

Compósito para a construção civil a partir de resíduos industriais

Composite for building from industrial waste

Clarice de Andrade¹, Vsevolod Mynrine², Dimas Agostinho da Silva³,
Sandra Lucia Soares Mayer³, Rodrigo Simetti³, Fernanda Marchiori³

¹ PIPE- Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciências dos Materiais – UFPR- Caixa Postal: 19011 - CEP: 81531-990 - Jd. das Américas – Curitiba,PR- Tel: (41) 3361-3308

e-mail: claricedeandrade2@gmail.com

² Pós- graduação em Engenharia Civil da UTFPR

e-mail: seva 6219@gmail.com

³ LEB - Laboratório de Energia de Biomassa – UFPR – Tel:(41) 336-4292 Jd Botânico – Curitiba, PR

e-mail: dimas.agostinho.silva@gmail.com; sandra.lsmayer@gmail.com; rodrigo.simetti@gmail.com;

f-marchiori@hotmail.com

RESUMO

Os estudos que visam à utilização dos resíduos industriais vêm se intensificando diante da pressão das organizações ambientais, escassez de recursos naturais, busca de certificações para ganho de mercado e minimização de impacto ambiental. O presente trabalho desenvolveu um novo compósito a base de resíduos industriais como cinzas de madeira, lodo de estação de tratamento de água (ETA) e resíduos de produção de cal com propriedades mecânicas que atendem às exigências da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 15270-1/2005, NBR 15270-2/2005 e NBR 5739/2007, objetivando a sua utilização na construção civil sem o acréscimo de cimento Portland. As resistências à compressão variaram de 2,35 a 16,48 MPa. O índice de absorção de água das amostras testadas também atendeu às normas aplicadas, demonstrando que ao longo do tempo de cura houve diminuição da porosidade com possível hidratação da cal. Os resultados do ensaio de resistência à compressão apresentaram variações durante o tempo de cura que podem ser justificadas pela presença de material orgânico no lodo de ETA e pelo tamanho das partículas de cinza de madeira que durante a homogeneização não foram destruídas completamente. Apesar das variações observadas nos resultados, as resistências dos compósitos se enquadram na classificação para blocos cilíndricos de concreto e blocos cerâmicos para alvenaria.

Palavras-chave: cinzas de madeira, lodo de ETA, resíduo de cal, compósito, resistência.

ABSTRACT

The studies regarding the use of industrial waste have been intensifying under the pressure of environmental organizations, scarcity of natural resources, seeking certifications to market gains and minimizing environmental impact. This study developed a new composite base of industrial waste such as wood ash, water treatment sludge (ETA) and the production of lime waste with mechanical properties that meet the requirements of the BRAZILIAN ASSOCIATION OF TECHNICAL STANDARDS - NBR 15270- 1/2005 NBR 15270-2 / 2005 and NBR 5739/2007, aiming its use in building construction without the addition of Portland cement. Compressive strengths varied from the 2.35 16.48 MPa. The water absorption rate of the samples tested also met the standards applied, demonstrating that during the curing time was possible to decrease the porosity lime hydration. The results of the compressive strength test showed variations during the curing time can be justified by the presence of organic material in the WTS and the size of the wood ash particles during homogenization were not completely destroyed. Despite the variations observed in the results, the resistance of composites fall into the rating for cylindrical concrete blocks and ceramic blocks for masonry.

Keywords: wood ash, water treatment sludge, lime residue, composite resistance.

1. INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento industrial, a preocupação ambiental com os resíduos gerados, a pressão de agências ambientais e a busca de competitividade no mercado através das certificações, fazem com que as pesquisas para utilização dos resíduos industriais sejam mais intensificadas.

Um grande desafio para as empresas é o de encontrar alternativas viáveis para destinar os resíduos gerados durante o processo produtivo, que sejam técnica e economicamente viáveis, minimizando ao máximo o impacto ambiental.

Vários trabalhos estão sendo desenvolvidos utilizando esses resíduos industriais, como por exemplo adicionando a cinza de casca de arroz em cerâmica e argamassa [1,2], o lodo de ETA incorporado em cerâmica [3,4,5], nesses casos modificando a matérias primas antes de serem utilizadas.

As cinzas são obtidas a partir da combustão da madeira. As cinzas de madeiras são geradas em vários tipos de caldeiras, em indústrias de vários segmentos, onde a queima varia em função da regulagem e eficiência que o equipamento oferece. Dessa forma, a caracterização média da cinza está condicionada a parâmetros específicos da região geradora do resíduo analisado, se apresenta na forma sólida, em formatos e dimensões irregulares [6].

Para que a água bruta se torne adequada ao consumo humano, é necessário que ela passe por transformação realizada em Estação de Tratamento de Água (ETA). A maioria das Estações de Tratamento de Água no Brasil, é convencional ou de ciclo completo, possuindo unidades de mistura rápida, floculação, decantação e filtração e produz, na fase de sedimentação e filtração, um resíduo composto basicamente com as características da água bruta, acrescido de hidróxidos de alumínio ou ferro e carbonatos, que é removido por sedimentação e filtração principalmente nos decantadores, sendo estes resíduos chamados de lodo de ETA [7-8].

Pela multiplicidade de suas aplicações, a cal – virgem e hidratada – está entre os dez produtos de origem mineral de maior consumo mundial. O produto ganha ainda maior expressão quando se conhece o amplo leque de setores industriais e sociais que dele se utilizam, graças à sua dupla capacidade – reagente químico e aglomerante-ligante. Atualmente a indústria da cal representa um importante papel no desenvolvimento das nações, não só pela multiplicidade de seus usos em uma economia moderna. [9]

A reutilização dos resíduos industriais traz como benefício ambiental a redução de materiais e poluentes, bem como a redução na utilização de recursos naturais.

O presente trabalho utilizou três materiais residuais de processos industriais: cinzas de madeira, lodo de ETA e resíduo de produção de cal (RPC), com o objetivo de fazer compósito para uso final na construção civil. Nesse compósito não houve incorporação de cimento Portland e espera-se que os resultados sejam idênticos aos já normatizados para concreto.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução do trabalho foram utilizados resíduos de diferentes empresas estabelecidas na região metropolitana de Curitiba-PR. Os resíduos utilizados foram cinza de madeira coletada em caldeira de indústria de papel e celulose, lodo de uma estação de tratamento de água (ETA) e cal residual (RPC).

Os materiais residuais foram misturados entre si, mantendo as condições do ato da coleta, não havendo secagem nem peneiramento. Foram feitas cinco misturas, os tratamentos A,B,C,D,E, variando os percentuais dos componentes conforme Tabela 1.

Tabela 1: Participação dos materiais residuais na manufatura do compósito.

TRATAMENTOS	CINZAS DE MADEIRA (%)	LODO DE ETA (%)	RESÍDUO DA PRODUÇÃO DE CAL (RPC) (%)
A	20	55	25
B	25	55	20
C	30	45	25
D	35	45	20
E	40	35	25

Os materiais foram pesados de acordo com o percentual pré-determinado constante na Tabela 1, em uma balança eletrônica com precisão $\pm 0,01$. A homogeneização e mistura dos materiais ocorreu num gral com um pistilo e deixado descansar por uma hora. Nesse trabalho não houve a utilização de cimento

Portland.

A mistura descansada foi pesada individualmente, colocada numa forma e aplicada uma pressão de 15 MPa por meio de uma prensa hidráulica, obtendo corpos de prova cilíndricos com 2 cm de altura x 2 cm de diâmetro. Foram confeccionados 5 corpos de prova para cada tratamento em cada tempo de cura, desses, dois resultados foram descartados objetivando diminuir a variação dos valores obtidos.

Foram realizadas análises de teor de umidade dos materiais de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) - NBR 15270/2005[10].

A composição química dos materiais, após homogeneização e secagem a 100°C, usou a varredura química executada a partir de pastilha prensada e analisada por meio do método de espectroscopia de fluorescência de raios-X, utilizando equipamento Philips, modelo PW-2400. O método constituiu pela análise semi-quantitativa por meio de software Semi-Q-Philips.

Foi determinado a granulometria da cinza de madeira e do resíduo de cal, materiais secos, para saber qual a dimensão das partículas utilizadas. A amostra retirada para o teste foi de um quartil da amostragem total. As peneiras utilizadas foram de 14mesh(1,70mm), 24mesh(0,85mm), 28mesh(0,71mm), 35mesh (0,50 mm), 60mesh (0,31mm), menor que 60 mesh (0,31mm) e pó. Os valores obtidos se referem ao material passante da peneira.

Por ser um compósito que não apresenta norma regulamentada, para os ensaios de resistência a compressão e para o índice de absorção de água, os ensaios seguiram o que preconiza NBR 5739/2007: concreto – ensaios de compressão em corpos de prova cilíndricos [12], no equipamento EMIC, pressão aplicada de 0,5 MPa/s.

Os ensaios foram realizados nos tempos de cura de 3, 7, 14, 28, 60 e 90 dias sem absorção de água e nos tempos de cura de 28, 60 e 90 dias após a absorção de água. A determinação do índice de absorção de água foi realizada de acordo com a NBR 15270-1/2007[10].

A criação do compósito objetivou seu uso final para a construção civil, e por não existir ainda uma norma específica para ele, foram usadas as normas da ABNT para ensaios de resistência à compressão em materiais como concreto e bloco cerâmico para alvenaria, apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Normas utilizadas para comparação dos resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão.

ABNT– NBR	PRESSÃO APLICADA NO ENSAIO DE COMPRESSÃO	RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO MÍNIMA EXIGIDA (MPa):
15270-3/2005 – blocos cerâmicos para alvenaria de vedação [10]	0,05±0,01 MPa/s	>3
15270-2/2005 – blocos cerâmicos para alvenaria estrutural [11]	0,05±0,01 MPa/s	>3
5739/2007 – concreto – ensaios em corpos de provas cilíndricos [12]	0,5±0,01 MPa/s	De acordo com o coeficiente de variação (cv) do ensaio: excelente: $cv \leq 3$; muito bom: $3 < cv \leq 4$; bom: $4 < cv \leq 5$; razoável: $5 < cv \leq 6$; deficiente: $cv > 6$

Os resultados médios de resistência à compressão e índice de absorção de água foram comparados estatisticamente por meio de análise de variância (ANOVA), havendo diferença significativa, as médias foram comparadas através do teste de Tukey para os tratamentos (A, B, C, D, E). Os tratamentos como fator (tempo de cura) foi analisado por meio de análise de regressão, todos os testes foram aplicados ao nível de 5% de probabilidade.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Análise dos materiais usados para o compósito

Os resultados médios para teor de umidade dos materiais são apresentados na Tabela 3, que mostram o lodo de ETA com elevado teor de umidade, enquanto a cinza de madeira com baixo teor e o resíduo da produção de cal isento de umidade.

Tabela 3: Resultado médio para o teor de umidade dos materiais

MATERIAL	TEOR DE UMIDADE (%)
Cinzas de madeira	1,77 ± 0,01
Lodo de ETA	85,69 ± 0,24
Resíduo da produção de cal (RPC)	0,00

A Tabela 4 apresenta os resultados da composição química dos materiais lodo de ETA, cinza de madeira e resíduos da produção de cal por espectroscopia de fluorescência de Raios-X.

Tabela 4: Resultados do ensaio de espectroscopia de fluorescência de raios-x dos materiais: lodo de ETA, cinzas de madeira e resíduos de produção de cal.

COMPONENTE	LODO DE ETA (%)	CINZAS DE MADEIRA (%)	RESÍDUOS DE PRODUÇÃO DE CAL (RPC) (%)
SiO ₂	15,6	45,3	1,9
CaO	0,3	15,0	43,1
Al ₂ O ₃	31,1	13,2	0,2
Fe ₂ O ₃	6,6	7,6	0,4
MgO	0,1	3,2	26,3
K ₂ O	0,2	8,1	0,1
SO ₃	0,8	1,3	<0,1
Na ₂ O		0,3	
TiO ₂	0,3	1,2	<0,1
SrO	<0,1	0,1	<0,1
BaO		0,2	
P ₂ O ₅	0,3	1,9	<0,1
MnO	0,2	1,1	<0,1
ZrO ₂	<0,1	<0,1	
Cl	<0,1	0,2	
ZnO	<0,1	<0,1	
Rb ₂ O	<0,1	<0,1	
CuO		<0,1	
CeO ₂	0,1		
V ₂ O ₅	<0,1		
Br	<0,1		
Nb ₂ O ₅	<0,1		
P.F.	44,49	1,28	27,92

A composição química do lodo de ETA apresentou maior participação dos óxidos de alumínio, silício e ferro. Resultados semelhantes foram observados por outros autores [16,18]. A maior participação do alumínio é justificada pelo seu uso na forma de sulfato durante a flotação para o tratamento da água.

A composição química da cinza da madeira é formada majoritariamente por óxidos de silício, cálcio e alumínio, além de quantidades significativas de ferro, magnésio e potássio. Num trabalho de composição de cinzas de diferentes biomassas florestais [19], de forma semelhante, encontrou-se que mais de 70% da composição das diversas cinzas, se deve à presença dos referidos óxidos (Si, Ca e Al) e quantidades representativas de outros óxidos (Fe, K e Mg).

O resíduo da produção de cal (RPC) é formado basicamente por óxido de cálcio e magnésio e outro pesquisador [20] encontrou também valores semelhantes.

A granulometria foi efetuada apenas dos materiais secos, resíduo de cal e cinzas de madeira, e o resultado consta na Tabela 5.

Tabela 5: Granulometria das matérias primas resíduo de cal e cinzas de madeira em %.

PENEIRA	RESÍDUO DE CAL (%)	CINZAS DE MADEIRA (%)
14 mesh – 1,70 mm	0,94	1,37
24 mesh – 0,85 mm	33,22	3,17
28 mesh – 0,71 mm	24,25	0,75
35 mesh – 0,50 mm	24,42	22,65
0 mesh – 0,31 mm	10,71	19,59
Menor que 0,31 mm	6,12	52,22
Pó	0,34	0,24

A composição granulométrica demonstra que a maioria das partículas de cinzas de madeira é menor que 0,31mm e que no resíduo de produção de cal a maioria das partículas está entre 0,85 mm e 0,50 mm. Embora possam ser consideradas pequenas, as partículas de cinzas de madeira não foram totalmente destruídas durante o processo de homogeneização dos materiais, podendo ser uma justificativa para os resultados obtidos, conforme apresentado na Figura 1. É visível que porção significativa de partículas de cinzas de madeira não se misturou suficientemente no compósito.



Figura 1: Partículas de cinzas de madeira em corpo de prova do compósito fraturado

3.2 Resistência à compressão do compósito

Houve efeito estatístico da interação dos fatores (tratamentos A, B,C, D, E) para a resistência à compressão, portanto foram desdobrados os efeitos da interação dentro de cada fator. Os resultados obtidos para resistência a compressão, antes da imersão em água, estão na Tabela 6, para o teste de médias em função do tratamento. Na Figura 1 estão resultados para análise de regressão em função do tempo de cura.

Tabela 6: Médias da resistência à compressão das composições ao longo do tempo de cura antes da imersão em água em MPa e coeficiente de variação do ensaio em % de acordo com a ABNT– NBR 5739 (12).

TRATAMENTO	TEMPO DE CURA /RESISTÊNCIAS (MPA)											
	3 DIAS		7 DIAS		14 DIAS		28 DIAS		60 DIAS		90 DIAS	
A	9,56	B	9,33	AB	9,26	AB	6,22	B	8,89	AB	12,24	B
	(4,01)		(11,18)		(3,99)		(25,06)		(2,41)		(2,26)	
B	9,00	B	7,12	B	9,34	AB	10,37	A	11,83	A	9,75	BC
	(5,55)		(12,56)		(4,84)		(8,15)		(7,51)		(9,57)	
C	14,47	A	12,97	A	5,95	B	2,35	C	8,73	AB	16,48	A

	(1,45)	(4,32)	(3,73)	(7,41)	(2,69)	(3,54)
D	13,92 A (6,84)	7,13 B (6,06)	6,79 B (8,91)	10,93 A (8,00)	11,98 A (4,96)	9,66 BC (7,07)
E	9,71 B (2,18)	9,53 AB (0,55)	11,69 A (8,47)	11,98 A (1,44)	6,39 B (2,59)	8,22 C (7,67)

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p>0,05$). Valores fora dos parênteses representam a resistência à compressão. Valores entre parênteses representam o coeficiente de variação.

Para resistência em função do tempo de cura antes da imersão foi ajustado um modelo cúbico, onde todos os tratamentos, com exceção do tratamento D, apresentaram ajuste ao modelo ($R^2>0,7$), conforme mostra a Figura 2.

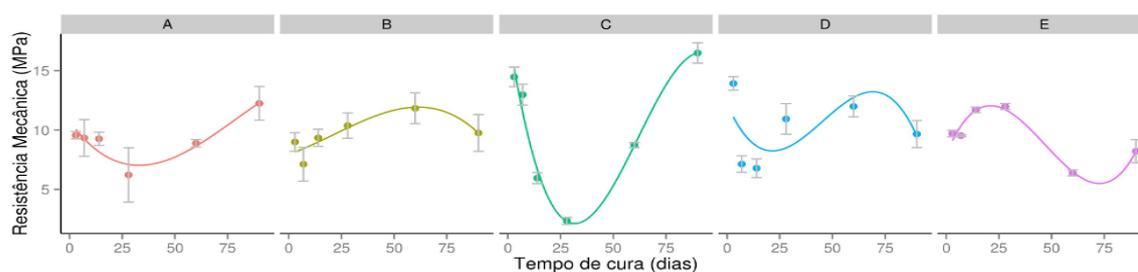


Figura 2: Variação da resistência à compressão ao longo do tempo de cura antes da imersão em água

O índice de absorção de água em água fria, conforme preconiza a norma utilizada no presente trabalho não pode ser inferior a 8% nem superior a 22%. Os valores observados atendem a faixa determinada na norma. Com relação à análise estatística, não houve efeito da interação dos fatores, portanto seguiu-se com a análise do efeito simples dos fatores, conforme mostra a Tabela 7.

Para o efeito dos tratamentos, o tratamento A apresentou o maior índice de absorção de água, o tratamento B não se diferenciou de todos os outros, enquanto os tratamentos C, D e E formaram um grupo com menor índice de absorção.

Tabela 7: Índice de absorção de água

TRATAMENTOS	PORCENTAGEM DE ABSORÇÃO
A	21,02A
B	18,83AB
C	17,54B
D	15,80B
E	16,58B

Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p>0,05$).

Todos os tratamentos apresentaram o mesmo perfil de absorção de água nos diferentes tempos de cura, conforme a Figura 3, havendo diminuição do índice de absorção de água com o aumento dos dias de cura.

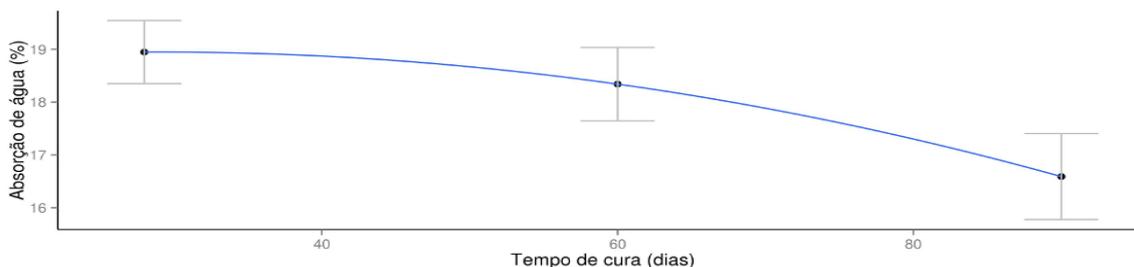


Figura 3: Variação do índice de absorção de água ao longo do tempo de cura

Após a imersão em água, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de resistência à compressão, sendo os resultados apresentados da Tabela 8. Houve efeito estatisticamente significativo para a interação de ambos os fatos, portanto foi analisado o desdobramento da interação.

Tabela 8: Médias da resistência à compressão das composições ao longo do tempo de cura após imersão em água em MPa e coeficiente de variação do ensaio em % de acordo com a NBR 5739/2007- ABNT (12).

TRATAMENTO	TEMPO DE CURA		
	28 DIAS	60 DIAS	90 DIAS
A	4,33 AB (11,38)	5,35 B (2,74)	3,87 B (8,09)
B	5,58 AB (5,54)	6,39 AB (7,18)	4,13 B (1,29)
C	3,28 B (20,77)	7,53 AB (2,61)	5,06 AB (8,65)
D	6,87 A (3,31)	6,06 AB (6,22)	5,61 AB (14,89)
E	3,61 B (7,40)	8,59 A (2,59)	7,31 A (4,06)

Médias seguidas pela mesma letra, na coluna, não diferem significativamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$). Valores fora do parênteses significa a resistência à compressão e os valores entre parênteses representam o coeficiente de variação

Para o efeito do tempo de cura dentro dos tratamentos foi ajustado o modelo quadrático para os tratamentos A e C, que mostraram diferenças significativas ao teste de F. As médias dos tratamentos B, D e E não mostraram diferenças estatisticamente significativas ($p > 0,05$), portanto não foram feitos ajustes para esses tratamentos. Os tratamentos A e C apresentaram comportamento semelhante, tendo um acréscimo na resistência até um período posterior a 60 dias de cura e logo após houve diminuição (Figura 4).

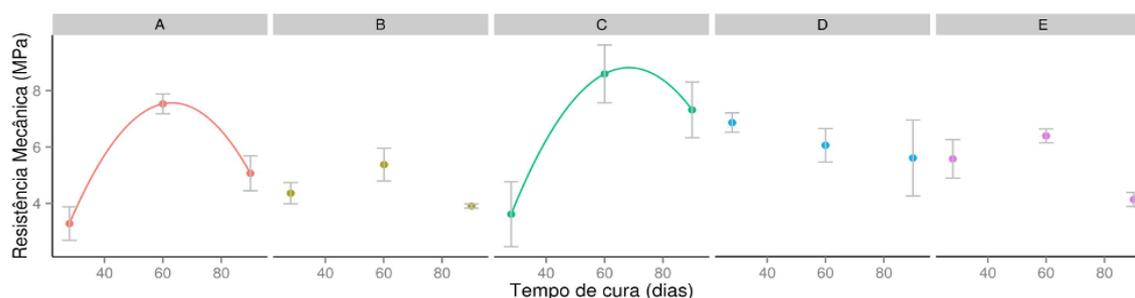


Figura 4: Variação da resistência à compressão ao longo do tempo de cura após a imersão em água

De acordo com os resultados obtidos no ensaio de resistência à compressão antes da absorção de água (Tabela 6), para os blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural os tratamentos A, B e C aos 28 dias não atendem a especificação exigidas de obter no mínimo 3 MPa de resistência, no entanto atende a especificação da NBR 7170 [13], classe A de apresentar no mínimo resistência de 1,5 MPa.

Com relação coeficientes de variação no ensaio dos blocos cilíndricos de concreto têm-se o seguinte resultado: excelentes: - tratamentos C e E aos 3 dias; E aos 7 dias, E aos 28 dias; A, B e E aos 60 dias e A aos 90 dias. Muito bom: - tratamentos A e C aos 14 dias e C aos 90 dias. Bom: - tratamento A aos 3 dias, C aos 7 dias, B aos 14 dias e D aos 60 dias. Razoável no tratamento B em 3 dias. Os demais 14 tempos de cura em

vários tratamentos foram deficientes.

Com relação ao índice de absorção de água, tabela 7, o tratamento A ao longo do tempo de cura não segue o que está estipulado pela norma onde o máximo de absorção é 22%. O tratamento B em 28 e 60 dias não se encaixam considerando o desvio padrão.

As variações nos percentuais do índice de absorção de água encontrados podem ser justificadas em função do teor de cal virgem ainda não ter hidratado. No 28º dia o teor de cal virgem deve ser muito maior do que no 60º dia, e durante a imersão completa em água, os processos de hidratação desta cal devem provocar um crescimento na quantidade de novas formações, diminuindo a porosidade dos materiais através do crescimento de novas formações durante o tempo de hidratação e cura [14].

As resistências dos corpos de prova dos compósitos ao longo do tempo de cura após a absorção de água diminuem conforme tabela 8. Para os blocos cerâmicos para alvenaria de vedação e estrutural apenas os tratamentos A e C aos 28 dias não atendem à resistência mínima exigida pela norma de 3MP considerando o desvio padrão. Os resultados obtidos dos coeficientes de variação indicam que se enquadra em excelentes os tratamentos A, C e E aos 60 dias e B aos 90 dias; em muito bom o tratamento D aos 28 dias e C aos 90 dias; em bom o tratamento E aos 90 dias; em razoável o tratamento B aos 28 dias; e deficientes os demais tratamentos.

Observa-se a inconstância no material ao longo do tempo de cura. Uma justificativa para o fato seria o tamanho das partículas das cinzas de madeira, que impediriam a total interação com os outros componentes, gerando possíveis fraturas, pois as mesmas não foram totalmente destruídas durante o processo de homogeneização dos componentes e conforme estudos [15] quanto menor o tamanho da partícula, maior será a interação entre essas partículas e a matriz, aumentando a resistência e dureza, dificultando o movimento de defeitos no material. Assim, num futuro trabalho é recomendável reduzir e homogeneizar o tamanho das partículas de cinzas.

Outro fator que pode ter influenciado os resultados foi a presença de material orgânico existente na amostra de lodo de estação de tratamento de água, conforme composição química semi-quantitativa por espectrometria de fluorescência de raios-X, onde o mesmo apresenta grande teor de perda ao fogo conforme a tabela 3. Em outros estudos, o lodo de ETA influenciou negativamente no resultado, mas sem impossibilitar sua utilização [16,17].

4. CONCLUSÕES

O compósito estudado apresentou resultados adequados aos exigidos pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas utilizadas nos ensaios para comparação, visto que não há norma específica para o referido compósito.

Os três resíduos industriais abordados nesse trabalho combinados, podem ser utilizados como materiais para fabricação de tijolos e blocos.

O teor de material orgânico presente no lodo de ETA e o tamanho das partículas de cinzas de madeira influenciam na variação das resistências ao longo do tempo de cura.

Como consideração final a maior importância para a utilização dos resultados obtidos neste trabalho pode ser para o meio ambiente, tendo em vista a real possibilidade de utilização de diversos resíduos industriais como matéria-prima, adequando a destinação final, prevenindo uma possível contaminação do meio ambiente, e minimização da extração de recursos naturais.

5. AGRADECIMENTOS

Ao PIPE – UFPR - Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais

Ao LEB – UFPR - Laboratório de Energia de Biomassa

Ao LTM – UFPR - Laboratório de Tecnologia da Madeira

Ao LAMIR – UFPR – Laboratório de Mineralogia

A Sanepar, Trombini S/A e Bosch.

6. BIBLIOGRAFIA

[1] CORDEIRO, L.N.P., MASUERO, A. B., DAL MOLIN, D. C. C. “Análise do potencial pozolânico da cinza de casca de arroz (CCA) através da técnica de Refinamento de Rietveld”, *Matéria (Rio J.)*, v.19, n.2, pp.150-158, Jun 2014.

- [2] BEZZERA, I. M. T., SOUZA, J., CARVALHO, J. B. Q., *et al.* “Aplicação da cinza da casca do arroz em argamassas de assentamento”, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 15, n.6, pp. 639-645, Jun 2011.
- [3] VIEIRA, C.M.F., MARGEM, J.I., MONTEIRO, S.N. “Alterações microestruturais de cerâmica argilosa incorporada com lodo de ETA”, *Matéria (Rio J.)*, v.13, n.2, pp.275-28, Jun 2008.
- [4] TEIXEIRA, S. R., SOUZA, S. A., ALÉSSIO, P., *et al.* “Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural”, *Cerâmica*, v.52, n.323, pp. 215-220, Jul/Set 2006.
- [5] TARTARI, R., DIAZ-MORA, N., MÓDENES, A. N., *et al.* “Lodo gerado na estação de tratamento de água Tamanduá, Foz do Iguaçu, PR, como aditivo em argilas para cerâmica vermelha. Parte I: Caracterização do lodo e de argilas do terceiro planalto paranaense”, *Cerâmica*, v. 57, n. 343, pp. 288-293, Jul/Set/2011.
- [6] TRUGILHO, P. F., LIMA, J. T., MENDES, L.M. “Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus Saligna*”. Editoria, REVISTA CERNE, em http://www.dcf.ufpa.br/cerne/artigos/16-02-20093358v2_n1_artigo%2009.pdf. Acessado em novembro de 2011.
- [7] FADANELLI, L. E. A., WIECHETECK, G. K. “Estudo da utilização do lodo de estação de tratamento de água em solo cimento para pavimentação rodoviária”, *Revista de Engenharia e Tecnologia*. v.2, n. 2, pp. 31-37, Agosto/2010
- [8] TSUTUYA, M. T., HIRATA, A. Y. “Aproveitamento e Disposição Final de Lodos de Estação de Tratamento de Água do Estado de São Paulo”. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 21, pp. 1-9, ABES: João Pessoa, 2001.
- [9] GUIMARÃES, J. E.P. *A cal: fundamentos e aplicações na engenharia civil*. 2 ed., São Paulo, Editora Pini, 2002.
- [10] ANÔNIMO (2005), NBR 15270-1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [11] ANÔNIMO (2005), NBR 15270-2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [12] ANÔNIMO (2007) NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [13] ANÔNIMO (1983) NBR 7170: Tijolos maciços para alvenaria. Rio de Janeiro, ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- [14] PAIVA, S.C., GOMES, E. A. O., OLIVEIRA, R. A. “Controle de qualidade da cal para argamassas - metodologias alternativas”, *Revista Ciência e Tecnologia*, Unicap. Julho-dezembro, Pernambuco, 2007.
- [15] CALLISTER, W.D. *Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução*, 5ed., São Paulo, LTC, 2002.
- [16] HOPPEN, C., PORTELLA, K. F., JOUKOSKI, A., *et al.* “Co-disposição de lodo centrifugado de Estação de Tratamento de Água (ETA) em matriz de concreto: método alternativo de preservação ambiental”, *Revista Cerâmica*, v. 51, n. 318, pp. 85-95, Jun. 2005.
- [17] PAIXÃO, L. C. C., YOSHIMURA, H. N., ESPINOSA, D. C. R. *et al.* “Efeito da incorporação de lodo de ETA contendo alto teor de ferro em cerâmica argilosa”, *Revista Cerâmica*, v. 54, n.329 , Jan/mar, São Paulo, pp.63-76, 2008.
- [18] PORTELLA, K.F., ANDREOLI, C.V., HOPPEN, C., *et al.* “Caracterização físico-química do lodo centrifugado da estação de tratamento de água Passaúna – Curitiba/PR”. In: *22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária Ambiental*, Joinville, 2003.
- [19] PELANDA, K.A., POTULSKI, D.C., SILVA, D.A. “Avaliação das possíveis implicações do uso de diferentes biomassas florestais como biocombustíveis em geradores de vapor”, *Ciência da Madeira (Brazilian Journal Of Wood Science)*. v. 6, n. 2, pp. 112-121, 2005.
- [20] CORRÊA, S. M. *Compósito à base de resíduos de concreto e resíduos da produção de cal*. Dissertação de M.Sc., PIPE- Programa de Pós Graduação em Engenharia de Materiais – UFPR, Curitiba – PR, 2005.