

BANCOS DE JARDIM E REVESTIMENTOS DE PISOS CONSTRUÍDOS COM PLACAS FABRICADAS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE UMA INDÚSTRIA DE PAPEL RECICLADO – ASPECTOS TECNOLÓGICOS E AMBIENTAIS

Ivone Gohr Pinheiro¹, José Alexandre Borges Valle², Jaqueline Lira³ e Márcio Pelegrini⁴

Resumo: Os resíduos sólidos de uma indústria de papel reciclado foram aproveitados para fabricar placas com as quais se construíram dois bancos de jardim e duas aplicações como piso. Analisou-se a resposta do material nas aplicações no que diz respeito à lixiviação de ferro, cianetos, óleos e graxas, aos aspectos de resistência mecânica (módulo de ruptura e de elasticidade) e às espessuras e flecha de deformação das placas. As espessuras das placas dos bancos, praticamente, não variaram, enquanto a flecha de deformação apresentou, em média, um valor de 2,5 e 1,8 cm para o banco externo e interno, respectivamente. A média do módulo de ruptura das placas novas foi sensivelmente superior ao das placas usadas, tendência esta que foi seguida pelo módulo de elasticidade. O ensaio de lixiviação nas placas mostrou que a concentração de cianeto e óleos e graxas diminui significativamente quando comparada com a dos resíduos sólidos, enquanto a do ferro, embora tenha diminuído também, foi menos significativo, e não se verificou para o caso de uma amostra. O aproveitamento dos resíduos mostra-se viável, preferencialmente em situações com menor solicitação à flexão, observando-se que se podem trazer melhorias neste aspecto através do próprio processo de fabricação das placas e que a quantidade de ferro pode ser praticamente eliminada se os metais forem retirados dos resíduos por separação magnética.

Palavras-chave: Resíduo sólido de indústria de papel. Valoração de resíduos sólidos. Lixiviação. Resistência mecânica.

1 Introdução

O gerenciamento dos resíduos é atualmente um dos principais desafios vivenciados pelas indústrias brasileiras (TEC HOJE, 2008), uma vez que quase toda atividade industrial gera resíduos que requerem uma disposição ou tratamento adequado (ROCHE, 2008).

O aproveitamento dos resíduos industriais de maneira que eles possam servir de matéria-prima, além de lhes atribuir valor, evita que eles contribuam, por um lado, para esgotar os aterros sanitários e, de outro, para diminuir a necessidade da extração de matéria-prima virgem. Várias pesquisas têm sido realizadas com o objetivo de aproveitar e valorar diferentes resíduos industriais aplicados em diferentes áreas.

Como os resíduos sólidos em foco neste trabalho são aqueles procedentes de uma indústria de papel reciclado que conforme Pelegrini, Gohr Pinheiro e Valle (2005), possuem

uma característica polimérica, descrevem-se a seguir algumas pesquisas a eles relacionadas.

O desenvolvimento de pesquisas sobre a reciclagem de polímeros tem permitido detectar características de inovação bastante surpreendentes, associadas às vantagens bem conhecidas da recuperação do material reciclado (MANO, 1994). Esses polímeros podem ser reciclados em aplicações de longa vida útil, como pavimentação, madeira plástica, construção civil, plasticultura, indústria automobilística e eletroeletrônica, etc. (SPINACÉ; PAOLI, 2005).

Breslin et al. (1998) pesquisaram, ao longo do tempo, as propriedades tecnológicas, de madeiras plásticas utilizadas na construção de docas marinhas. A matéria-prima utilizada na fabricação da madeira plástica foram materiais poliméricos pós-consumo coletados pelo serviço municipal. O material foi manufaturado por extrusão e as peças foram montadas na confecção da doca de forma convencional. Os autores concluíram que a “madeira plástica”, em função da significativa variação do módulo de

¹ Programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental – FURB - Rua São Paulo, 3250 – Bairro Itoupava Seca - Blumenau – CEP 89012-900. E-mail: ivonegp@furb.br

² E-mail: alex@furb.br

³ E-mail: jaquelira@yahoo.com.br

⁴ E-mail: marciopeligrini@hotmail.com.

elasticidade ao longo do tempo, somente deve ser aplicada em situações que submetam o material a pouca carga mecânica.

Na pesquisa de Cerqueira (2008) mostra-se que, com a reciclagem, do polietileno/alumínio presentes nas embalagens tetra pak, podem ser fabricadas placas e telhas que têm sido empregadas como matéria prima alternativa para a indústria moveleira e para a da construção civil.

Além do aproveitamento dos polímeros, muitas pesquisas têm sido desenvolvidas visando a aproveitar resíduos sólidos que possuem em sua constituição polímeros, mas misturados com outros materiais constituintes. Outros estudos há também que se desenvolvem sobre compósitos de polímeros com diferentes tipos de materiais, que não se encontram nos resíduos, mas que são incorporados na matriz polimérica a fim de lhes atribuir certas propriedades em função do objetivo final para o compósito.

Maciel (2004) e Luz et al. (2006) pesquisaram, respectivamente, a mistura de partículas de madeira com polietileno tereftalato para fabricação de painéis e a mistura de celulose de bagaço e palha de cana de açúcar com polipropileno. Ainda dentro deste campo de pesquisas, Finkler et al. (2005) pesquisaram as propriedades mecânicas de compósitos fabricados com resíduos de HDPE (polietileno de alta densidade) e resíduos de fibras têxteis.

Selke e Wichman (2004) estudaram compósitos contendo plásticos reciclados e fibras de madeira ou mistura de polímeros com diferentes tipos de fibras, inclusive de madeira reciclada. Além disso, estudaram o uso de aditivos, verificando que eles aumentam a adesão entre as fibras de reforço e a matriz polimérica, levando a uma melhor performance do compósito.

Pelegrini (2006) estudou o aproveitamento dos resíduos sólidos de uma indústria de papel reciclado que utiliza como matéria-prima as aparas do tipo Ondulado II. Esses resíduos são constituídos, em média, pelas seguintes classes: 86,52 de polímeros, 1,98 de elásticos, 1,90 de agregados, 3,40 de metálicos, 0,10 de vidros, 1,58 de tecidos e 4,51% de outros materiais (Pelegrini; Gohr Pinheiro; Valle, 2005). Com esses resíduos sólidos foram fabricadas placas que tiveram o seu desempenho tecnológico avaliado. Como os resultados se mostraram favoráveis, visou-se a encontrar aplicações para estas placas fabricadas com os resíduos sólidos.

O objetivo desta pesquisa foi, então, de avaliar o desempenho tecnológico e ambiental das placas fabricadas com resíduos sólidos durante e após a sua utilização em bancos de jardim e revestimentos de pisos.

2 Material e métodos

A descrição de material e métodos foi dividida a fim de contemplar o estudo desde o processo de fabricação das placas, construção e instalação das aplicações até os ensaios realizados nessas últimas. Cabe salientar que os ensaios realizados após o uso das placas utilizaram apenas as placas retiradas dos bancos, pois as utilizadas em revestimento de piso foram fixadas e serviram para avaliações qualitativas no que diz respeito ao desgaste por abrasão.

2.1 Processo de fabricação das placas

O processo escolhido para fabricar as placas a partir dos resíduos sólidos foi um termo-mecânico, visto que os resíduos sólidos são constituídos em grande parte por materiais poliméricos que contêm algumas impurezas como, metal, vidro, madeira, barbantes, pedras e areia, conforme descrito em Pelegrini, Gohr Pinheiro e Valle (2005).

Resumidamente o resíduo sólido era posto dentro de um molde de aço inox, prensado (aproximadamente 4,6 kgf/cm²) e aquecido (150°C). O tempo de duração para a confecção das placas foi de, aproximadamente, três horas, sendo que para se desmoldar as placas foi necessário esperar mais 3 horas para que a placa resfriasse. A fim de aperfeiçoar a qualidade das placas, a pressão foi mantida por mais uma hora depois de terem sido desligadas as resistências, caracterizando uma mudança no processo descrito na dissertação de Pelegrini (2006).

A Figura 1 apresenta a prensa usada na confecção das placas e uma descrição mais completa do processo de fabricação das placas encontra-se em Pelegrini (2006).

À medida que as placas eram fabricadas, também recebiam um número de controle seqüencial e devida avaliação segundo alguns aspectos como cor, espessura, massa específica e quantidade de resíduo utilizada. Efetuadas as devidas anotações sobre as características físicas da placa, elas eram enviadas para a marcenaria onde suas bordas foram lixadas, melhorando o seu acabamento.

No total fabricaram-se 35 placas, de dimensões de 0,300 x 0,350 x 0,009 m, sendo que 14 foram utilizadas para fabricar os bancos e 14 nas aplicações como piso, enquanto quatro delas foram encaminhadas para os diferentes ensaios no Instituto de Pesquisas Tecnológicas de Blumenau, pertencente a Universidade Regional de Blumenau - FURB e, as outras 3 guardadas como reserva.



Figura 1 – Prensa experimental e molde utilizados na fabricação das placas de resíduo sólido

2.2 As aplicações – os bancos de jardim e as placas de piso

Todos os lugares escolhidos para as aplicações das placas se encontram no Campus II da FURB. Uma vez escolhido o tipo de aplicação, banco de jardim e piso, objetivou-se avaliar as condições de intemperismo e de utilização sobre o material. Em consequência, instalaram-se dois bancos e dois revestimentos de piso, um conjunto - banco e revestimento de piso -exposto ao intemperismo e outro não exposto ao intemperismo, em locais de grande utilização.

A proposta era a construção de dois bancos de jardim, utilizando as placas confeccionadas a partir de resíduos sólidos da fabricação de papel reciclado. Entretanto, em vista da dificuldade da construção de um banco novo que deixasse a placa livre para sofrer eventuais deformações, foram usados dois bancos já construídos, que serviram de base para se fixar as placas fabricadas com os resíduos. A escolha de um banco já construído visou a uma maior praticidade, custo financeiro e segurança, já que o principal objetivo do projeto era a avaliação da placa e não a construção de um banco propriamente dito. Os dois bancos eram iguais, com base de concreto, encosto de madeira e comprimento de 1,95 metros, cuja dimensão solicitou, então, seis placas e meia para preencher todo o seu assento (Figuras 2a e 2b).

Dois sarrafos de madeira foram parafusados no assento do banco, um na frente e outro atrás, beirando as extremidades do assento sobre as quais as placas, por sua vez, foram fixadas. A finalidade do uso dos sarrafos foi a de possibilitar a flexão das placas de acordo com os esforços aos quais elas seriam submetidas quando de seu uso.

As placas destinadas aos revestimentos de piso não exposto ao intemperismo foram instaladas na entrada da biblioteca e as expostas

ao intemperismo, no pátio da cantina. Nos dois casos as placas foram fixadas ao chão com argamassa. A instalação das placas na entrada da biblioteca solicitou dez placas a fim de garantir uma aplicação segura aos usuários. Já as placas expostas ao intemperismo, localizadas no pátio da cantina, substituíram algumas lajotas de concreto. O processo consistiu em retirar quatro lajotas de concreto e substituí-las pelas placas que foram recortadas nas dimensões e formas das lajotas precedentes para se encaixarem perfeitamente (Figuras 2c e 2d).

2.3 Massa específica dos resíduos e das placas

A massa específica dos resíduos sólidos foi determinada pela importância de se poder avaliar a redução de volume quando eles fossem utilizados como matéria-prima na confecção de placas, uma vez que o processo submete o material à compactação. Dez amostragens foram realizadas dispondo os resíduos em um recipiente de 2 L de forma similar àquela de quando esses resíduos seriam dispostos sem sofrer compactação.

A massa específica de 14 placas, destinadas aos bancos de jardins, foi determinada usando uma balança hidrostática.

2.4 Espessura e flecha de deformação das placas - medidas empíricas

As espessuras e flechas de deformação foram medidas mensalmente nas 14 placas após a instalação delas nos bancos de jardim. As espessuras foram medidas com um paquímetro em seis partes de cada placa, na parte anterior e posterior a 5 cm, 15 cm e 25 cm de um dos cantos da placa a fim de uma melhor observação, conforme a Figura 2. As medidas das espessuras das placas foram realizadas de dezembro de 2007 até junho de 2008.

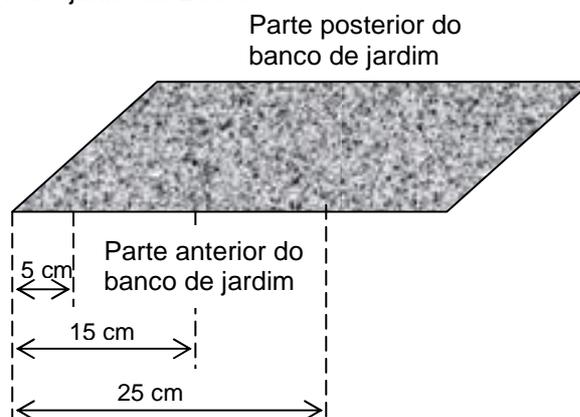


Figura 2 – Esquema representativo das medidas de espessura realizadas em uma placa.

A flecha de deformação foi medida na região central das placas utilizando-se uma fita métrica e régua, sendo estas medidas realizadas entre os meses de janeiro e junho de 2008.

2.5 Ensaios de lixiviação e resistência mecânica das placas

Após o período de 7 meses de exposição das placas, realizaram-se ensaios de lixiviação e de resistência mecânica nas placas novas e usadas a fim de comparação. Os ensaios de lixiviação foram realizados segundo a norma NBR 10005 (ABNT, 2004). Para este ensaio foram selecionadas duas placas usadas e duas placas novas, todas escolhidas aleatoriamente. As placas usadas foram coletadas do banco externo exposto ao intemperismo, levando-se em conta a condição (submetida ao intemperismo ou não) que favoreceria uma maior variação e, conseqüentemente, favoreceria a análise do processo de lixiviação. Em seguida elas foram trituradas a fim de passarem na peneira de 9,5 mm de acordo com a NBR 10005 (ABNT, 2004) gerando uma amostra de mais ou menos 50 g que foi enviada para o IPTB para serem ensaiadas.

Os ensaios de resistência mecânica analisaram o módulo de ruptura e o módulo de

elasticidade das placas novas e usadas também. As análises foram realizadas nas placas de acordo com a norma ASTM D – 1037 (2001). De duas placas retiraram-se duas amostras de 35 x 5 cm, totalizando quatro amostras de placas novas e quatro de placas usadas, sendo duas destas últimas retiradas do banco externo e duas do banco interno, sendo em seguida todas enviadas para o IPTB para serem ensaiadas.

3 Resultados e discussão

Os resultados são apresentados divididos de forma a caracterizar os resíduos e as placas bem como a comparação dos resultados dos ensaios realizados nas placas obtidos antes e depois que estas foram utilizadas nas aplicações de bancos de jardim e revestimento de piso.

3.1 As placas e suas aplicações

Na Figura 3 (a, b, c e d) visualizam-se os dois bancos de jardim prontos e os revestimentos de piso em frente à biblioteca e no piso da cantina do Campus II da FURB, submetidos e protegidos do intemperismo, respectivamente, imediatamente após a sua instalação.

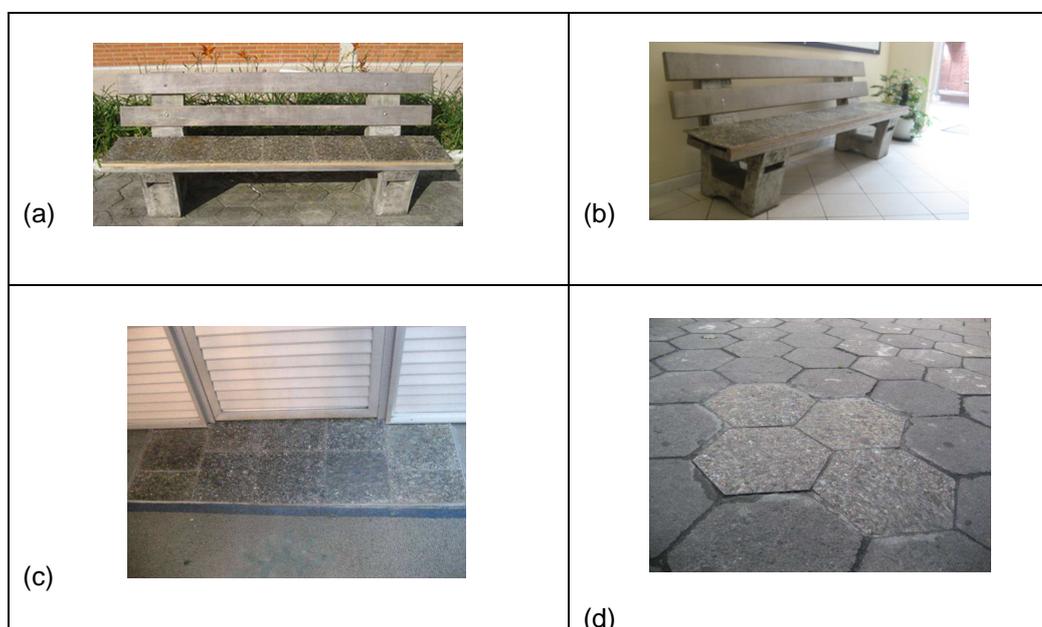


Figura 3 – a) Banco exposto ao intemperismo, b) Banco não exposto ao intemperismo, c) revestimento de piso exposto ao intemperismo, d) revestimento de piso não exposto ao intemperismo, e) revestimento de piso não exposto ao intemperismo após 1 ano de uso.

A observação contínua das placas que compõem o piso na entrada da biblioteca não revelou, por inspeção visual, nenhum desgaste por abrasão. As placas que revestem o piso submetido ao

intemperismo se soltaram, não apresentando, entretanto, também, nenhum tipo de desgaste. As placas do banco submetido ao intemperismo apresentaram alteração de cor, fato este que

pode ser associado ao fato de elas estarem recebendo radiação UV e se comporem, basicamente, de material polimérico.

3.2 Massa específica dos resíduos e das placas

A Tabela 1 apresenta as massas específicas dos resíduos sólidos e das placas. Os valores encontrados tiveram uma significativa dispersão, podendo esta ter sido causada pela forma de acomodação dos resíduos sólidos no

recipiente e por variação da umidade. O valor médio da massa específica do resíduo foi de 60,70 kg/m³.

Verifica-se que são necessários 19,4 m³ de resíduos sólidos para a construção de 1 m³ de placa. Observa-se uma redução de aproximadamente 95% do volume, sendo que o volume final que o resíduo ocupa na placa, após o processo de prensagem à quente, será de 5% do volume inicial do resíduo sem aproveitamento e que teria, então, que ter um destino adequado como um aterro industrial.

Tabela 1 – Massa específica do resíduo e das placas de resíduos.

Número da amostra	Massa específica (kg/m ³)	
	Resíduo	Placa
1	52,50	1150
2	58,24	1260
3	48,61	1110
4	72,82	1080
5	71,10	1250
6	72,13	1280
7	56,50	1120
8	53,74	1140
9	55,58	1150
10	65,73	1270
11	-	1150
Média	60,70	1178
Desvio padrão	8,96	72

3.3 Espessuras e flecha de deformação dos bancos de jardim

As medidas das espessuras das placas foram acompanhadas de dezembro de 2007 até junho de 2008. Na Tabela 2 apresentam-se a média e o desvio padrão de cada um dos seis pontos de medida para o caso das placas com menor e maior variação, tanto para o banco externo quanto para o interno.

Através da análise dos desvios-padrão, pode-se perceber que tanto as placas do banco de jardim interno quanto às do externo mantiveram suas espessuras aproximadamente constantes. Mesmo as placas do banco exposto ao intemperismo não incharam no decorrer dos meses, caracterizando que as placas apresentam

uma impermeabilidade muito boa, não absorvendo facilmente água.

No que dizem respeito à flecha, os resultados mostraram uma expressiva deformação como mostram as tabelas 3 e 4, cujas medidas foram realizadas entre os meses de janeiro e junho de 2008. Os valores das flechas medidas nas placas do banco externo foram maiores que os do interno, variando entre 0,9 e 1,1 cm, enquanto os do banco interno variaram entre 0,5 e 0,6 cm. Observa-se, também, que a maior deformação foi detectada na primeira medida, tendência esta que aparece em cada uma das placas e, tanto no banco exposto ao intemperismo quanto no outro.

Uma das causas para esse valor das flechas das placas pode ter sido a própria fabricação das

placas. Utilizando-se uma maior pressão seria possível aumentar a resistência delas, mas isso era inviável devido ao limite de segurança do

sistema pneumático da prensa, além do que um aumento da pressão iria causar transbordamentos de material no molde da placa.

Tabela 2 – Média e desvio padrão dos valores da espessura de cada um dos seis pontos de medida para o caso das placas com menor e maior variação, tanto para o banco externo quanto para o interno.

			LOCAL DE MEDIDA					
			Parte anterior			Parte posterior		
			1° (5 cm)	2° (15 cm)	3° (25 cm)	4° (5 cm)	5° (15 cm)	6° (25 cm)
Banco sujeito ao intemperismo	Placa com maior variação	Média (cm)	1,20	1,18	1,27	0,94	0,92	0,87
		Desvio padrão (cm)	0,02	0,03	0,24	0,17	0,15	0,06
	Placa com menor variação	Média (cm)	0,91	0,87	0,88	0,97	0,93	1,01
		Desvio padrão (cm)	0,06	0,01	0,05	0,04	0,03	0,06
Banco não sujeito ao intemperismo	Placa com maior variação	Média (cm)	0,97	0,89	1,01	0,72	0,67	0,70
		Desvio padrão (cm)	0,02	0,04	0,01	0,08	0,06	0,08
	Placa com menor variação	Média (cm)	0,97	0,89	1,01	0,72	0,67	0,70
		Desvio padrão (cm)	0,02	0,01	0,04	0,07	0,05	0,03

Tabela 3 – Medida empírica da flecha de deformação do banco exposto ao intemperismo

Flecha (cm)	Mês	Número da amostra						
		1	2	3	4	5	6	7
	Janeiro	1,4	1,3	1,3	1,8	1,5	1,4	1,0
Março	2,2	2,2	2,1	2,8	2,3	1,5	-	
Abril	2,4	2,3	2,4	2,8	2,5	2,3	-	
Mai	2,3	2,3	2,2	2,8	2,3	2,1	-	
Junho	2,4	2,3	2,2	2,9	2,6	2,3		
	Varição Absoluta (cm)	1,0	1,0	0,9	1,1	1,1	0,9	

Tabela 4 – Medida empírica da flecha de deformação no banco não exposto ao intemperismo

Flecha (cm)	Mês	Número da amostra						
		1	2	3	4	5	6	7
	Janeiro	1,1	1,4	1,4	1,2	1,3	1,4	1,2
Março	1,5	1,6	1,7	1,6	1,6	1,8	1,8	
Abril	1,6	1,9	1,7	1,7	1,7	1,9	1,6	
Mai	1,6	1,9	1,9	1,8	1,9	2,0	1,9	
Junho	1,7	1,9	1,9	1,8	1,9	1,9	1,8	
	Varição Absoluta (cm)	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6

3.4 Ensaios de resistência mecânica

Na Tabela 5 apresentam-se os valores do módulo de ruptura e do módulo de elasticidade obtidos através dos ensaios realizados nos IPTB da FURB. Observa-se que os resultados obtidos com as placas usadas são sensivelmente menores do que os das placas novas. Uma justificativa está vinculada aos altos valores das flechas nas placas além de fissuras já apresentadas pelo material quando os ensaios foram realizados após o período de 7 meses de uso das aplicações.

O módulo de ruptura das placas novas, como se pode observar na Tabela 7, foi, em

média, de 6,80 MPa, enquanto o das placas usadas foi de 1,80 MPa. Observa-se, também, no módulo de elasticidade, uma expressiva diferença entre as placas novas e usadas. Para as placas novas, a média foi de 744,45 MPa e, nas usadas de 115,03 MPa.

Uma comparação entre os resultados obtidos com as placas do banco interno com as do banco externo mostra a ação do intemperismo sobre as placas, fornecendo valores, tanto para o módulo de ruptura quanto para o de elasticidade, sensivelmente menores para as placas que se encontravam no banco submetido ao intemperismo.

Tabela 5 – Resultados sobre a rigidez das placas

<i>PLACA</i>	<i>MÓDULO DE RUPTURA (MPa)</i>	<i>MÓDULO DE ELASTICIDADE (MPa)</i>
Nova 1 – A	6,01	690,8
Nova 1 – B	5,51	709,8
Nova 2 – A	8,49	932,9
Nova 2 – B	7,19	644,3
Banco interno - A	1,78	124,3
Banco Interno - B	3,71	242,6
Banco Externo – A	1,18	62,0
Banco Externo - B	0,54	31,2

3.5 Lixiviação sobre as placas

Os resultados do ensaio de lixiviação realizado sobre as placas usadas e novas irão ser comparados com os do ensaio de lixiviação realizado sobre o próprio resíduo. Analisaram-se três elementos/substâncias, cianetos, óleos e graxas, e ferro, visto que eles excederam os limites estabelecidos pela norma no extrato solubilizado do resíduo no caso dos cianetos e ferro (PELEGRINI, 2006) e/ou devido ao fato de trazerem o comprometimento do uso do material.

A lixiviação de óleos e graxas e do ferro pode causar manchas nas roupas do usuário. A seguir, nas tabelas 6 e 7, encontram-se os resultados do extrato lixiviado dos resíduos sólidos e das placas, respectivamente, no que diz respeito ao cianeto, óleos e graxas e ferro.

A quantidade de cianetos no extrato lixiviado das placas diminui significativamente, em torno de 95%, não se observando uma grande variação dos valores encontrados, quando se comparam os das placas novas com os das usadas.

Tabela 6 – Resultados do ensaio de lixiviação - Resíduo

<i>Ensaio</i>	<i>Unidade</i>	<i>Limite Máximo</i>	RESULTADO
Cianeto	mg/L	#	0,11
Ferro	mg/L	#	107,54
Óleos e graxas	mg/L	#	10,0

Fonte: Pelegrini (2006)

Tabela 7 - Resultados do ensaio de lixiviação nas placas

<i>Ensaio</i>	<i>Unidade</i>	<i>Limite Máximo</i>	<i>Placas</i>	<i>Resultados</i>
Cianeto	mg/L	#	Nova 1	0,006
			Nova 2	0,009
			Usada 1	0,005
			Usada 2	0,005
Ferro	mg/L	#	Nova 1	63,91
			Nova 2	30,92
			Usada 1	198,69
			Usada 2	82,78
Óleos e graxas	mg/L	#	Nova 1	3,8
			Nova 2	4,2
			Usada 1	1,0
			Usada 2	2,4

Os óleos e graxas apresentaram valores situados em uma faixa compreendida entre 60 e 90% de redução, mostrando uma tendência que, no entanto, já se diferencia daquela do caso dos cianetos. Os resultados obtidos com as placas usadas apresentam valores marcadamente menores do que os das placas novas, podendo sugerir que houve uma lixiviação durante a aplicação das placas no banco de jardim que, cabe lembrar, foram os exposto ao intemperismo.

O resultado da concentração do ferro do extrato lixiviado mostra, como os óleos e graxas, uma diferença de valores entre os obtidos das placas novas e os das placas usadas. Os valores oriundos das placas novas são bem menores do que os dos resíduos e, também, os das placas usadas. O fato de os resultados nas placas usadas serem maiores do que os das placas novas pode ser explicado pelo processo de corrosão dos materiais que originam este ferro, os elementos metálicos como os clips e grampos, podendo ser também dos pigmentos para polímeros (ABIQUIM, 2006, apud PELEGRINI, 2006). Observa-se que os valores apresentam alta variação, encontrando-se, inclusive, o resultado de uma das placas usadas com um valor maior do que o dos resíduos. Esta variabilidade está associada com a homogeneidade da distribuição dos elementos que liberam o ferro junto aos polímeros, que são a maior parte constituinte desses resíduos, quando da colocação do resíduo no molde para a fabricação de cada uma das placas.

4 Considerações finais

A redução de volume do resíduo sólido quando de seu aproveitamento para a fabricação das placas é muito grande, minimizando impactos ambientais negativos provenientes de grandes acúmulos destes se eles fossem dispostos em aterros sanitários.

Os resultados obtidos com as placas utilizadas nos bancos colocaram em evidência

que a espessura das placas praticamente não variou, respondendo à preocupação quanto ao desgaste e deformação da placa, fato este que também foi observado nas placas de revestimento de piso, que não apresentaram desgaste por abrasão.

Os outros resultados foram obtidos com as placas usadas nos bancos, sendo que a flecha de deformação aconteceu, de forma expressiva, no início da utilização do material. As placas de resíduo instaladas no banco submetido ao intemperismo apresentaram variação de cor, que pode estar associada ao fato de elas estarem recebendo radiação UV e se comporem, basicamente, de material polimérico.

Os resultados dos ensaios de resistência mecânica, realizados nas placas usadas nos bancos, sugerem o aproveitamento dos resíduos preferencialmente em situações com menor solicitação à flexão, pois, no caso das placas usadas como revestimento de piso, uma vez estando elas assentadas sobre um contrapiso, não houve problemas. As placas usadas no banco externo apresentaram menor resistência, colocando em evidência que o intemperismo afeta a resistência mecânica.

No que diz respeito aos resultados dos ensaios de lixiviação, observou-se uma diminuição muito significativa da concentração de cianetos no extrato lixiviado das placas em comparação com aquela no extrato lixiviado dos resíduos, sendo que esta diminuição, em menores proporções aconteceu, também, para os óleos e graxas. O resultado da concentração do ferro do extrato lixiviado mostra que os valores oriundos das placas novas são bem menores do que os dos resíduos, como também o das placas usadas. O fato de os resultados nas placas usadas serem maiores do que os das placas novas pode ser explicado pelo processo de corrosão dos materiais metálicos e que a variabilidade nos resultados pode estar associada com a não homogeneidade da distribuição dos elementos que liberam o ferro junto aos polímeros

quando da colocação do resíduo no molde para a fabricação de cada uma das placas.

O aproveitamento desses resíduos mostra-se viável, pois a resistência mecânica das placas pode ser melhorada através do processo de fabricação delas e a quantidade de ferro lixiviada observada pode ser praticamente eliminada se os metais forem retirados dos resíduos, o que pode ser feito por separação magnética. Os óleos e graxas também podem ser tratados, merecendo uma atenção futura.

Outro aspecto importante a ser considerado está relacionado com o fato de estes resíduos serem provenientes das aparas de papéis que servem como matéria-prima para a fabricação de papel reciclado. As aparas de papéis são regulamentadas no Brasil desde 1973, fato este que colabora no sentido da caracterização das aparas e, conseqüentemente, dos resíduos sólidos utilizados nesta pesquisa.

5 Garden benches and coated floors constructed with plates manufactured from solid wastes of an industry of recycled paper – technological and environmental aspects

Abstract: *The solid wastes of recycled paper mill were used to manufacture plates with which were constructed two garden benches and two applications as pavement. It was analyzed the answer of the material in the applications concerning the lixiviation of iron, cyanide, oils and grease, the aspects of mechanical resistance (rupture model and elasticity) and the thickness and deformation bolt plates. The thickness of the benches plates practically did not vary, while the deformation bolt presented a value, in average, of 2,5 and 1,8 cm for the external and internal bench, respectively. The average of the rupture module of the new plates was sensibly superior to the used plates; this tendency was followed by the elasticity module. The lixiviation experiment in the plates showed that the concentration of cyanide, oil and grease decreased significantly when compared with those solid wastes, while the iron, though it also has decreased, it was less significant and it was not verified for one sample. The recovery of the wastes shows to be practicable preferably in situations with less request to the bend observing that the improvement in this aspects through its own process of the manufacturing of plates and that the quantity of iron can be practically eliminated if the metals were withdrawn from the wastes by magnetic separation.*

Key Words: Solid wastes of paper mill. Valuation of solid wastes. Lixiviation. Mechanical resistance.

6 Agradecimentos

Os autores agradecem ao PIBIC/CNPq/FURB, pelo financiamento e pela bolsa do terceiro autor.

7Referências

ABMACO. Projeto Reciclagem de Resíduos Sólidos. 2007. Disponível em:

< http://www.abmaco.org.br/noticias_anteriores_det.cfm?ID=650>. Acesso em: 25 ago. 2008.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials.** In: STANDARDS ON ASTM DISC, v. 04.10 - wood. West Conshohocken : ASTM, 2001. 30p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10.005. **Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos.** Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BRESLIN, V. T.; SENTURK, U.; BERNDT, C. C. Long-term engineering properties of recycled plastic lumber used in pier construction. **Conservation and Recycling.** New York: Resoures, 1998, v. 23, p. 243-258.

CERQUEIRA, M. H. Placas e telhas produzidas a partir da reciclagem do polietileno/alumínio presentes nas embalagens Tetra Pak. Salvador: **A tarde** 2005. Disponível em: <www.atarde.com.br/docs/tecnologia...>. Acesso em: 20 ago. 2008.

FINKLER, M; SCAPINI, P.; FREIRE, E.; ZATTERA, A. J.; ZENI, M. Compósitos de HDPE com resíduos de fibras têxteis. Parte I: caracterização mecânica. **Revista polímeros**, v. 15, n. 3, p. 171-175. São Carlos, jul./set. 2005.

FURTADO, M. Passivo de resíduos supera estimativas. **Revista química e derivados.** n. 412, fev. 2003. Disponível em: <<http://www.quimica.com.br/quimicaederivados.html>>. Acesso em: 10 dez. 2004.

LUZ, S. M.; GONÇALVES, A. R.; DEL'ARCO, A. P. Microestrutura e propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno reforçado com celulose de bagaço e palha de cana. **Revista Matéria**, Rio de Janeiro, v.11, n. 2, pp. 101-110, 2006.

MACIEL, A. S.. Painéis de partículas aglomeradas de madeira "pinus elliottii engelm.", poliestireno (OS) e polietileno tereftalato (PET). **Revista Árvore**, Viçosa, n. 2, v. 28, mar/abr 2004.

MANO, E. B. **Introdução a polímeros**. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1994.

PELEGRINI, M. **Resíduos da utilização de aparas de papel na fabricação de papel reciclado – uma alternativa de aproveitamento**. Blumenau, 2006. (Mestrado em Engenharia Ambiental). Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Regional de Blumenau. 2006.

PELEGRINI, M.; GOHR PINHEIRO, I.; VALLE, J. A. B. Composição dos resíduos sólidos de uma empresa de reciclagem de papel. **Revista de estudos ambientais**, v. 7, n. 2, p. 103-112, 2005.

ROCHE, R. **O barato pode sair caro em sua empresa**. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE

EMPRESAS DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS – ABETRE. Disponível em: <http://www.abetre.org.br/noticia_completa.asp?NOT_COD=1299> Acesso em 25 de ago. 2008.

SELKE, Susan E.; WICHMAN, Indrek. Wood fiber/polyolefin composites. **Composites: Part A**, 35, p. 321–326, 2004.

SPINACÉ, M. A. S.; DE PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química nova**, 2005.

TEC HOJE. Gestão de resíduos sólidos requer mais atenção das indústrias. Disponível em: <http://www.ietec.com.br/ietec/techoje/techoje/noticiasi/ietec/2004/03/19/2004_03_19_0001.2xt/-template_interna>. Acesso em: 20 ago. 2008.