel acima de 15% podem mostrar problemas se expostas a chuva.



Figura 3 – Desagregador operando com embalagens longa vida pós-consumo

A figura 4 mostra o polietileno com alumínio após o processo de desagregação e centrifugação. O princípio de funcionamento deste equipamento baseia-se no atrito das embalagens com as paredes do desagregador e o rotor e na hidratação das fibras com água. O equipamento opera em batelada e difere do hidrapulper por possibilitar a operação com saída aberta, ou seja, durante o ciclo de 5 a 10 min a água é continuamente injetada e a polpa extraída, não sobrecarregando o motor com o peso da água dentro do equipamento. Cada batelada pode

desagregar até 30 Kg de embalagens longa vida o que representa produções de 180 a 250 Kg/h, dependendo da quantidade residual de papel no material contendo polietileno e alumínio.



Figura 4 - Polietileno & Alumínio após desagregação e centrifugação

PENEIRA VIBRATÓRIA

Após a desagregação a polpa deve passar por processo de depuração para evitar que pequenos pedaços de plásticos fiquem agregados no papel. Neste projeto usamos apenas uma peneira vibratória o que já garante um excelente resultado e agrega valor ao papel que será comercializado. Pode-se ter outros equipamentos instalados para melhorar ainda mais esta limpeza como por exemplo, depuradores pressurizados. A instalação de mais equipamentos deve ser feita com critério e sempre avaliando o custo benefício e quanto de valor acrescentará ao papel, já que qualquer equipamento adicional consumirá mais energia elétrica e em alguns casos não agrega tanto valor ao produto final, uma vez que o destino desta polpa será fabricas de papel que já possuem sistemas de preparação de massa.



Figura 5- Peneira Vibratória

DESAGUADORA

A desaguadora tem a função de extrair água da polpa, e deixá-la na condição de ser transportada. A umidade na saída deste equipamento é em torno de 60 a 70%. O equipamento é composto por forma onde acontece a formação da manta de material celulósico, feltro que faz a

transferência do papel e unidade de desagüe onde é aplicado pressão e o papel transferido para o enrolador. Pode-se reduzir ainda mais a umidade com a instalação de uma prensa hidráulica, devendo ser novamente observado o custo/benefício para instalação deste equipamento.



Figura 6 - Desaguadora e Polpa Desaguada

A figura 6 mostra a desaguadora em operação e o papel sendo estocado em caçambas para ser comercializado.

UNIDADE DE TRATAMENTO DE ÁGUA DE PROCESSO

O sistema da unidade compacto é totalmente fechado, não havendo descarte de água do sistema. Por conta da umidade de saída do papel e das perdas por evaporação, é necessário fazer a reposição da água, além de manter a água recirculada no processo em condições de processo.

As embalagens pós-consumo, apesar do excelente trabalho que vem sendo feito pelas cooperativas de catadores e programas municipais de coleta seletiva, podem trazer contaminantes que prejudicam o funcionamento do sistema e principalmente da desaguadora. Com o objetivo de manter o sistema com bom funcionamento, a água que é recirculada no sistema deve passar por tratamento para extração principalmente da gordura e fibras de papel que pode acumular no sistema. A água a ser tratada passa por uma peneira tipo Side Hill para



Figura 7 – Sistema de Eletro-Flotação

Retirar fibras de papel e evitar entupimento de bombas, parte desta água passa por um sistema compacto de eletrocoagulação. Neste processo é aplicada corrente elétrica na água de processo o que faz com que o material solúvel coagule e possa ser retirado por decantação ou flotação. A figura 7 mostra o sistema de eletrocoagulação já adaptado a um flotação. A água limpa, após passar por um filtro de areia, retorna ao sistema e o lodo gerado pode passar por um filtro prensa como mostra a figura 8 ou faz-se a desidratação em leito de secagem.



Figura 8 – Filtro Prensa



Figura 9 – Tanque de água e Peneira Side Hill

MOINHO e VENTOINHAS TRANSPORTADORAS

O polietileno com alumínio após a retirada do papel deve ser triturado para redução de tamanho. Em geral é feita uma pré-secagem ao ar do material. Este equipamento é dotado de uma peneira intercambiável que determina o tamanho do material. A definição de tamanho depende do visual que se deseja dar à placa ou à telha. Em geral é utilizado 1 polegada. Para se trabalhar com granulometrias menores, deve-se levar em conta a diminuição da capacidade do moinho.



Figura 10 – Moinho



Figura 11- Ventoinha para transporte pneumático

PRENSA AQUECIDA

Após a redução de tamanho do material, é feita a alimentação em prensa aquecida. As prensas utilizadas podem ser elétricas, a fluido térmico ou a vapor. As mais utilizadas são as elétricas devido à facilidade de instalação e flexibilidade. As prensas a vapor apresentam o inconveniente de gerar condensado e maior tempo para se atingir a temperatura desejada.

Em geral a potência instalada em uma prensa elétrica é de 35 KW, temperatura de processo 180 a 200 °C e pressão aplicada às placas de aproximadamente 4,5 Kgf/cm².



Figura 12 - Polietileno & Alumínio com invólucro de poliéster .

O material é alimentado à prensa após ser acondicionado em invólucros de poliéster que têm o objetivo de evitar a adesão do polietileno na prensa e desta forma facilitar a retirada da prensa. Além do poliéster pode-se usar o Teflon ou qualquer outro material cujo ponto de plastificação é superior ao do polietileno o suficiente para não aderir ao equipamento.

A figura 12 mostra o material acondicionado em poliéster e dispostos na mesa de alimentação. A prensa em funcionamento é mostrada na figura 13.



Figura 13 – Prensa Aquecida elétrica



Figura 14 – Prensa Aquecida a fluido térmico

O tempo de prensagem varia em função da umidade do material. A maioria das empresas fabricantes de placas e telhas fazem a secagem ao ar do material antes e após a trituração e usam a prensa aquecida para secagem do material antes de aplicar pressão para a plastificação do polietileno. O tempo de prensagem, desta forma, varia em função da umidade de entrada do material.

PRENSA FRIA

Após o processo de prensagem a quente o material passa por prensagem a frio para uniformizar a superfície ou para dar a forma de telhas. A prensagem a frio das placas só acontece quando esta é destinado a mercados que exige uma superfície uniforme como é o caso de fabricação de móveis, projetos arquitetônicos, etc. Para uso menos nobre em como confecção de peças que não ficarão à mostra, tapumes de construção ou outros usos similares, a prensagem a frio não é feita.

Após o processo de prensagem a quente, as placas ainda flexíveis são dispostas para o resfriamento ou são alimentadas às prensas frias que podem ser planas ou em forma de telhas. O molde para a obtenção de telhas ou cumeeiras pode ser feito em cimento como mostra a figura 15, sendo uma opção de baixo custo para pequenas produções. A figura 14 mostra uma prensa a frio em formato de telhas.



Figura 14 – Prensa Fria para Telhas

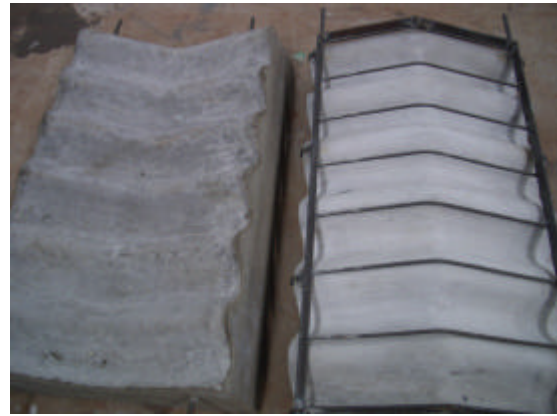


Figura 15 – Molde para Cumeeiras em cimento

Após o resfriamento o material é destinado ao corte para que seja uniformizado o tamanho.

OPERAÇÃO DE CORTE

A operação de corte requer uma esquadrejadeira, e normalmente é utilizada serra circular, porém qualquer equipamento usado para cortar madeira pode ser utilizado para o corte das placas ou telhas de polietileno & Alumínio. Durante este processo é gerado um rejeito que é novamente triturado e usado como matéria-prima para a fabricação de uma nova placa ou telha. Este material, fornece uma placa ou telha com superfície mais uniforme.



Figura 15 – Esquadrejadeira e Cortadeira para Placas e Telhas

A figura 15 mostra o processo de corte de placas & telhas. A posição das serras circulares pode ser ajustada dependendo do formato da placa ou telha.

PRODUTOS

Os produtos obtidos após a industrialização possuem ampla aceitação no mercado e estão sendo usado para diversos fins. As telhas, por exemplo podem ser utilizadas para cobertura de galpões industriais, para criação de aves, ou ainda como cobertura de residências. Algumas empresas produzem telhas com a aplicação de camada de alumínio



Figura 16 - Telhas produzidas com polietileno & Alumínio e sua utilização em galpão industrial.

o que melhora ainda mais o conforto térmico devido à reflexão dos raios infravermelho. Mesmo as telhas que não possuem esta aplicação, apresentam conforto térmico melhor que as similares no mercado devido ao alumínio presente na estrutura e superfície do produto.



Figura 17 - Projeto Arquitetônico do restaurante Escola em São Paulo onde foram usadas placas produzidas com polietileno & Alumínio.

As placas produzidas com polietileno & Alumínio das embalagens longa vida estão sendo utilizadas de diversas formas. Uma delas é o uso em projetos arquitetônicos como mostra a figura 17, são ainda usadas como divisórias, forro, tapumes, formas de cimento para construção civil, caixas de embalagens e para a confecção de móveis. A figura 18 mostra móveis produzidos com placa de polietileno & Alumínio.



Figura 18 – Móveis e carteiras escolares produzidos a partir de placas fabricadas com polietileno & Alumínio.

PROJETO E DADOS EXPERIMENTAIS

BALANÇO DE MASSA DA PLANTA

A planta de reciclagem de embalagens longa vida em pequena escala foi dimensionada para consumir cerca de 200 kg/h de embalagens pós-consumo. A umidade média encontrada nos fardos provenientes de diversas coletas seletivas apresentou uma média de umidade de 10%, o que representa 180 Kg/h de embalagens base seca. Para esta produção são gerados: 135 Kg seco/h de polpa e 45 Kg seco/h de polietileno & alumínio já praticamente isento de fibras. A tabela 01 mostra o balanço de massa para o processo que é a base para o dimensionamento dos equipamentos.

Operando esta planta com apenas um desagregador como mostram os dados do balanço, a produção seca de polietileno & Alumínio será de 900 Kg/dia, considerando 20 horas e operação diária. Uma prensa aquecida com quatro compartimentos produz em média 156 Kg de telhas por hora, considerando umidade abaixo de 10% para o material e espessura da telha entre 4 e 6 mm. Desta forma, uma planta otimizada deve ser redimensionada para consumir 624 Kg/h de embalagens o que pode ser conseguido de forma mais eficiente com um pequeno hidrapulper de 8 m³. Neste caso o equipamento desagregador deve ser usado para lavar o polietileno & alumínio gerado na descarga do hidrapulper.

TABELA – 1 Balanço Material para Planta de Reciclagem de embalagens longa vida em pequena escala referente ao fluxograma da figura 1.

| Linha | Material seco Kg/h | Água Kg/h | Consistência Teor seco (%) | Vazão (m ³ /h) | Umidade (%) | Total (Kg/h) |
|-------|--------------------|-----------|----------------------------|---------------------------|-------------|--------------|
| 1 | 180.00 | 20.00 | 90.00 | | 10.00 | 200.00 |
| 2 | 45.00 | 83.57 | 35.00 | | 65.00 | 128.57 |
| 3 | 135.00 | 22365.00 | 0.60 | 22.50 | 99.40 | 22500.00 |
| 4 | 135.00 | 22365.00 | 0.60 | 22.50 | 99.40 | 22500.00 |
| 5 | 135.00 | 29265.00 | | 29.40 | | 29400.00 |
| 6 | 135.00 | 250.71 | 35.00 | | 65.00 | 385.71 |
| 7 | 0.00 | 36934.29 | 0.00 | 36.93 | | 36934.29 |
| 8 | 0.00 | 22428.57 | 0.00 | 22.43 | | 22428.57 |
| 9 | 0.00 | 14820.00 | 0.00 | 14.82 | | 14820.00 |
| 9A | 0.00 | 6900.00 | 0.00 | 6.90 | | 6900.00 |
| 9B | 0.00 | 7920.00 | 0.00 | 7.92 | | 7920.00 |
| 10 | 0.00 | 314.29 | 0.00 | 0.31 | | 314.29 |
| 11 | 45.00 | 83.57 | 35.00 | | 65.00 | 128.57 |
| 12 | 45.00 | 83.57 | 35.00 | | 65.00 | 128.57 |
| 13 | 45.00 | 83.57 | 35.00 | | 65.00 | 128.57 |
| 14 | 45.00 | 7.94 | 85.00 | | 15.00 | 52.94 |
| 15 | 45.00 | 2.37 | 95.00 | | 5.00 | 47.37 |
| 16 | 0.00 | 75.63 | | | | 75.63 |
| 17 | 0.00 | 5.57 | | | | 5.57 |

DADOS DO TRATAMENTO DE ÁGUA DE PROCESSO

A Tabela 2 mostra diversas análises da água de processo. O grande problema encontrado antes da instalação do sistema de tratamento da água, foi a concentração de óleos e graxas no sistema, prejudicando a formação da folha de papel na desaguadora. Após a instalação do sistema de eletrocoagulação e flotação, o sistema foi ajustado para o mínimo de energia necessária para seu funcionamento, já que a água não é descartada em nenhum momento do processo, não se torna necessário o gasto com energia elétrica para atingir padrões de descarte. A tabela 2 mostra dados em diferentes períodos.

TABELA 2 - Análise da água de processo

| mg/L | | | mL/L | |
|------|------|----------------|------|-----------------------|
| DBO | DQO | Óleos e Graxas | pH | Sólidos Sedimentáveis |
| 105 | 300 | < 1 | 6.1 | < 0,5 |
| 100 | 576 | 4 | 6.9 | 1.00 |
| 485 | 1230 | n.d. | 7.9 | 1.10 |
| 440 | 895 | 15 | 3,8 | 3,0 |
| 633 | 1640 | 1 | 4,7 | 8,0 |
| 398 | 2250 | 76 | 7,1 | 50 |

O maior valor medido para a carga de DQO no sistema foi de 2250 mg/L, sendo este material a maioria tintas e fibras de papel. A maior DBO obtida foi de 633 mg/L e conseguiu-se operar o sistema sem problemas mesmo com óleos e graxas na faixa de 76 mg/L. Caso haja a necessidade de descarte desta água deve-se aumentar a corrente de processo e fazer uma análise mais cuidadosa na quantidade de alumínio presente na água. Após vários meses de funcionamento foi encontrada na água a concentração de 23 a 25 mg/L de alumínio.

PROPRIEDADE DO PAPEL OBTIDO

A polpa celulósica usada na fabricação das embalagens é material virgem, desta forma, a reciclagem das embalagens longa vida produzirá polpa celulósica em seu primeiro ciclo de reciclagem que se traduz em material de excelente qualidade.

À medida que o papel sofre repetidas operações de reciclagem ocorre o corte das fibras, prejudicando as propriedades requeridas para seus diversos usos. A Tabela 3 mostra o comparativo entre as propriedades do papel obtido com papelão ondulado I versus polpa proveniente da reciclagem de embalagens longa vida.

Para que fosse possível comparar estas propriedades tanto a polpa de embalagens longa vida quanto a proveniente de papelão ondulado I foram refinadas de forma que a diferença no refino, que é medida pela resistência à drenagem não influenciasse esta comparação, já que a maioria das propriedades são altamente influenciadas pelo grau de refino. A tabela 3 mostra que propriedades importantes como Resistências À Tração, Arrebatamento, Rasgo e Flexão (Rigidez taber), assim como o Alongamento e a Resistência à Compressão (Concora- CMT) apresentam valores maiores, para uma mesma faixa de reifino, quando obtidas a partir de embalagens longa vida, confirmando a teoria do primeiro reciclo. Foram também analisadas as propriedades de uma mistura de 50% de polpa obtida a partir de embalagens longa vida e 50% de polpa obtida de papelão ondulado I. A Tabela mostra valores mais altos para a mistura se comparados aos resultados de papel obtido apenas de aparas ondulado I, para as propriedades citadas anteriormente. Isto mostra que mesmo que se utilize uma composição onde se mescla certa porcentagem de polpa proveniente de embalagens longa vida, obtem-se ganho nas principais propriedades do papel.

TABELA 3 – Comparativo das Propriedades do Papel Obtido com OCC (Old Corrugated Cardbox)

| Ensaio/ Amostra | 100% Embalagem longa vida (sem refino) | 100% Embalagem longa vida após Refino | 100% OCC pós-refino | 50% Embalagem longa vida/50% OCC pós refino |
|--|---|---|---------------------------|--|
| Determinação de Resistência à drenagem, ° SR | 16 | 32 | 29 | 29 |
| Gramatura, g/m ² | 123 | 123 | 122 | 121 |
| Espessura, mm | 0.275 | 0.239 | 0.247 | 0.237 |
| Densidade Aparente, g/cm ³ | 0.448 | 0.516 | 0.494 | 0.512 |
| Volume Específico, cm ³ /g | 2.23 | 1.94 | 2.02 | 1.96 |
| Índice de Tração, N.m/g | 29.39 | 49.67 | 39.41 | 50.20 |
| Alongamento, % | 1.63 | 2.24 | 1.61 | 2.38 |
| Energia Absorvida na Tração, J/m ² | 40.90 | 89.90 | 49.10 | 95.60 |
| Índice de Arrebatamento, kPam ² /g | 1.92 | 3.88 | 2.63 | 3.34 |
| Índice de Rasgo, mNm ² /g | 15.54 | 18.21 | 13.53 | 16.04 |
| Resistência à Flexão Taber, mNm | 1.29 | 1.41 | 1.28 | 1.42 |
| Determinação da resistência ao esmagamento de anel- RCT, kN/m | 0.82 | 1.20 | 1.21 | 1.20 |
| Determinação da Resistência à Compressão em aparelho Concora- CMT, N | 111.70 | 225.80 | 197.43 | 208.30 |

NEVES (2004) cita aplicações do polietileno com alumínio para uso em processos de extrusão, injeção e rotomoldagem. A tabela 4 mostra as propriedades dos pellets produzidos a partir da extrusão do polietileno & Alumínio obtidos no processo de reciclagem das embalagens longa vida.

PROPRIEDADES DAS PLACAS E TELHAS

CERQUEIRA (2003) realizou uma série de testes para estudo da resistência de placas e telhas onde avaliou dados de resistência mecânica e as comparou com similares do mercado apresentado várias vantagens. As tabelas 5 e 6 mostram os resultados obtidos para placas e telhas respectivamente. CERQUEIRA (2002) determinou também o índice de propagação de chamas das telhas e placas, obtendo como resultado a classificação no limite inferior da classe D. Esta determinação teve como base a NBR 9442/86 que classifica os materiais de acordo com o índice de propagação de chamas em cinco classes, sendo os que menos propagam classificados como classe A e os que mais propagam classificados como classe E, desta forma pode-se dizer que o material é medianamente auto-extinguível

TABELA 4 – Propriedades dos Pellets produzidos com Polietileno & Alumínio proveniente de Reciclagem de Embalagens Longa vida

| PROPRIEDADES | VALOR | UNIDADES | MÉTODO ASTM |
|--|-----------------------|-------------------|-------------|
| Temp. inicial de degradação térmica | 245 | °C | E-1641 |
| Temp. inicial de degradação termooxidativa | 229 | °C | E-1641 |
| Temperatura de fusão | 109 | °C | D-3418 |
| Temperatura de Cristalização | 92 | °C | D-3418 |
| Calor de Fusão | 154,7 | J/g | D-3418 |
| Calor de Cristalização | 154,9 | J/g | D-3418 |
| Fração Cristalina | 53 | % | D-3418 |
| Tensão na Ruptura | 10,97 | MPa | D-638 |
| Deformação na Ruptura | 38,86 | % | D-638 |
| Módulo Elástico | 177,6 | MPa | D-638 |
| Resistência ao Impacto Izod | 302 | MPa | D-256 |
| Condutividade Elétrica | $1,11 \times 10^{-8}$ | S/cm | D-257 |
| Índice de Fluidez | 3,87 | g/10min | D-1238 |
| Massa Específica | 0,90 | g/cm ³ | D-1505 |

FONTE : Felisberti & Lopes (1999)

TABELA 5: Resistência à Tração, Resistência à Flexão e Absorção de Água das Placas Recicladas

| ENSAIOS | | RESULTADOS OBTIDOS | |
|----------------------|---------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Resistência à Tração | Média | <i>Tensão na Ruptura (MPa)</i> | <i>Alongamento na Ruptura (MPa)</i> |
| | Desvio Padrão | 7,62 | 4,2 |
| | | 0,49 | 0,84 |
| Resistência à Flexão | Média | <i>Tensão na Ruptura (MPa)</i> | |
| | | 15,1 | |
| | Desvio Padrão | 1,4 | |
| Absorção de Água | Média | <i>Absorção de água (%)</i> | |
| | | 5,3 | |
| | Desvio Padrão | 1,2 | |

Fonte: CERQUEIRA (2002)

Com relação aos ensaios de Resistência à Tração, Flexão e absorção de água, os resultados obtidos foram muito superiores aos valores de mercado para telhas de fibrocimento, já que o material plástico é mais elástico. A tabela 7 mostra os valores referenciais para telhas encontradas no mercado. FERREIRA (2003) ensaiou placas do material para avaliar a degradação por luz ultravioleta. Em ensaio realizado com 2000 horas, o resultado obtido foi a perda de 30% da resistência à tração que passou de 10 KPa para 7,15 KPa e 63% no módulo de Deformação que passou de 891,7 MPa para 330,5 MPa. Como os demais testes mostraram resultados muito próximos para placas e telhas, pode-se dizer que a telha produzida a partir de polietileno & Alumínio mesmo após 2000 horas sob efeito de luz ultravioleta ainda terá resistência acima das similares no mercado. Testes recentes foram realizados com degradação acelerada com 5000 horas mostraram comportamento similar, mantendo-se a resistência à tração muito superior ao referenciado pela norma NBR 7581 para telha ondulada de fibrocimento.

TABELA 6: Resistência à Tração, Resistência à Flexão e Absorção de Água das Telhas Recicladas

| ENSAIOS | | RESULTADOS OBTIDOS | |
|-----------------------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------------------|
| Resistência à Tração | Média | Tensão na Ruptura (MPa) | Alongamento na Ruptura (MPa) |
| | Desvio Padrão | 7,58 | 4,2 |
| | | 0,49 | 0,98 |
| Resistência à Flexão | Média | Tensão na Ruptura (MPa) | |
| | Desvio Padrão | 15,1 | |
| | | 2,0 | |
| Absorção de Água | Média | Absorção de água (%) | |
| | Desvio Padrão | 6,5 | |
| | | 2,5 | |

Fonte: CERQUEIRA (2002)

TABELA 7 . Comparativo entre telhas de fibrocimento e plástico/alumínio

| ENSAIOS | Parâmetros para telha de fibrocimento | Resultados Obtidos para telhas de plástico/alumínio |
|--|--|--|
| Resistência à flexão ^[A] (N/m) | 4 x 10³ | 7,63 x 10⁶ |
| Absorção de Água (%) | 37 | 6,5 |

^[A] Newton por metro de largura por telha.

Fonte: CERQUEIRA (2002)

CONCLUSÃO

A instalação de planta em pequena escala para reciclar embalagens longa vida tem se mostrado viável do ponto de vista técnico, apresentando matérias-primas e produtos de excelente qualidade e aceitação no mercado. Do ponto de vista econômico, a instalação da etapa de separação da polpa celulósica tem se mostrado mais interessante em localidades onde não há indústrias de papel utilizando as embalagens como matéria-prima. A planta tem como ponto positivo o circuito fechado de água, sendo que os únicos rejeitos gerados são sólidos e inertes.

As propriedades da polpa celulósica obtida atende aos padrões de mercado e dependendo do tipo de produto contribui para o incremento de resistência, por se tratar de polpa de primeira reciclagem.

As propriedades da telha e das placas produzidas com o plástico & Alumínio atendem as exigências de mercado e a resistência mecânica e absorção de água são superiores ao referendado pela norma NBR 7581 para telhas onduladas de fibrocimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. NEVES, F.L. (2004) “ Novos desenvolvimentos para reciclagem de embalagens longa vida” . Outubro, 2004. São Paulo. 37º Congresso Internacional de Celulose e Papel. Anais.
2. NEVES, F.L. (1999)“Reciclagem de Embalagens Cartonadas Tetra Pak”. O Papel fev,1999 (p.38-45).
3. FELISBERTI, M.I & LOPES, C.M.A (1999). “Caracterização do Compósito Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)- Alumínio Proveniente de Reciclagem de Embalagem Multicamada Tetra Pak”.Relatório Técnico. Unicamp.
4. NEVES, F.L & NEVES, J.M (2001) “Efeito da Reciclagem nas Características Físico-mecânicas de Cartões Multifolhados, obtidos a partir de Embalagens Longa Vida”. O Papel Outubro,2001 (p.93-102).
5. NEVES,F.L. & ZUBEN, F.J. (2003) “Recycling of Aluminum and Polyethylene from Tetra Pak Carton Packages as Plastic Composite” . GPEC 2003- Global Pastics Environmental Conclil – fev, 2003. Detroit- USA (p.371-378). Proceeding Book.
6. CERQUEIRA, M. (2002) “Placas y Tejas producidas a partir del reciclado del Polietileno/Alumínio presentes en los embalajes Tetra Pak” , Tecnología y Construcción vol 18- 3, p.47-51, Instituto de Desarrollo Experimental de la construcción/IDEC. Facultad de Arquitectura y Urbanismo – Universidad Central de Venezuela.
7. ABREU,M. (2002) “Reciclagem de Embalagens Cartonadas Tetra Pak para Alimentos Líquidos”. O Papel, p. 91-96, Abril, 2002.
8. FERREIRA, O.P.(2003) “ Relatório do Ensaio em placa de material compósito executado com aparas de embalagens de produtos alimentícios”. Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Arquitetura e Urbanismo, laudo datado de 13/01/2003.
9. Relatório de Ensaio (2005) – CCDM – Centro de Caracterização e Desenvolvimento de Materiais – UFSCar/UNESP. Relatório técnico de envelhecimento de placas e telhas recicladas.