

São Paulo – Brazil – May, 18-20, 2011



3rd
INTERNATIONAL WORKSHOP
ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“CLEANER PRODUCTION INITIATIVES AND CHALLENGES FOR A SUSTAINABLE WORLD”

unesp 

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Campus de Sorocaba

Estudo da Incorporação de Resíduo de Fabricação de Pás Eólicas para Aerogeradores em Cimento Portland

Study of Incorporation of Wind Blades waste in Portland Cement

Autores:

Marcos Paulo Minussi Bini

Lívia Sottovia

Apoio:
Renge/PROPe/Unesp

Prof. Dr. Maria Lucia Pereira Antunes

Natel – Núcleo de automação e tecnologia limpas

OBJETIVO

Reutilizar os resíduos gerados pelas empresas de aerogeradores, incorporando-os em cimento Portland para fins da construção civil.



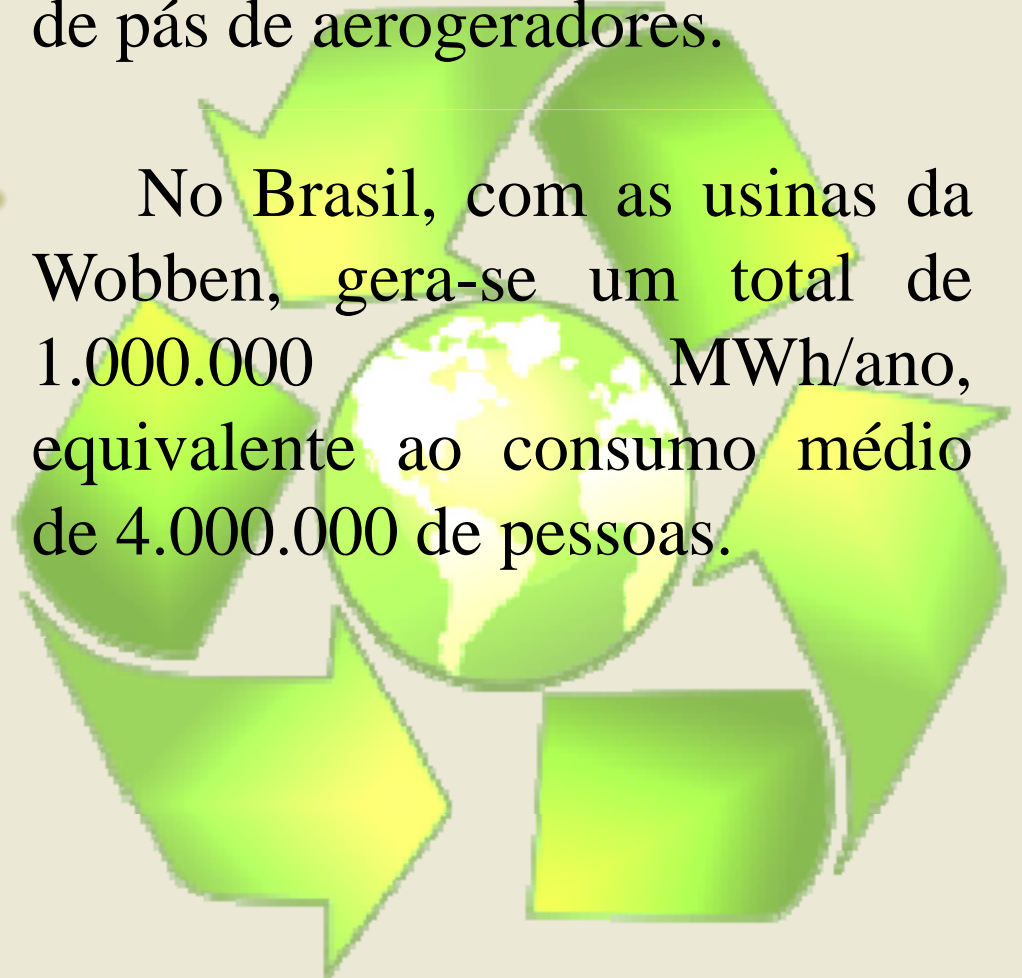
Introdução: Fabricação dos aerogeradores



Fonte: www.wobben.com.br

Em Sorocaba há duas grandes empresas de fabricação de pás de aerogeradores.

No Brasil, com as usinas da Wobben, gera-se um total de 1.000.000 MWh/ano, equivalente ao consumo médio de 4.000.000 de pessoas.



Introdução: Fabricação dos aerogeradores



Fonte: <http://ner.org.cv/images/turbine.gif>

Um aerogerador é composto por três partes principais:

- Rotor/ Estator,
- Três pás idênticas
- Torre.



Introdução:

Fabricação dos aerogeradores

Os principais componentes na fabricação das pás eólicas são: fibra de vidro, **resina epóxi**, madeira bolsa e espuma PVC.

A fibra de vidro é impregnada pela resina epóxi em estado líquido que com o passar do tempo muda para o estado sólido, em um processo chamado de reação de cura.

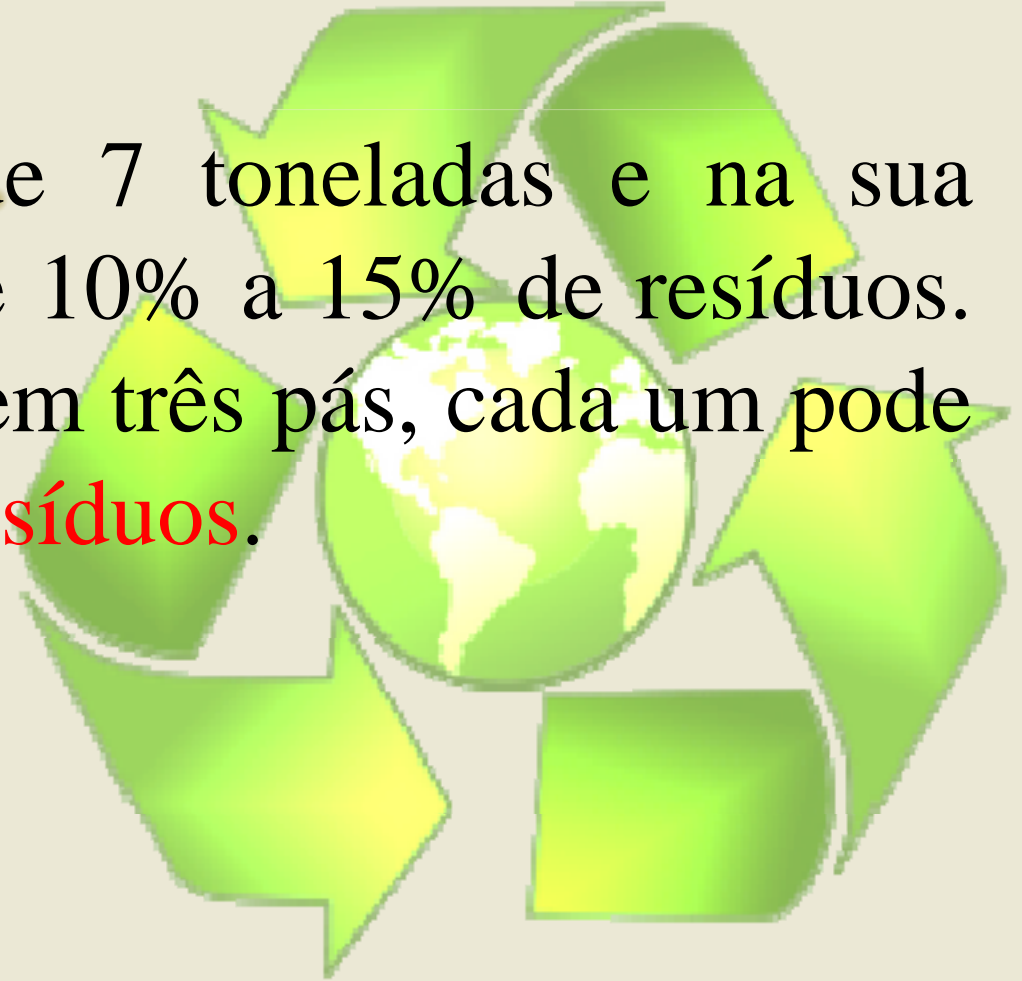


Introdução:

Fabricação dos aerogeradores

Em Sorocaba, as usinas aerogeradoras se destacam pela sua **alta geração de resíduo** em toda região.

Cada pá tem cerca de 7 toneladas e na sua fabricação são gerados de 10% a 15% de resíduos. Como cada aerogerador tem três pás, cada um pode gerar até **3 toneladas de resíduos**.



Introdução:

Geração de resíduos

Com o aumento da tecnologia, vem o aumento dos resíduos gerados através da produção e do descarte. Esse lixo gerado demanda **dinheiro, tecnologia e espaço físico**.

Segundo o Decreto-Lei nº 488/85, o detentor de resíduos, qualquer que seja a sua natureza e origem, deve promover a sua **recolha, armazenagem, transportes e eliminação** ou utilização de tal forma que não ponham em perigo a saúde humana nem causem prejuízo ao meio ambiente.



Introdução:

Reutilização dos resíduos

A reutilização do resíduo é uma forma de **aumentar a vida útil** do mesmo. Essa reutilização pode ocorrer de acordo com as propriedades do resíduo e para sua finalidade.

A área da construção civil é uma das opções, com a finalidade de incorporar o resíduo no cimento Portland.

Vantagens na incorporação de resíduos:



Fonte: http://www.abcdenergia.com/reciclopolis/sup_dir/materiais.htm#novo



Fonte: <http://ponto.outraspalavras.net/files/2011/04/MIRNY-A-MAIOR-CRATERA-DE-MINERACAO-DO-MUNDO1.jpg>



Fonte: <http://permacoletivo.wordpress.com/files/2009/10/selo-verde.png>

Metodologia

O resíduo foi triturado para ter uma característica semelhante a de um pedrisco. Foi utilizado um moinho de facas modelo Mak-250 da Kie Máquinas e Plásticos, com uma tela 12,7 mm de granulometria.

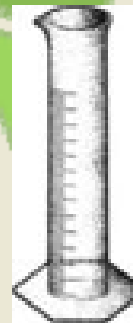
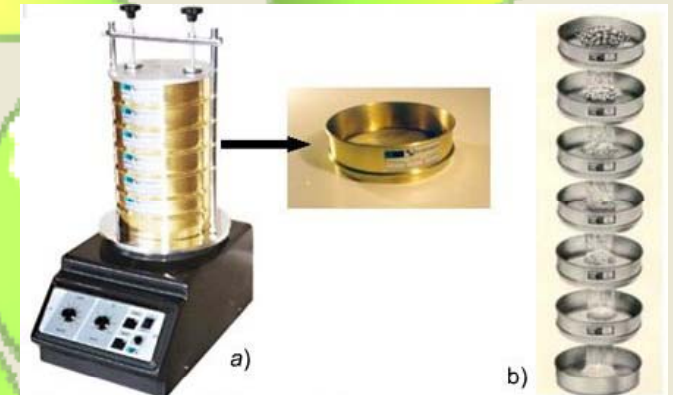


Figura 1 – Trituração do resíduo

Metodologia

Caracterização do resíduo:

- Ensaio de Molhabilidade
(Goniômetro Ramé-Hart 100-00 e o software Rame-Hart Imaging 2001)
- Infravermelho por reflexão total
(espectrofotômetro Jasco FTIR-410)
- Análise granulométrica
(Peneiramento)
- Determinação da Densidade
(Variação do volume)



Metodologia

Confecção dos corpos de prova:

- NBR 5738 - Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto.
- A incorporação do resíduo no concreto foi através do método da substituição em relação ao volume do pedrisco.
- Foram confeccionados 4 lotes de diferentes porcentagens de resíduo (pedrisco): 0% (Lote 1, branco); 10% (Lote 2); 20% (Lote 3); 50% (Lote 4). Cura de 28 dias.
- Análise de compressão em prensa hidráulica.



Resultados:

Caracterização do resíduo

Ensaio de molhabilidade da resina epóxi

- Face lisa: 50°
- Face rugosa: 85°

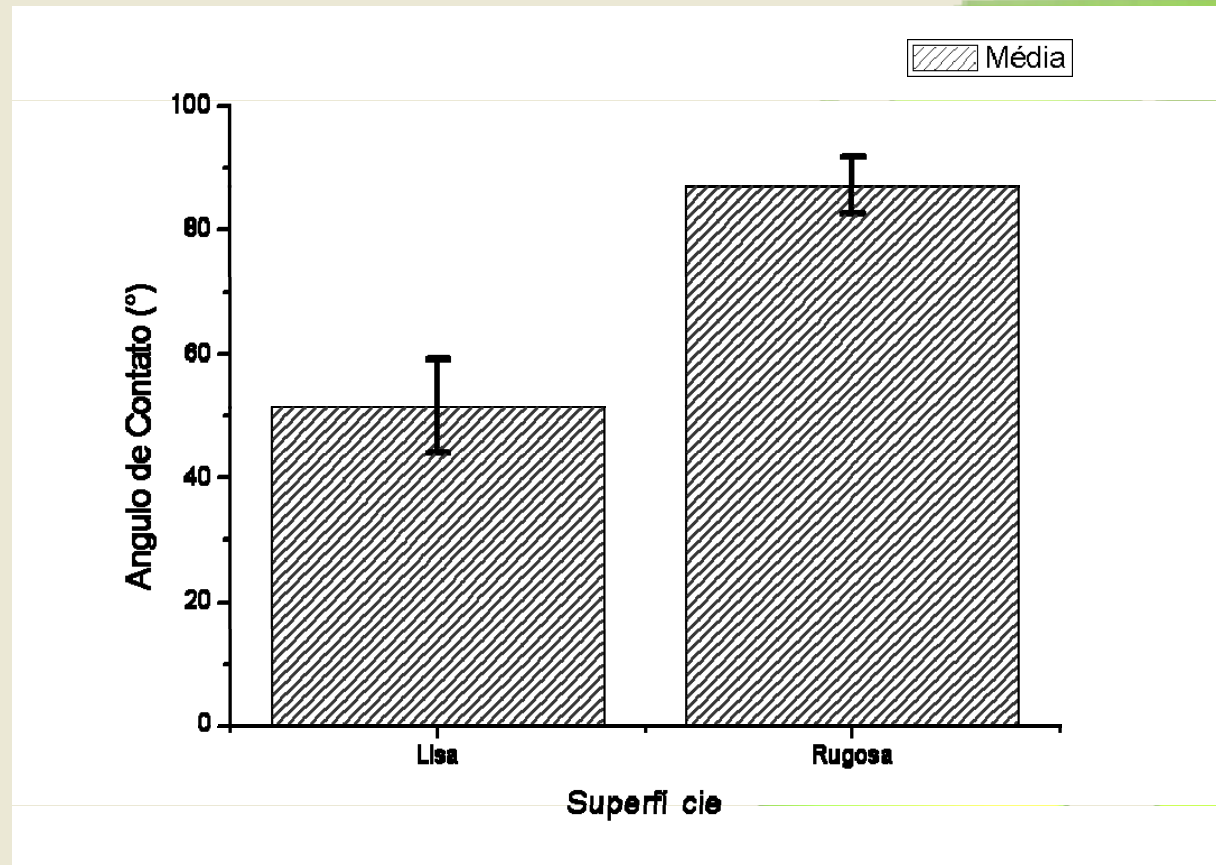
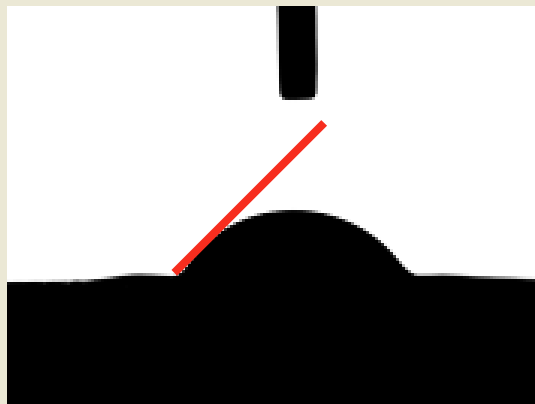
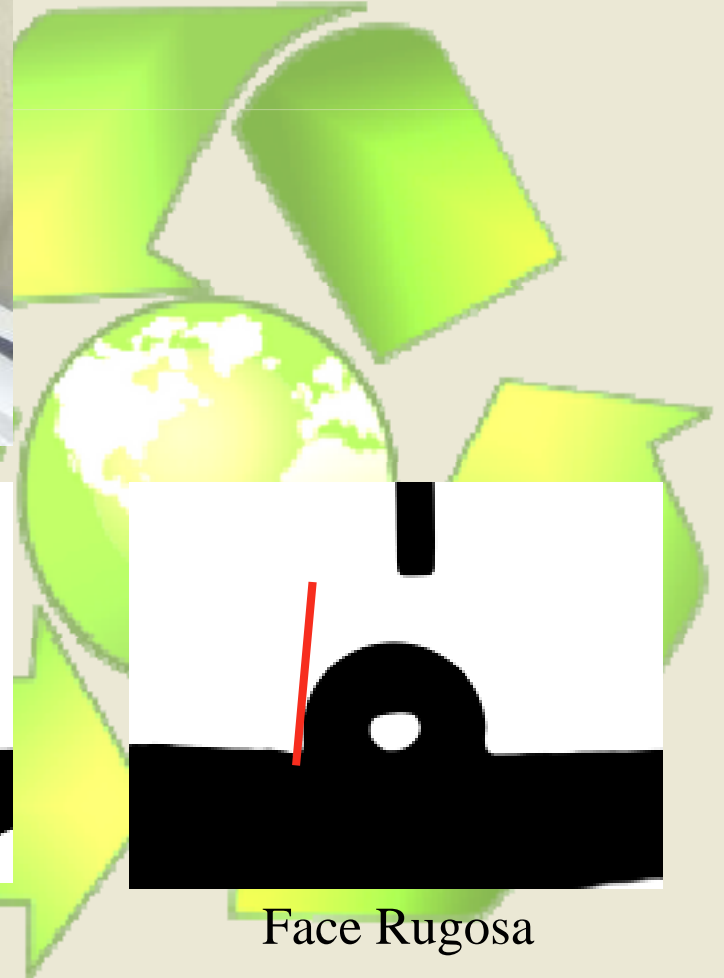


Figura 2 – Gráfico de molhabilidade das faces

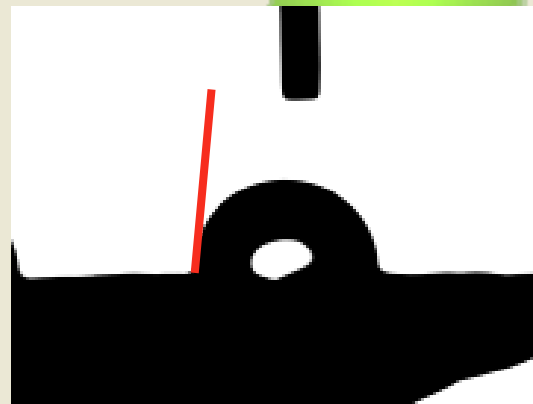
Resultados:

Caracterização do resíduo

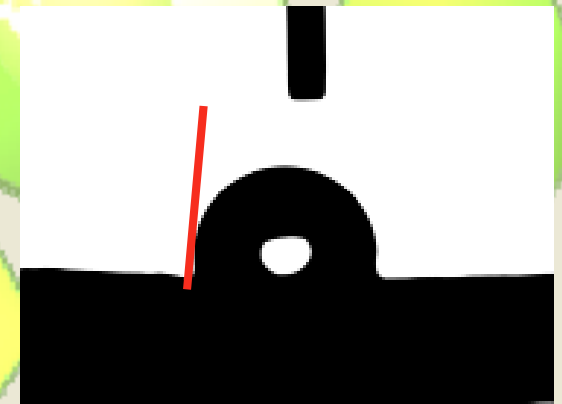
- Com os resultados, pode-se afirmar que a resina é hidrofílica, pois as duas médias ficaram abaixo de 90° , o limitante.



Face Lisa



Face Rugosa



Face Rugosa

Resultados:

Caracterização do resíduo

Espectro de refletância no infravermelho da resina epóxi.

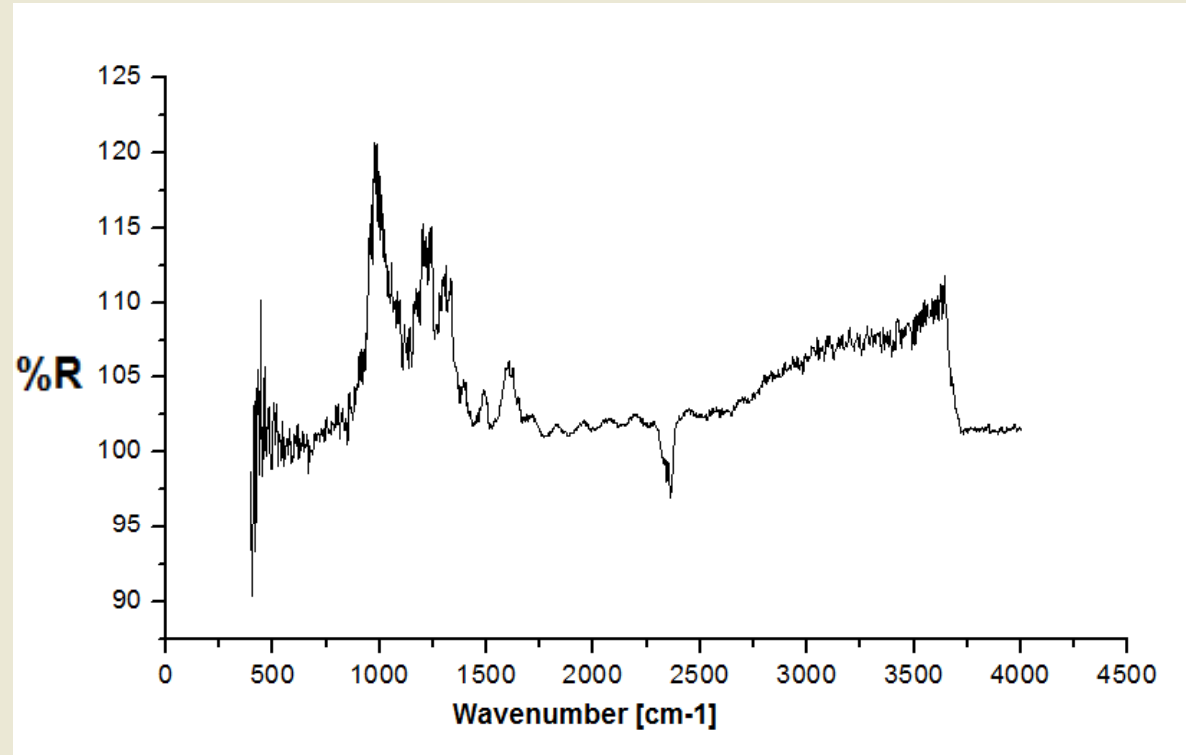


Figura 3 - Espectro de infravermelho do resíduo de pá eólica

Identificaram-se as principais faixas do infravermelho da resina epóxi:

- 3504 cm^{-1} (n OH);
- 1247 cm^{-1} (n CO aromático);
- 1857 cm^{-1} (n CO aromáticos);
- 915 cm^{-1} (n grupo epóxi).

Resultados:

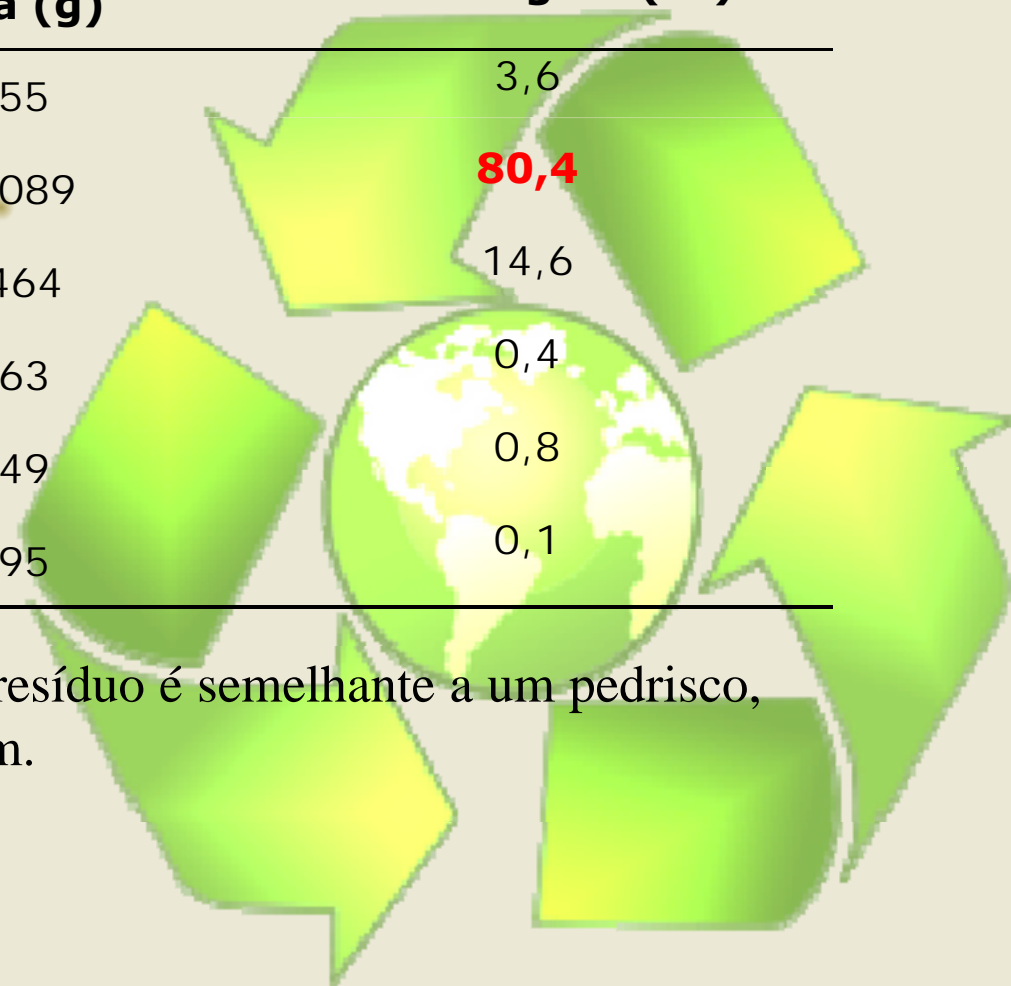
Caracterização do resíduo

Análise granulométrica do resíduo

Tabela 1 – Porcentagem granulométrica do resíduo

Peneira	Massa (g)	Porcentagem (%)
> 9,5 mm	8,955	3,6
9,5 mm – 4,75 mm	201,089	80,4
4,75 mm – 2,36 mm	36,464	14,6
2,36 mm – 2,00 mm	1,063	0,4
2,00 mm – 1,18 mm	1,949	0,8
< 1,18 mm	0,295	0,1

NBR 7225, pode-se concluir que a resíduo é semelhante a um pedrisco, que compreende entre 9,5 a 2,40 mm.



Resultados:

Caracterização do resíduo

Determinação da densidade:

Através de uma proveta graduada calculou-se o a densidade do resíduo conforme a Tabela 2.

Tabela 2 – Densidade aparente do resíduo

Teste	Massa (g)	ΔV (mL)	Densidade
1	2.35	2	1.18
2	3.72	3	1.24
3	5.28	4	1.32
4	6.43	5	1.28
5	8.38	6.5	1.29
6	9.75	8	1.22

Obteve-se uma **densidade aparente média de 1,25g/mL**. Sendo este valor inferior ao do pedrisco que tem uma densidade de 1,8 g/mL (BASF, 2011).

Resultados:

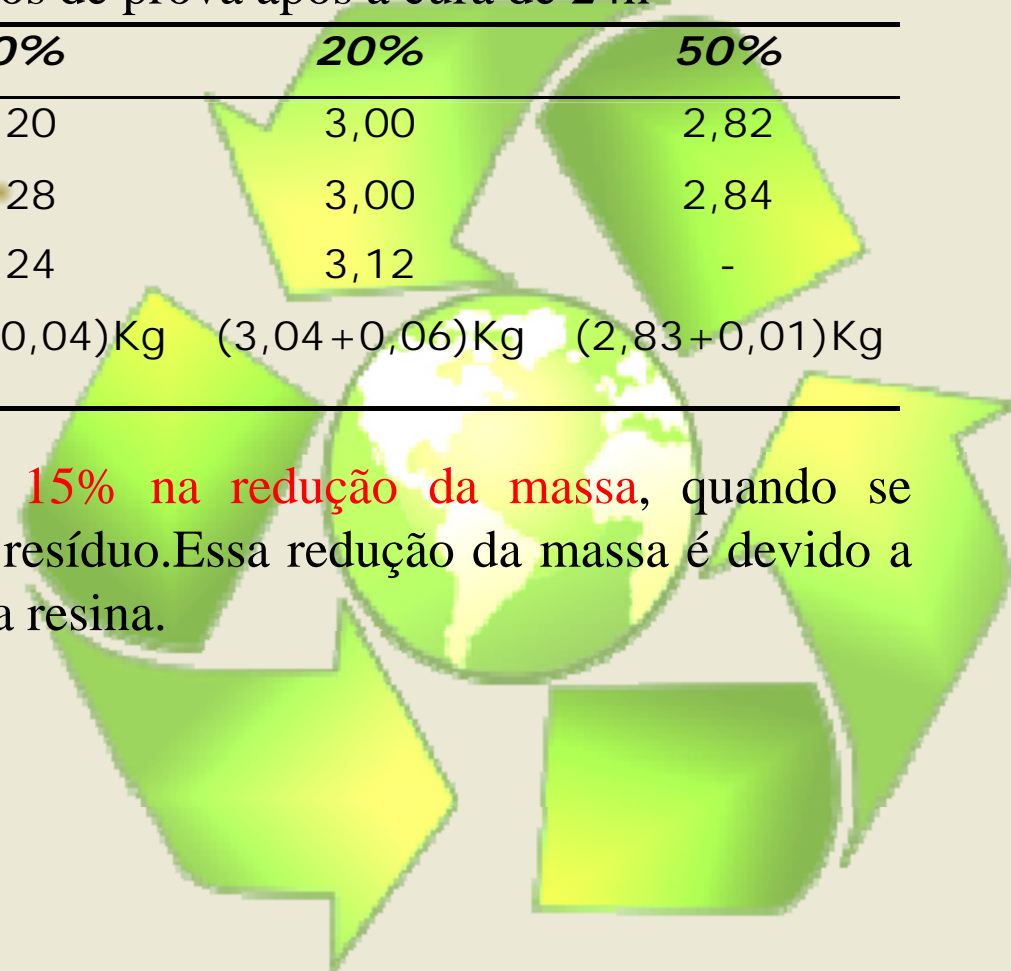
Fabricação dos corpos-de-prova

Depois da cura de 24 horas os corpos foram pesados. Suas massas encontram-se na Tabela 3. Nota-se que com a substituição do pedrisco pela resina, há uma diminuição da massa dos corpos.

Tabela 3 – Massas dos corpos de prova após a cura de 24h

<i>Corpo</i>	<i>0%</i>	<i>10%</i>	<i>20%</i>	<i>50%</i>
1	3,38	3,20	3,00	2,82
2	3,36	3,28	3,00	2,84
3	3,40	3,24	3,12	-
Média (.10³)	(3,38+0,02)Kg	(3,24+0,04)Kg	(3,04+0,06)Kg	(2,83+0,01)Kg

Observa-se uma diminuição maior que **15% na redução da massa**, quando se comparam o lote 0% com o lote 50% de resíduo. Essa redução da massa é devido a diferença de densidade entre o pedrisco e a resina.

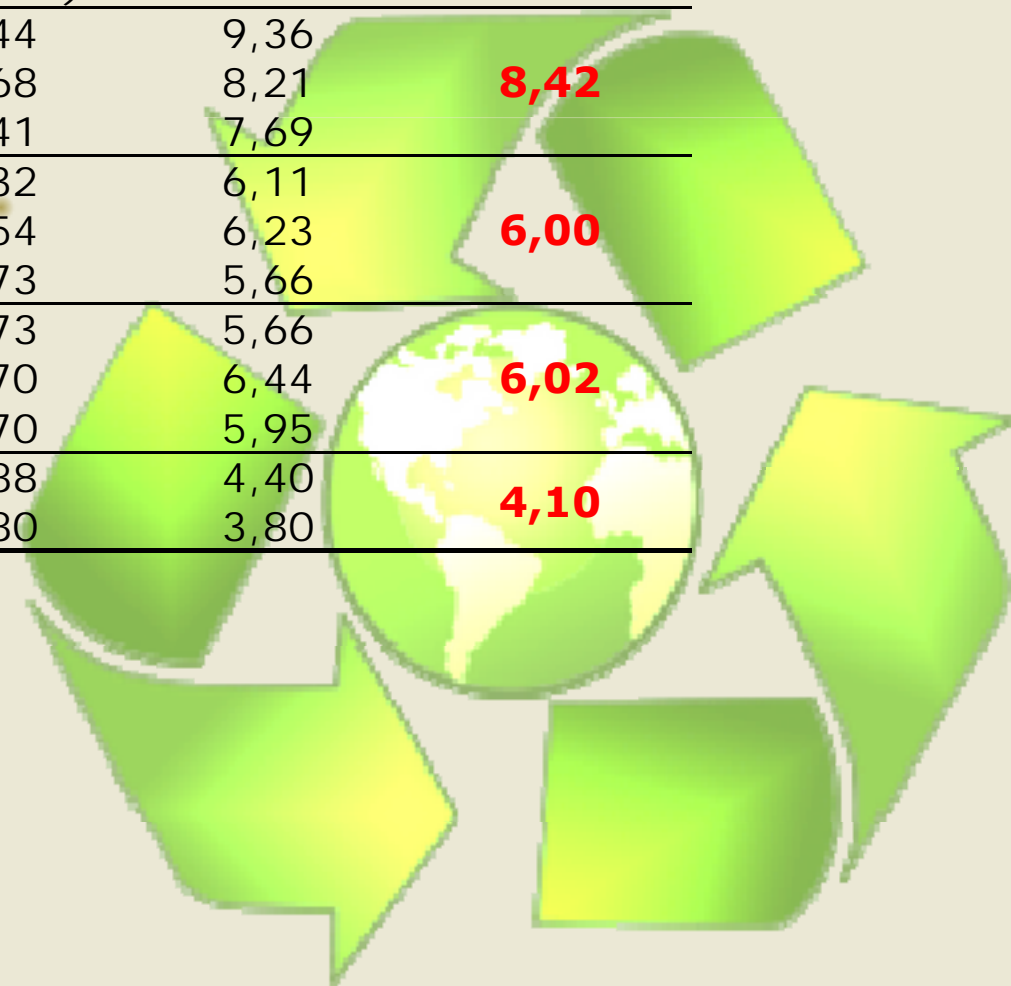


Resultados: Ensaio de compressão

Os valores obtidos nos ensaios de compressão são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Ensaio de compressão

% de Resíduo	T_f	Compressão		$f_{ck_Médio}$ (Mpa)
		(Kgf/cm ²)	f_{ck} (Mpa)	
0%	7,06	95,44	9,36	8,42
	6,19	83,68	8,21	
	5,80	78,41	7,69	
10%	4,61	62,32	6,11	6,00
	4,70	63,54	6,23	
	4,27	57,73	5,66	
20%	4,27	57,73	5,66	6,02
	4,86	65,70	6,44	
	4,49	60,70	5,95	
50%	3,32	44,88	4,40	4,10
	2,87	38,80	3,80	



Resultados:

Ensaio de compressão

Com base na tabela anterior construiu-se o gráfico da figura 4 abaixo

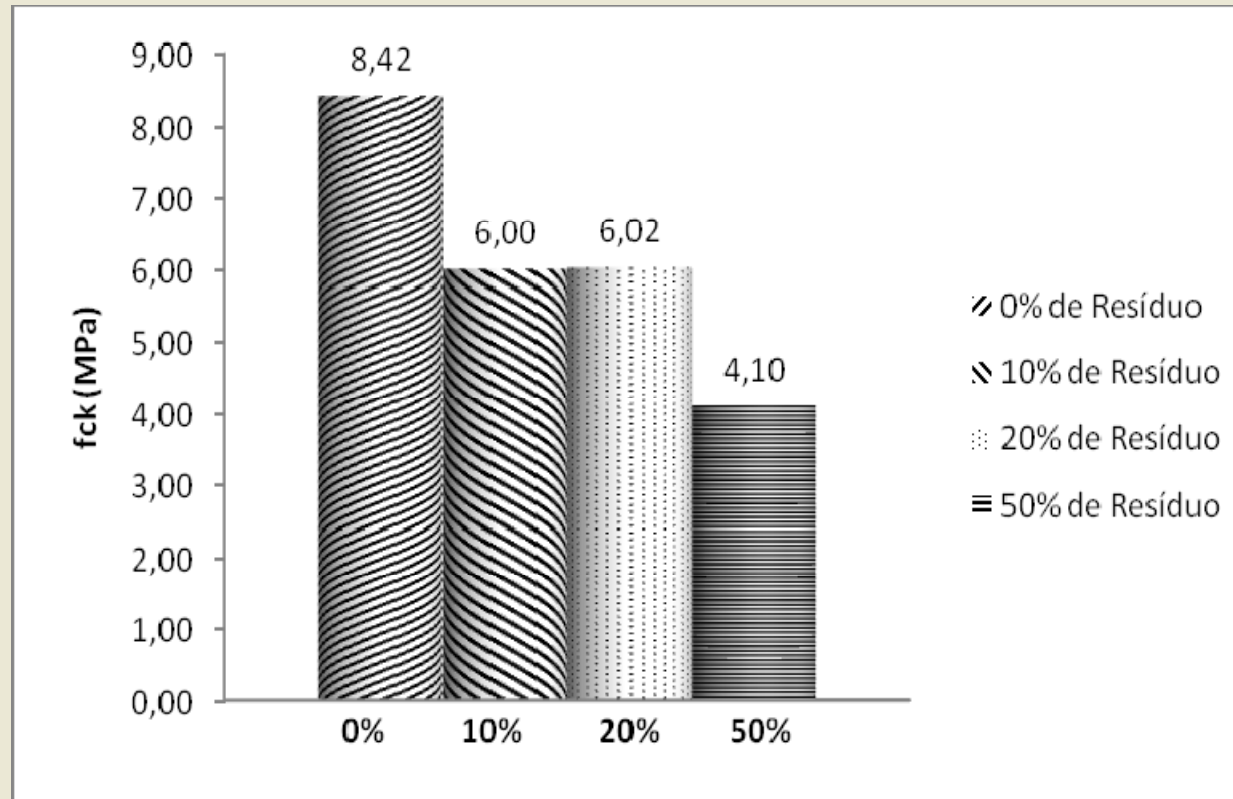
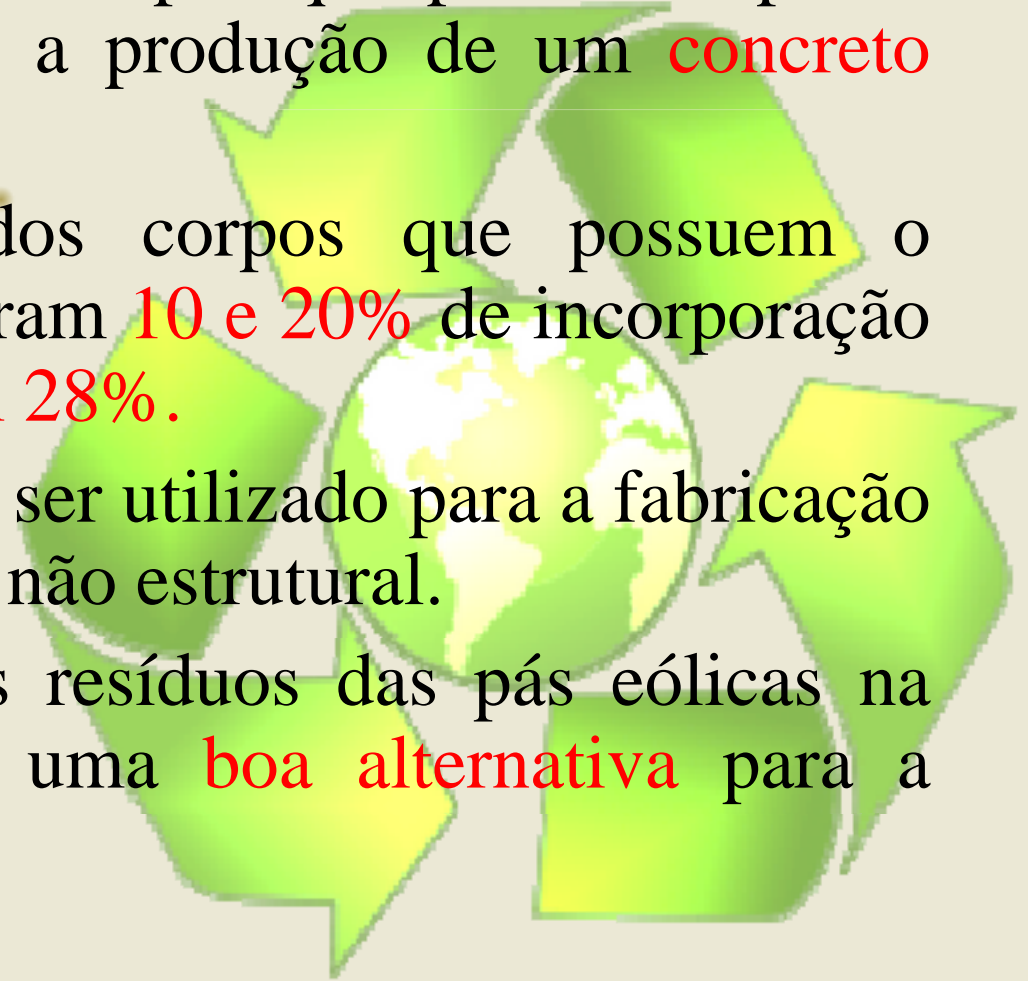


Figura 4 – Gráfico do ensaio de compressão

- Valores próximos da resistência dos corpos de 10 e 20%.
- Redução da resistência chega a 28,7% .
- A resistência do CP 50% cai pela metade.

Conclusão:

- O resíduo é **hidrofílico**, o que parece facilitar o contato com o cimento.
- **Menor massa** dos corpos-de-prova que possuem resina, quando comparados com os corpos que possuem apenas pedrisco, o que possibilita a produção de um **concreto mais leve**.
- Redução da resistência dos corpos que possuem o resíduo. Os corpos que tiveram **10 e 20%** de incorporação **reduziu a sua resistência em 28%**.
- O concreto renovável, pode ser utilizado para a fabricação de **blocos leves** de concreto não estrutural.
- Portanto a reutilização dos resíduos das pás eólicas na **construção civil** pode ser uma **boa alternativa** para a destinação desse resíduo.



Referências Bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7225: Materiais de pedra e agregados naturais. Rio de Janeiro, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11578: Cimento Portland composto. Rio de Janeiro, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738: Moldagem e cura de corpos-de-prova cilíndricos ou prismáticos de concreto. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, 2004, 77p.

BASF, The Chemical Company. [on line]. Disponível em <http://www.piresatazcadista.com.br/pdf/SET_45.pdf>. Acessado em Fevereiro/2011.

BRAGA, Benedito et.al. **Introdução à Engenharia Ambiental – O desafio do desenvolvimento sustentável**. 2ª Ed. Editora Pearson São Paulo. 2002. 216-227p.

BRASIL. Decreto n. 488, de 25 de novembro de 1985. **Resíduos Sólidos**.

BURKARTER, E. **Construção de imagens por padrões hidrofóbico/ hidrofílico**. 2006. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Federal do Paraná, 2006.

Iudice Mineração. [on line]. Disponível em <http://iudice.com.br/info_tec.html>. Acessado em Fevereiro/2011.

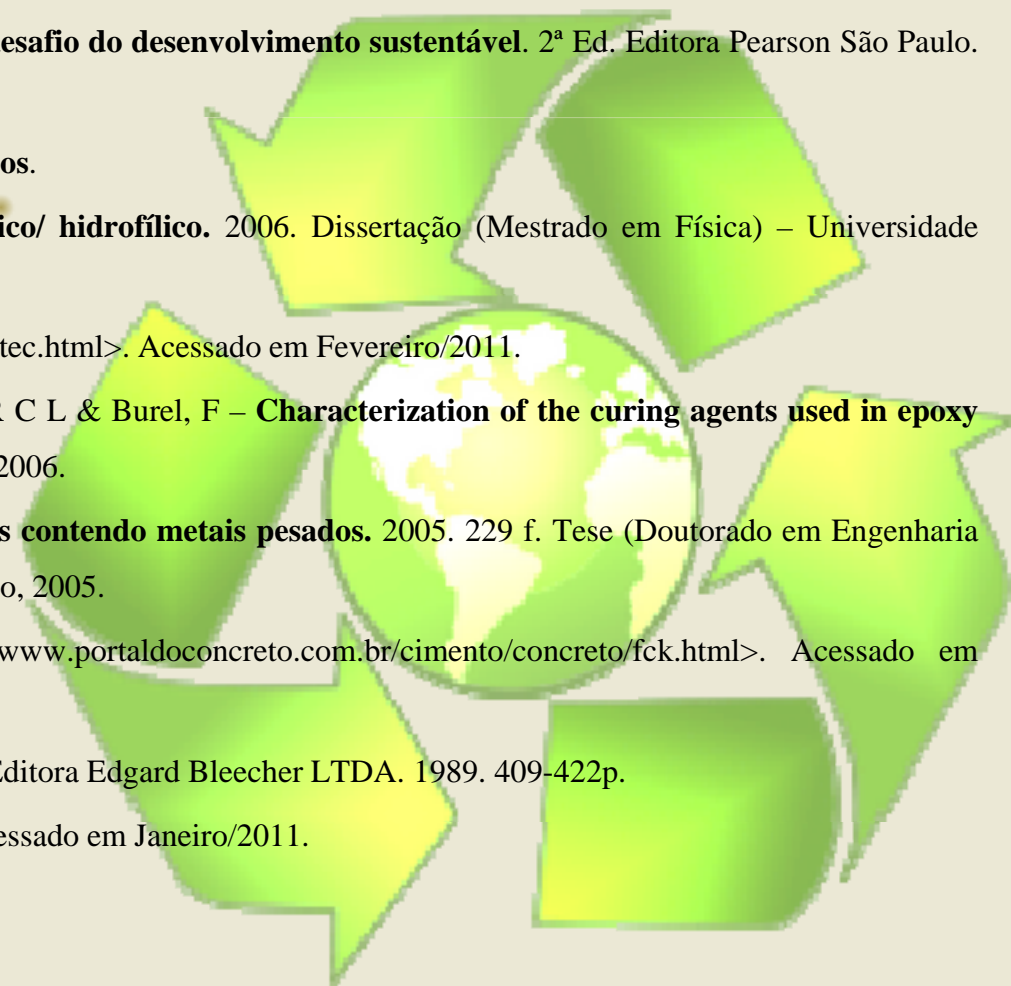
Romão, B M V; Diniz, M F; Azevedo, V L L; Pardini, L C; Dutra, R C L & Burel, F – **Characterization of the curing agents used in epoxy resins with TG/FT-IR technique**. Polímeros vol.16 no.2 São Carlos, 2006.

PINTO, C. A. **Estudo da estabilização por solidificação de resíduos contendo metais pesados**. 2005. 229 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

PORTAL DO CONCRETO. [on line]. Disponível em <<http://www.portaldoconcreto.com.br/cimento/concreto/fck.html>>. Acessado em Janeiro/2011.

SANTOS, Pécio de Souza. **Ciência e Tecnologia de Argilas**. 2ª Ed. Editora Edgard Blecher LTDA. 1989. 409-422p.

WOBEN. [on line]. Disponível em <<http://www.woben.com.br>> acessado em Janeiro/2011.



Agradecimentos:

Renge/PROPe/Unesp

