

III-006 – ESTUDO DA INCORPORAÇÃO DE RESÍDUOS DA FABRICAÇÃO DE PÁS EÓLICAS PARA AEROGERADORES EM CIMENTO PORTLAND

Juliana Soares Lisboa⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela UNESP Sorocaba. Coordenadora de projetos da H2O Engenharia.

Marcos Paulo Minussi Bini

Aluno do Curso de graduação em Engenharia Ambiental da UNESP Sorocaba.

Maria Lúcia Pereira Antunes

Física pelo Instituto de Física da USP – S.P. Mestre em Física Nuclear pelo Instituto de Física da USP/SP. Doutora em Ciências pelo Instituto de Física da USP. Professora Assistente Doutora do curso de graduação em Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UNESP de Sorocaba.

Endereço⁽¹⁾: Av. Três de Março, 511 – Alto da Boa Vista - Sorocaba – SP - CEP: 18087-180 - Brasil - Tel: (15) 3238-3409 ramal 3460 - e-mail: jullylisboa@hotmail.com

RESUMO

Os processos industriais geram grandes quantidades de resíduos que causam impacto negativo ao meio ambiente. Muitos desses remanescentes podem ser reciclados ou reutilizados. Desta forma, a reutilização de resíduos por meio de incorporação em cimento Portland representa uma alternativa para diminuir os resíduos das indústrias. A Wobben Windpower Ind. E Com. Ltda., indústria de aerogeradores, em uma das etapas da fabricação de pás eólicas gera por mês de 12000 a 18000 litros de resíduo proveniente das pás eólicas. Parte deste resíduo foi disponibilizada pela Wobben para este trabalho. Para melhor descrever este material realizou-se a caracterização através de análise granulométrica, infravermelho e determinação da densidade. Por meio da confecção de corpos de prova de argamassa com substituição de parte do agregado fino por resíduo realizou-se o processo de incorporação do mesmo. Através dos ensaios de resistência a compressão e de absorção de água conclui-se que os corpos de prova confeccionados para este trabalho com a incorporação de resíduo podem ser utilizados para assentamentos e revestimentos de paredes e tetos uma vez que os limites para a resistência à compressão exigidos pela ABNT foram obedecidos. Portanto a incorporação de resíduo da fabricação de pás eólicas para aerogeradores em cimento Portland pode ser uma alternativa para a sua reutilização na construção civil sem fins estruturais.

PALAVRAS-CHAVE: Incorporação de resíduo, cimento Portland, argamassa, resistência à compressão.

INTRODUÇÃO

Com a intensificação da urbanização e industrialização, o aumento da quantidade de resíduos sólidos nas urbes, aliado ao seu gerenciamento inadequado, tornou-se um problema, fazendo com que o resíduo passasse da condição de remanescente das aglomerações humanas à de problema de saúde e, posteriormente, ameaça ambiental.

Um dos grandes problemas ambientais é o aumento constante da geração de resíduos decorrentes da produção industrial. De acordo com o Inventário de Resíduos Industriais apresentado pela Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) em 1996, o Estado de São Paulo gerou aproximadamente 26.619.677 toneladas de resíduos industriais (1). Esses dados alertam para o fato de que extensas áreas deverão ser destinadas à disposição adequada de resíduos, as quais são consideradas medidas de controle da poluição estruturais. Estas demandam dinheiro, tecnologia, energia e espaço físico (2).

Uma política muito utilizada na tentativa de diminuir a geração de resíduos é conhecida como 3 R's (reduzir, reutilizar e reciclar). Esta deve ser seguida nessa ordem de raciocínio, uma vez que reciclar também é considerada uma medida de controle da poluição estrutural, enquanto reutilizar e reduzir são medidas não estruturais pois não envolvem a execução de obras e são soluções mais baratas (2).

Analisando este cenário nota-se a necessidade de desenvolvimento de mecanismos para a minimização dos impactos gerados pela indústria, buscando-se assim um desenvolvimento sustentável. Desta forma, a

reutilização de resíduos por meio de sua incorporação em cimento Portland representa uma alternativa para diminuir os resíduos finais do setor industrial preservando o meio ambiente. Além de diminuir os custos da indústria, uma vez que a mesma, de acordo com o Decreto-Lei nº 488/85 deve dar um destino correto aos seus resíduos.

A incorporação de resíduos em outros processos produtivos, de uma forma geral, atinge aspectos ambientais, sociais e econômicos, tais como: diminui a criação de novos espaços para disposição de lixo; prolonga a vida útil dos aterros sanitários; reduz o desperdício; reduz os custos da deposição, com o aproveitamento de resíduos pelas indústrias; contribui para mudança de valores e atitudes em relação ao ambiente, incluindo a revisão de hábitos de consumo; mobiliza a sociedade e estimula o espírito da cidadania.

Visando disponibilizar dados para a reutilização de resíduos este trabalho busca a incorporação do mesmo na confecção de argamassa. Tendo em vista a intenção em utilizá-la na construção civil sem fins estruturais para construção de muros, guias, calçadas, revestimentos de fachadas, pisos, tetos, etc. Para tanto foi disponibilizado pela Wobben Windpower Ind. E Com. Ltda., indústria de aerogeradores, parte do resíduo gerado em seu processo produtivo.

A Wobben Windpower Ind. E Com. Ltda., em uma das etapas da fabricação de pás eólicas gera por mês de 12000 a 18000 litros de um resíduo classificado como classe 2. Estes remanescentes resultam em gastos para a empresa e para o meio ambiente, pois demandam espaço físico para sua deposição adequada.

A fabricação da pá eólica se dá através da laminação de grandes moldes que contém entre outros componentes, fibra de vidro, resina epóxi, madeira balsa, espuma PVC e um componente catalisador. Através de mangueiras e por vácuo injeta-se a resina. Por fim realiza-se o acabamento para posterior pintura.

Para a fixação das pás na torre de sustentação são feitos furos na extremidade em que o primeiro terá contato com o segundo (figura 1). As sobras resultantes destes furos foram disponibilizadas pela Wobben e é o resíduo utilizado neste trabalho.

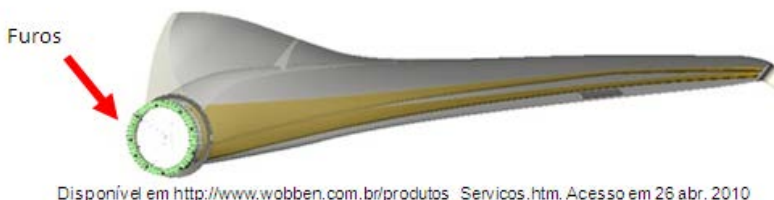


Figura 1: Pá eólica fabricada pela Wobben com os furos para a fixação na torre de sustentação.

O escopo deste trabalho é um estudo da incorporação de resíduos de fabricação de pás eólicas para aerogeradores, como substituto parcial dos agregados finos, na confecção de argamassa. Através de ensaios baseados em normas técnicas avaliou-se o potencial de reutilização deste resíduo na indústria da construção civil sem fins estruturais.

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, utilizou-se o resíduo oriundo dos furos (figura 1) existentes nas pás eólicas realizados em uma das etapas de sua fabricação. Esse resíduo pode conter fibra de vidro, resina epóxi, madeira balsa, espuma PVC entre outros, portanto para melhor descrevê-lo realizou-se a sua caracterização quanto a sua granulometria (NBR 7217/87), densidade e análise por espectroscopia de infravermelho (realizada junto ao Laboratório de plasma tecnológico da UNESP, utilizando um espectrofotômetro Jasco FTIR-410).

Objetivando a incorporação desse resíduo como substituto parcial dos agregados miúdos em argamassa, foram fabricados corpos de prova (CPs) seguindo as normas da ABNT-NBR 5738. Todos os corpos foram desmoldados após 24 horas de sua confecção e foram imersos em água por 28 dias para a cura.

Utilizou-se o traço 3:1, areia e cimento, em relação à massa dos componentes, ou seja, para cada 300 g de areia adicionou-se 100 g de cimento. Na confecção de argamassa com resíduo utilizou-se o mesmo traço, entretanto com a substituição de parte da areia pelo resíduo. Foram fabricados CPs com 5% de resíduo, com 15% de

resíduo, com 50% de resíduo e com 0% de resíduo para servir de referência. Para esses corpos foram realizados ensaios de resistência à compressão e ensaios de absorção de água.

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados utilizando-se uma prensa hidráulica EMIC® do laboratório da Supermix Concreto S/A (Sorocaba). Eles foram realizados de acordo com a ABNT-NBR 7215 após 28 dias de cura.

Os ensaios para a determinação da absorção de água, através de imersão, permitiram determinar o índice de vazios e massa específica de argamassa, conforme a norma ABNT-NBR 9778/87. Estes ensaios foram realizados no laboratório do grupo Natel da UNESP Sorocaba.

RESULTADOS

Os resultados da análise granulométrica do resíduo das pás eólicas estão apresentados na Tabela 1. Observa-se que cerca de 97% da massa do resíduo encontra-se no intervalo granulométrico de 2mm a 75 μ m. A maior parte (36,36%) encontra-se no intervalo de 300 a 150 μ m. Comparando a distribuição granulométrica do resíduo à da areia observamos que ambas são próximos, uma vez que a areia apresenta intervalo granulométrico entre 2,0 mm a 200 μ m (3). Logo em aspectos granulométricos o resíduo pode ser utilizado como agregado fino em substituição a areia para a fabricação de argamassa.

Tabela 1: Distribuição granulométrica percentual do resíduo

Peneira	m ₁ (%)	m ₂ (%)	m ₃ (%)	m média (%)
> 2 mm	1,40	1,53	1,96	1,63 \pm 0,30
2 mm - 425 μ m	22,31	21,43	23,40	22,38 \pm 0,99
425 μ m - 300 μ m	14,41	19,43	16,31	16,71 \pm 2,53
300 μ m - 150 μ m	37,40	36,92	35,05	36,46 \pm 1,24
150 μ m - 75 μ m	20,05	21,49	22,18	21,24 \pm 1,09
< 75 μ m	4,43	1,27	1,10	2,27 \pm 1,88

Determinou-se que a densidade aparente desse resíduo é equivalente a 0,42g/mL, valor inferior a densidade aparente da areia utilizada nos testes (1,54g/mL). De acordo com as densidades o resíduo é aproximadamente três vezes e meia mais leve que a areia utilizada.

No Laboratório de Plasmas Tecnológicos (LaPTec) da UNESP, utilizou-se o espectrofotômetro e com o auxílio do software Ftir obteve-se o espectro de transmitância no infravermelho do resíduo apresentado na figura 2.

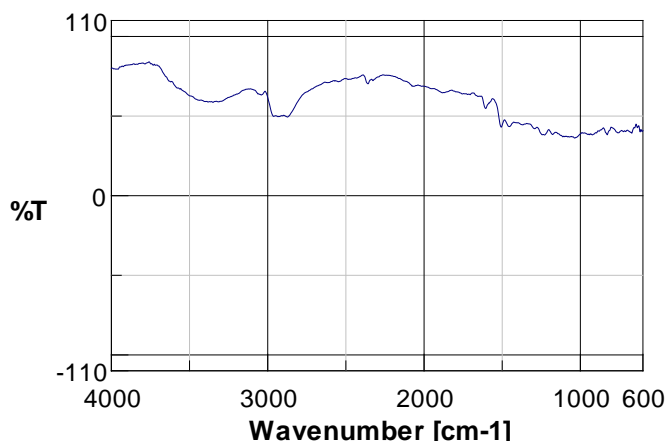


Figura 2: Espectro de transmitância no infravermelho do resíduo analisado.

Analisando-se a o espectro acima identificaram-se 5 grupos funcionais normalmente encontrados em resina epóxi, componente conhecido do resíduo analisado (4).

Os valores para cada ligação não são exatamente os encontrados na literatura normalmente, pois o resíduo se trata de uma mistura, e os outros componentes da mesma podem ter se sobreposto influenciando na leitura do infravermelho. Porém, os valores encontrados são próximos o suficiente para mostrar que a composição predominante é constituída de resina epóxi.

Na incorporação desse resíduo em cimento Portland, observa-se na confecção dos CPs que o resíduo não se misturou muito bem com a água. Quanto maior a porcentagem de resíduo maior foi a dificuldade para atingir o ponto de liga da massa. Durante a desmoldagem os corpos que possuíam 50% de resíduo se romperam (figura 3). Provavelmente a falta de aderência do resíduo aos outros materiais não forneceu a resistência suficiente para que os corpos suportassem a pressão utilizada na desmoldagem. Portanto a possibilidade de estabilizar 50% em massa de resíduo como agregado fino por incorporação em argamassa com o intuito de utilizá-la na construção civil foi descartada.



Figura 3: Corpos com 50% de resíduos após desmoldagem.

Os valores medidos para resistência à compressão (σ) após os 28 dias de cura para os CPs com 5%, 15% e 0% de resíduo estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Média da resistência à compressão

% de Resíduo dos CPs	Média Resistência (MPa)
0	$2,46 \pm 0,25$
5	$2,23 \pm 0,48$
15	$1,40 \pm 0,07$

A diferença entre as médias das resistências à compressão obtidas para os corpos confeccionados com 5% e 15% de resíduo juntamente com a média dos corpos de controles podem ser observadas na figura 4. Notou-se que a resistência à compressão diminuiu conforme aumentou a quantidade de resíduo na confecção da argamassa. Porém os limites de exigências mecânicas e reológicas determinados pela ABNT-NBR 13281, para o ensaio de compressão aos 28 dias de cura (intervalo entre 0,1 e 4,0 MPa) foram atendidos para todos os corpos ensaiados (5).

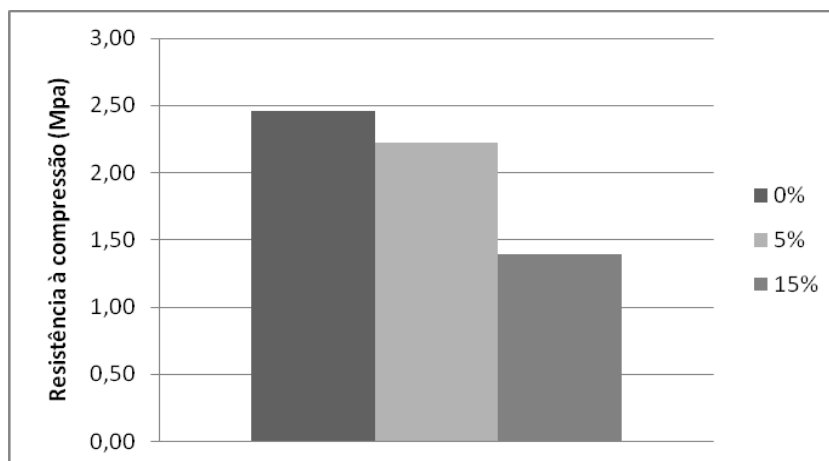


Figura 4: Gráfico de resistência a compressão para o primeiro lote.

Através do ensaio de absorção de foi possível calcular a absorção de água por imersão, o índice de vazios, a massa específica da amostra seca e a massa específica da amostra saturada, valores apresentados na tabela 3.

Tabela 3: Resultados da determinação de absorção de água por imersão

CPs com Resíduo	Absorção (%)	Índice de Vazios (%)	Massa específica seca	Massa específica saturada
0%	11,27	19,90	1,76	1,96
5%	14,13	23,43	1,66	1,89
15%	21,57	31,49	1,46	1,77

Os CPs apresentaram um aumento de absorção de água conforme aumentou a quantidade de resíduo incorporada à argamassa, indicando que a porosidade nos CPs com mais resíduo é maior. O mesmo pode ser observado com os valores dos índices de vazios das amostras. A argamassa sem resíduo, utilizada como referência, apresentou o menor índice de vazios e porcentagem de absorção de água. A incorporação do resíduo produz um material com maior capacidade de absorção de água, possibilitando que se use essa argamassa para materiais com essa função.

CONCLUSÕES

Através da caracterização do resíduo proveniente de aerogeradores fabricados pela Wobben por meio de análise granulométrica e determinação da densidade conclui-se que o material analisado possui distribuição granulométrica semelhante à da areia, entretanto apresenta densidade relativa aproximadamente três vezes e meia menor que a densidade relativa da areia utilizada. Em relação à espectroscopia de absorção no infravermelho conclui-se que a amostra de resíduo analisada apresenta cinco grupos funcionais normalmente encontrados em resina epóxi.

De acordo com os corpos de prova de argamassa confeccionados com resíduo conclui-se que a incorporação de 50% de resíduo em relação à massa não é uma alternativa viável uma vez que diminui a resistência à compressão dos corpos de prova de modo a inutilizar o seu aproveitamento na construção civil mesmo para fins não estruturais.

Comparando os ensaios de resistência à compressão e de absorção de água conclui-se que os corpos de prova com maior porcentagem de resíduo apresentam maiores índices de vazios e capacidade de absorção de água resultando em menor resistência à compressão. Pois as amostras que possuem mais resíduos apresentam maior porosidade e quanto maior a quantidade de espaço para a propagação de trincas menor a resistência à compressão do corpo de prova.

Por meio dos ensaios de resistência a compressão conclui-se que os corpos de prova confeccionados para este trabalho com a incorporação de resíduo podem ser utilizados para assentamentos e revestimentos de paredes e tetos uma vez que os limites para a resistência à compressão exigidos pela ABNT foram obedecidos.

Posto isto, conclui-se que a incorporação de resíduo da fabricação de pás eólicas para aerogeradores em cimento Portland, nas proporções de 5 e 15% pode ser uma alternativa para a sua reutilização na construção civil sem fins estruturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CETESB. [on line]. Disponível em < <http://www.cetesb.sp.gov.br>>. Acesso em 01 jun.2010.
2. BRAGA, Benedito et.al. **Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2ª Ed. Editora Pearson São Paulo. 2002. 216-227p.
3. LEINZ, Viktor; AMARAL, S.E.. **Geologia Geral**. 14ª ed. São Paulo: Companhia Editora Nacional. 2001. 189p.
4. RANGEL, Rita de Cássia Cipriano. **Aplicação da Eletrocapilaridade na Manipulação de Microgotas**. 2008. 87f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Interfaces) – Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Materiais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Sorocaba, 2008.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (2001). **NBR 13281: Argamassa para assentamentos e revestimentos de paredes e tetos – Requisitos**. Rio de Janeiro.

AGRADECIMENTO

RENTE/PRORPe - UNESP, Wobben e Supermix.