

Utilização do resíduo de bauxita na fabricação de artefatos de concreto

(Use of bauxite residue in manufacturing of concrete artifacts)

W.M.T. Santos¹; F. R. Lucas¹; T. M. Rodrigo¹; R. F. Elaine²

Universidade Federal do Maranhão 1
Av. dos Portugueses, 1966, Bacanga - São Luís - MA
E-mail: wener.santos@ufma.br
Instituto Federal do Maranhão 2
Av. Getúlio Vargas, Nº 04, Monte Castelo, São Luís-MA

Resumo

Este estudo objetivou fornecer subsídios técnicos e científicos, quanto ao uso do resíduo de bauxita como agregado fino em argamassa de cimento para confecção de blocos de pavimentação, gerando um produto aplicável no setor de construção civil atendendo as normas específicas da ABNT. As amostras foram preparadas com percentuais diferenciados de resíduo de bauxita substituindo a areia, correspondendo as quantidades mássicas (em kg) de cimento, de areia, de brita, de água e de resíduo de bauxita, respectivamente para se fazer determinado volume de concreto. As análises de lixiviação e solubilidade submetido nos corpos-de-prova permitiu a classificação desejada das amostras de acordo com a norma ambiental. Em geral, os resultados obtidos foram considerados satisfatórios pois o objetivo de aplicação do resíduo de bauxita sem junto a argamassa atenderam aos requisitos da norma ambiental brasileira.

Palavras-chaves: resíduo de bauxita, intetravados, areia e concreto.

Abstract

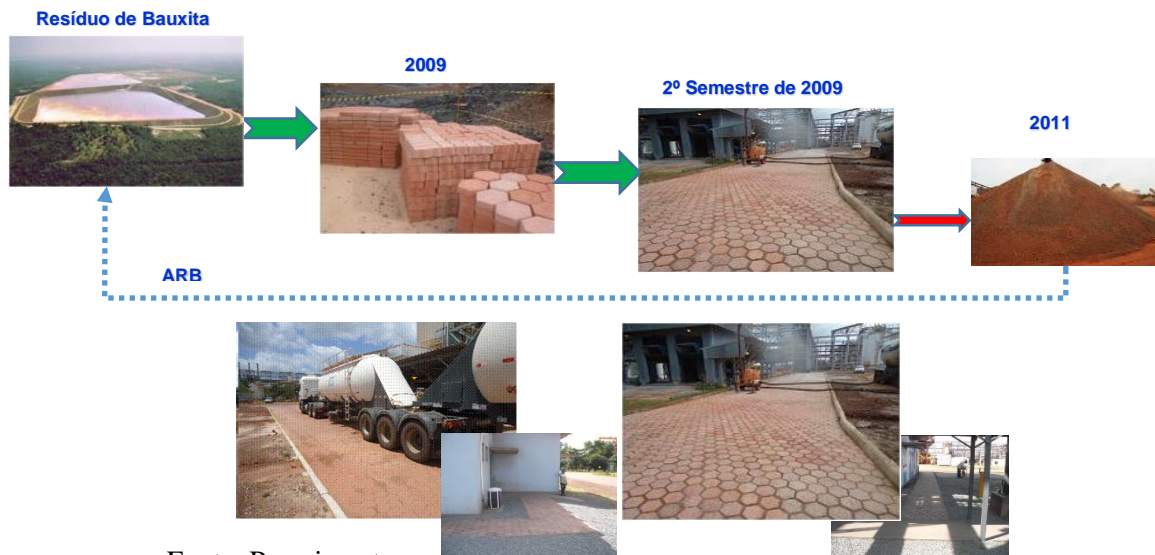
This study aimed to provide technical and scientific subsidies on the use of bauxite residue as a fine aggregate in cement mortar for the construction of paving blocks, generating a product applicable in the civil construction sector, complying with ABNT specific standards. The samples were prepared with differentiated percentages of bauxite residue replacing the sand, corresponding to the mass quantities (in kg) of cement, sand, gravel, water and bauxite residue, respectively, to make a concrete volume. The leaching and solubility analyzes submitted to the specimens allowed the desired classification of the samples according to the environmental standard. In general, the results obtained were considered satisfactory because the objective of application of bauxite residue without mortar met the requirements of the Brazilian environmental standard.

Keywords: bauxite residue, inte-grated, sand and concrete.

INTRODUÇÃO

Os problemas ambientais provenientes da disposição não adequada do resíduo da bauxita vão desde a contaminação das águas superficiais e subterrâneas, contaminação do solo, danos à flora e à fauna, corrosão de equipamentos metálicos até o impacto visual sobre extensas áreas. Os custos associados ao manejo e disposição do resíduo da bauxita representam uma grande parte dos custos de produção da alumina (HIND, 1999). Com a finalidade de valorizar a aplicação do resíduo da bauxita para produção de diferentes materiais, a construção civil apresenta um cenário favorável para este desenvolvimento. Estudos realizados por autores de diferentes países valorizando o resíduo da bauxita para fabricação de produtos cerâmicos e artefatos de concreto foi comprovado na fabricação e pavimentação de bloquetes em uma fabricante de alumina no Nordeste. No presente trabalho, iniciado no ano de 2009, buscou avaliar o uso do resíduo da bauxita em substituição a areia na composição da argamassa de concreto para produção de blocos intertravados para fins de pavimentação. O ciclo de uso e aplicação está demonstrado na figura 01.

Figura 01 - Ciclo de análise do produto com agregado de bauxita



Fonte: Proprio autor

MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados para análise foi cimento Portland CP II Z 32 RS (Resistencia a sulfato) do fabricante Poty, em sua composição, de 6 a 14% de pozolana e até 10% de material carbonático, agregados (areia e brita), água e resíduo de bauxita.

O método adotado foi a preparação das amostras variando o teor de areia e resíduo de bauxita, que correspondem as quantidades mássicas (em kg) para se fazer determinado volume de concreto, conforme tabela 1. Submetemos a determinação da resistência à compressão axial, nas idades de 3, 7 e 28 dias conforme NBR 5739, análise de fluorescência de raio X, lixiviação, solubilidade, análise termogravimétrica e difração de raios-X.

Tabela 1- Composição das amostras

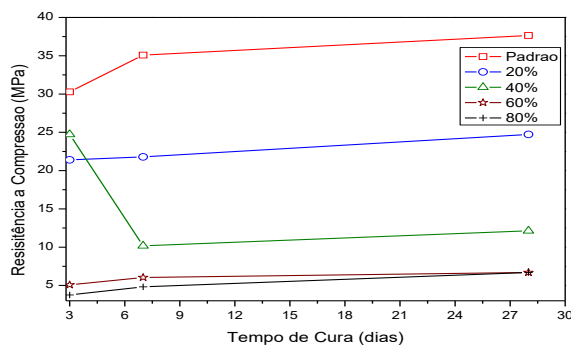
Amostras	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita (kg)	Residuo de Bauxita (kg)
Amostra 1(0%)	55	130	75	0
Amostra 2(20%)	55	104	75	26
Amostra 3(40%)	55	78	75	52
Amostra 4(60%)	55	52	75	78
Amostra 5(80%)	55	26	75	104

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Resistência a compressão

Na amostra padrão a resistência aumenta com o tempo, conforme gráfico 1, enquanto que a adição de resíduo de bauxita na argamassa, substituindo a areia, provocar uma diminuição dessa propriedade mecânica das amostras.

Gráfico 1 Variação da resistência a compressão com 3, 7 e 28 dias de cura.



Na amostra 1 que não contém resíduo de bauxita, denominada amostra padrão, a resistência a compressão, no terceiro dia de cura, inicia com 30 MPa, aumentando gradativamente. No vigésimo oitavo dia apresenta valor de 36 MPa. Para a amostra 2, substituído 20% da areia pelo resíduo de bauxita, a resistência no terceiro dia de cura iniciou com 21 MPa e no vigésimo oitavo dia atingiu o valor de 24 MPa, mostrando que a adição deste percentual já provoca uma redução significativa na resistência a compressão do corpo de prova, porém o comportamento da cura ainda foi ligeiramente semelhante ao da amostra 1, ou seja, a resistência aumenta com o tempo de cura. A amostra 3, substituído 40% da areia pelo resíduo de bauxita, a resistência no terceiro dia de cura iniciou com 25 MPa. No sétimo dia de cura, ocorreu uma redução em sua

resistência para 10 MPa e no vigésimo oitavo dia teve um ligeiro aumento para 12MPa. A hipótese mais provável da ocorrência desse fenômeno é devido ao aumento de ligações Al-O-Si e Fe-O-Si e, conseqüente redução das ligações Si-O-Si, que influencia na geometria do complexo formado com a polimerização da estrutura cimentícia. Isso é provocado pela menor energia de ativação necessária para a formação, principalmente, das ligações Al-O-Si, o que muda a estrutura do complexo formado e, com isso, uma maior retenção de água por difusão favorecida principalmente pelo alto teor de sódio presente no sistema. Na amostra 4, onde houve a substituição da areia por 60% de resíduo de bauxita, a resistência na cura no terceiro dia teve uma redução significativa em relação a amostra 1, iniciado com 5MPa e no vigésimo oitavo dia atingiu o valor de 7MPa. Fato semelhante ocorreu na amostra 5, onde houve a substituição da areia por 80% de resíduo de bauxita, a resistência na cura no terceiro dia iniciou com 2MPa e no vigésimo oitavo dia um valor de 7MPa, ficando com mesma resistência da amostra 4.

Análise de fluorescência de raios X- EDX

Conforme dados obtidos pela fluorescência de raios-X nas amostras, conforme tabela2, verifica-se que o teor de alumina cresce a medida que se adiciona o resíduo de bauxita nas amostras sofrendo um aumento progressivo em todas as composições, com variação de 5 a 10%. Esse era um comportamento esperado pois, na composição do resíduo de bauxita, observa-se um teor muito alto de óxido de alumínio residual devido a quantidade de alumina ainda contido no resíduo de bauxita, após o final do processo Bayer. Comportamento semelhante é apresentado pelo teor de ferro, que também aumenta, tendo uma variação de 2 a 13%. Esse fenômeno ocorre pelo fato do minério bauxita apresentar elevado teor de óxido de ferro em sua composição. Já para a sílica o comportamento observado é inverso. A adição do resíduo provoca uma redução em seu quantitativo devido ao baixo teor de sílica no resíduo e a retirada da areia na composição de cada amostra. Essa variação é inversamente proporcional a adição do resíduo na composição. Quando a percentagem de resíduo aumenta de 0 a 80%, o teor de sílica diminui de 70 para 45%. Observa-se que o teor de sódio tem um aumento progressivo, mas fica inferior a 4,5% na composição. Esse teor de sódio presente provém do processo Bayer, onde a solubilização do óxido de alumínio na bauxita ocorre em meio fortemente básico, gerado pela solução de hidróxido de sódio. Observa-se também um pequeno aumento do teor de cálcio, que tem uma variação de 8 a 15%, devido a presença de calcita na composição da bauxita. Com estas variações a resistência dos blocos intertravados, foi fortemente influenciada pela diminuição do teor de sílica e aumento do teor de óxido de alumínio e, principalmente, do teor

de óxido de ferro que influenciaram negativamente a propriedade resistência a compressão, que teve uma variação média de 33 MPa para 6 MPa.

Tabela 1 Resultado da fluorescência em 3, 7 e 28 dias de cura.

Amostras	Cura com 3 dias					Cura com 7 dias					Cura com 28 dias				
	A1 (0%)	A2(20%)	A3(40%)	A4(60%)	A5(80%)	B1(0%)	B2(20%)	B3(40%)	B4(60%)	B5(80%)	C1(0%)	C2(20%)	C3(40%)	C4(60%)	C5(80%)
Al2O3	5,3	8,59	9,2	9,63	10,49	4,67	7,51	9,6	11,58	9,56	7,53	7,48	10,15	11,81	11,19
SiO2	69,29	61,28	57,07	58,41	44,95	73,41	70,35	50,73	51,79	37,04	69,01	59,63	51,92	54,43	47,71
Fe2O3	2,14	5,72	8,29	8,24	11,8	2,07	5,25	9,39	10,98	9,09	2,92	4,92	9,94	9,48	13,32
TiO2	0,24	0,53	0,92	0,89	1,33	0,26	0,46	0,79	1,22	1,11	0,31	0,47	0,84	1,15	1,57
Ga2O3	0,000	0,000	0,0009	0,0015	0,0028	0,00	0,00	0,001	0,0027	0,0024	0,00	0	0,0034	0,0025	0,0034
MnO	0,026	0,067	0,034	0,028	0,022	0,03	0,047	0,035	0,044	0,037	0,044	0,052	0,036	0,041	0,031
ZrO2	0,025	0,054	0,08	0,073	0,093	0,02	0,058	0,101	0,095	0,055	0,023	0,053	0,103	0,065	0,116
Na2O	1,108	2,252	2,829	2,829	3,798	0,979	1,828	2,486	3,814	2,992	1,578	1,901	2,648	4,051	4,269
CaO	12,099	14,319	13,468	12,63	10,757	8,67	10,398	11,372	12,274	15,88	14	12,908	11,602	11,515	12,065
SO3	0,562	0,746	0,622	0,594	0,525	0,446	0,539	0,582	0,567	0,846	0,73	0,682	0,614	0,521	0,608
P2O5	0,157	0,1	0,154	0,149	0,127	0,072	0,075	0,083	0,166	0,099	0,108	0,089	0,085	0,171	0,146
V2O5	0,025	0,032	0,036	0,037	0,044	0,017	0,031	0,041	0,04	0,037	0,029	0,028	0,037	0,039	0,042
Cr2O3	0,011	0,013	0,014	0,014	0,016	0,01	0,01	0,015	0,018	0,013	0,01	0,011	0,015	0,017	0,018

A presença dos óxidos de silício, SiO₂, e cálcio, CaO, influenciaram diretamente na composição dos principais minerais do cimento. O CaO livre, com elevado teor de cal livre (CaO) no cimento, pode provocar efeitos expansivos no concreto, devido ao aumento de volume do hidróxido de cálcio Ca(OH)₂ resultantes da hidratação da cal.

Análise de Lixiviação

Quanto a análise de lixiviação a estabilidade química e o grau de imobilização de contaminantes quando em contato com solventes, como a água, e sua capacidade de transferência encontrou-se resultados para as amostras abaixo dos parâmetros inorgânicos estabelecidos na Norma 10005:2004. A amostra 3 foi a que apresentou o maior resultado para o elemento bário, 2,3 mg/L; a amostra 2 foi a que mostrou maior valor para fluoreto, 1,0 mg/L; e a amostra 5 foi a que apresentou maior valor para o elemento cromo, 0,126 mg/L. Os demais elementos ficaram abaixo dos parâmetros inorgânicos estabelecidos pela Norma (Tabela 3).

Tabela 2 Resultado dos Parâmetros Inorgânicos: NBR 10005:2004 das amostras (mg/L).

AMOSTRAS (mg/L)	Arsênio	Bário	Cádmio	Chumbo	Cromo	Fluoreto	Mercúrio	Prata	Selênio
Norma	<1,0	<70	<0,5	<1,0	<5,0	<150	<0,1	<5,0	<1,0
Amostra 1	< 0,01	0,080	< 0,001	< 0,01	0,019	0,2	< 0,00005	< 0,005	<0,008
Amostra 2	< 0,01	0,022	< 0,001	< 0,01	0,016	1,0	< 0,00005	< 0,005	<0,008
Amostra 3	< 0,01	2,3	< 0,001	< 0,01	< 0,01	0,2	< 0,00005	< 0,005	<0,008
Amostra 4	< 0,01	1,6	< 0,001	< 0,01	0,114	0,7	< 0,00005	< 0,005	<0,008
Amostra 5	< 0,01	< 0,01	< 0,001	< 0,01	0,126	0,4	< 0,00005	< 0,005	<0,008

Análise de Solubilidade

Na solubilidade as concentrações dos elementos contidos nas amostras (Tabela 4), observa-se que todos os parâmetros orgânicos atendem aos requisitos estabelecidos pela Norma 1006:2004, exceto o índice de fenois. Quanto aos parâmetros inorgânicos, previstos na mesma Norma 1006:2004, observa-se que alguns elementos apresentam concentração acima dos limites estabelecidos, conforme tabela 5, comparando os resultados obtidos com os valores máximos permitidos pela NBR 10004:2004, a amostra 1 que a concentração de alumínio e índice de fenóis ultrapassaram os limites máximos permitidos em 1,0 mg/L e 0,18 mg/L respectivamente. A amostra 2, também foi encontrada variação no teor de alumínio de 10mg/L, além de um teor de cromo de 0,061 mg/L, de um índice de fenóis de 0,10 mg/L e de um teor de sódio de 320 mg/L, ultrapassando limites máximos permitidos. Para a amostra 03 foi encontrado um teor de alumínio de 4,3 mg/L, um índice de fenóis de 0,13 mg/L e um teor de sódio de 277mg/L, ficando também acima da especificação limite estabelecida pela Norma. O comportamento da amostra 04, foi semelhante ao da 03. O teor de alumínio apresentou um valor de 12 mg/L, o cromo de 0,162 mg/L, um índice de fenóis de 0,074 mg/L e um teor de sódio com 388 mg/L, ultrapassando também os limites máximos previstos na norma. A amostra 5 apresentou 21,6 mg/L valor de concentração para o alumínio, concentração de cromo de 0,537 mg/L, valor de índice de fenóis 0,18 mg/L, concentração sódio 709 mg/L e concentração de fluoreto com 2,4 mg/L, todos ultrapassam os limites máximos previstos pela Norma. Este índice de fenóis encontrados nas amostras foi provavelmente decorrente do flocculante utilizado no processo de precipitação da bauxita, especificamente nos tanques denominados lavadores. Os elementos como arsênio, cádmio, chumbo, mercúrio, manganês ficaram bem abaixo dos limites estabelecidos pela norma vigente. O cromo apresenta uma variação de 0,05 mg/L na amostra 1, que é a padrão, e 0,6 mg/L na amostra 5.

Tabela 3 Solubilidade Parâmetros Orgânicos: NBR 10006:2004

Parâmetro Orgânicos	2,4,5-T	2,4,5-TP	2,4-D	Aldrin e Dieldrin	Clordano (isômeros)	DDT (isômeros)	Endrin	Heptacloro e seu epóxido	Hexaclorobenzeno	Lindano (g BHC)	Metoxicloro	Toxafeno
Unidade	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
NBR10006:2004	$2,0 \times 10^{-3}$	0,03	0,03	$3,0 \times 10^{-5}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-3}$	$6,0 \times 10^{-4}$	$3,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-3}$	$2,0 \times 10^{-3}$	0,02	$5,0 \times 10^{-3}$
Amostra 1 (0%)	<0,001	<0,001	<0,0005	$<3,0 \times 10^{-5}$	<0,0001	<0,0005	<0,0001	$<2,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	$<5,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	<0,0001
Amostra 2 (20%)	<0,001	<0,001	<0,0005	$<3,0 \times 10^{-5}$	<0,0001	<0,0005	<0,0001	$<2,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	$<5,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	<0,0001
Amostra 3 (40%)	<0,001	<0,001	<0,0005	$<3,0 \times 10^{-5}$	<0,0001	<0,0005	<0,0001	$<2,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	$<5,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	<0,0001
Amostra 4 (60%)	<0,001	<0,001	<0,0005	$<3,0 \times 10^{-5}$	<0,0001	<0,0005	<0,0001	$<2,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	$<5,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	<0,0001
Amostra 5 (80%)	<0,001	<0,001	<0,0005	$<3,0 \times 10^{-5}$	<0,0001	<0,0005	<0,0001	$<2,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	$<5,0 \times 10^{-5}$	<0,0005	<0,0001

Tabela 4 Solubilidade Parâmetros Inorgânicos: NBR 10006:2004

Parâmetro Inorgânicos	Alumínio	Arsênio	Bário	Cádmio	Chumbo	Cianetos	Cloretos	Cobre	Cromo Total	Fenóis Totais	Ferro	Fluoretos	Mangans	Mercurio	Nitrato (como N)	Prata	Selênio	Sódio	Sulfato (expresso como SO ₄)	Surfactantes	Zinco
Unidade	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
NBR 10006:2004	0,2	0,01	0,7	0,005	0,01	0,07	250	2	0,05	0,01	0,3	1,5	0,1	0,001	10	0,05	0,01	200	250	0,5	5
Amostra 1 (0%)	1,0	<0,01	0,107	<0,001	<0,01	<0,05	<10,0	<0,005	<0,01	0,18	<0,01	< 1,0	<0,01	<0,00005	< 1,0	<0,005	<0,008	12,2	< 10,0	0,29	<0,01
Amostra 2 (20%)	10	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,05	<20,0	<0,005	0,061	0,10	0,011	< 2	<0,01	<0,00005	< 2	<0,005	<0,008	320	43	0,28	<0,01
Amostra 3 (40%)	4,3	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,05	<10,0	<0,005	0,042	0,13	<0,01	< 1	<0,01	<0,00005	< 1	<0,005	<0,008	277	22,8	0,29	<0,01
Amostra 4 (60%)	12	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,05	<10,0	<0,005	0,162	1,10	0,206	0,074	<0,01	<0,00005	< 1	<0,005	<0,008	388	116	0,3	<0,01
Amostra 5 (80%)	21,6	<0,01	<0,01	<0,001	<0,01	<0,05	<20,0	<0,005	0,537	0,18	0,238	2,4	<0,01	0,00007	< 2	<0,005	<0,008	709	365	0,32	<0,01

Análise termodiferencial - TGA

Quando se analisa a resistência das amostras a degradação térmica, com a adição de resíduo de bauxita, pode-se observar nas figuras 2, 3 e 4 que o comportamento é semelhante independente do tempo de cura. Em todas as amostras, observa-se uma perda de aproximadamente 5% de água, até 100°C. Após essa perda, para praticamente todas as amostras, foi observado uma perda de massa de minerais de aproximadamente 5%, na faixa de temperatura de aproximadamente 200 até 1000°C. As maiores perdas ocorreram nas amostras com maior teor de lama. Esse fenômeno nessa faixa pode estar associado a desidratação da gibbsita, ao início do processo de desidroxilação da portlandita e a decomposição de diáspora, respectivamente.

Figura 21 : Análise TGA e DTA nas amostras com 3 dias de cura

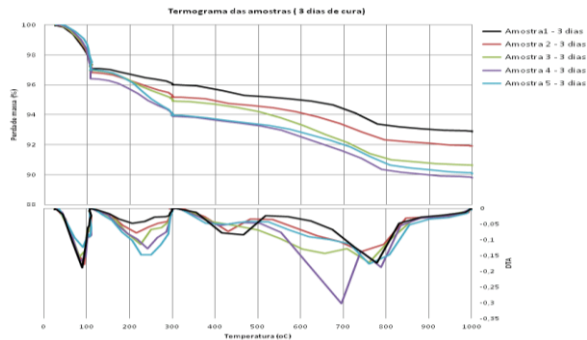
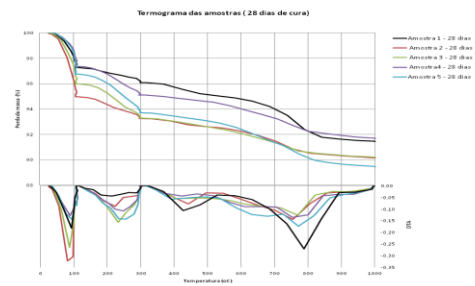
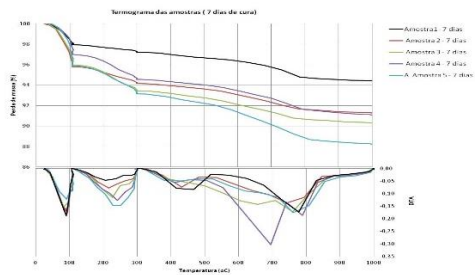


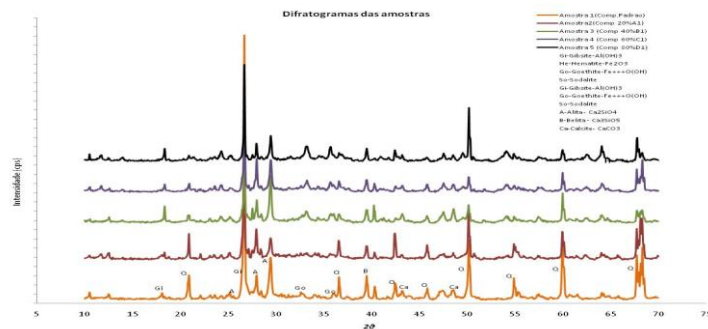
Figura 2: Análise TGA e DTA nas amostras 7 dias de cura **Figura 3: Análise TGA e DTA nas amostras 28 dias de cura**



Análise de difração raios-X

Na figura 5, pode se observar os difratogramas de cada amostra. Nela identifica-se qualitativamente nas fases cristalinas presentes nas composições a presença da gibsita, quartzo, calcita, alita e belita, em todas as amostras. Quando se analisa os picos existentes no difratograma constata-se que quando se substitui gradativamente a areia pelo resíduo de bauxita, há uma redução da gibsita, da belita e do quartzo, que têm influência direta na resistência a compressão do material, conforme pode ser observado no gráfico 1. Observa-se com isso que a adição do resíduo de bauxita na argamassa com o cimento CP-II-Z-32-RS não gerou a formação de novas fases cristalinas nas amostras.

Figura 4: Difratograma das amostras



Aplicação dos blocos intertravados

Neste trabalho blocos intertravados foram confeccionados e submetidos a uma aplicação em campo, visando avaliar suas propriedades mecânicas e as possíveis modificações físico-químicas que podem ocorrer durante o período de aplicação na área industrial de uma indústria de alumina no Nordeste.

Figura 5: Difratograma das amostras



CONCLUSÕES

O uso do resíduo de bauxita como substituto parcial da areia na composição de argamassa de cimento para confecção de blocos intertravados para pavimentação é uma alternativa viável financeira e ecologicamente. Existe uma dependência entre a quantidade de lama vermelha utilizada, e a resistência desejada. A substituição de 20% de areia pelo resíduo, na composição da argamassa de cimento resultou numa resistência superior a 20 MPa e substituindo em até 40% obteve-se uma resistência superior a 10MPa. Na caracterização química das amostras confeccionadas temos variações dos elementos devido a adição do resíduo, onde os elementos que tiveram o aumento mais significativo nas amostras foram alumina, ferro, sódio e o cálcio. Esta variação nos elementos químicos nas amostras causara um impacto na resistência mecânica das amostras, comprometendo a quantidade de resíduo adicionado nos blocos com objetivo de substituir a maior quantidade possível de areia. Com os resultados obtidos à medida que substituímos a areia pelo resíduo foi possível comprovar que não houve mudança de fases cristalinas nas amostras. Todas as amostras foram submetidas às análises de lixiviação e solubilidade. O resíduo de bauxita pertence à classe I, muito perigoso. Nas análises de lixiviação todas as amostras obtiveram resultados de classe II-A não inerte, sendo excelente resultado, pois a preocupação com o sódio, o cálcio e outros elementos demonstra que com estes materiais selecionados podemos blende-los no concreto sem alterar sua condição original. Já na solubilidade todas as amostras classificaram-se como classe II-A não inerte. No geral os resultados foram satisfatórios onde se conseguiu alterar o resíduo de bauxita junto com cimento da classe I para classe II-A. A resistência dos blocos utilizando o resíduo para substituir areia apresentou perdas, porém para meio ambiente se torna uma opção viável para os dois setores, onde um quer destinar o seu subproduto e outra ter uma alternativa legal e ordenada do uso da areia, podendo ter o custo em ambas condições favoráveis. Os demais resultados obtidos nos tendenciona a acreditar que há um potencial a ser desenvolvido aplicando este material no setor da construção civil.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos os discentes e pesquisadores envolvidos no projeto para encontrar as opções mais viável técnica e financeiramente para uso do resíduo de bauxita no segmento da construção civil.

REFERÊNCIAS

1. ABAL. (2010). *ABAL-Associação Brasileiro do Alumínio*. Acesso em 13 de setembro de 2010, disponível em www.abal.com.br.
2. ABNT. (2004). NBR 10.004 - Resíduos Sólidos. *Associação Brasileira de Normas Tecnicas* .
3. ABNT. (2004). NBR 10005:2004 . *Procedimento para obtenção de extrato lixiviado de resíduos sólidos* .
4. BRUNORI, C. C. (2005). Reuse of a treated red mud bauxite waste: studies on environmental compatibility. *Journal of Hazardous Materials*, v. 117, n.1 , 55-63.
5. Caio C. Liberato, R. C. (1998). *IMPACTO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAMA VERMELHA NAS*. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
6. HIND, R. A. (1999). “*The surface chemistry of Bayer process solids: a review*”, *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*.
7. CHAVES, A. G. (1962). A lama vermelha e sua eliminação da fábrica de alumina. *2º semana de estudos. Alumínio e Zinco. Sociedade de Intercâmbio Cultural e Estudos Geológicos dos Alunos da Escola de Minas de Ouro Preto*. Ouro Preto.
8. CHVEDOV, D. (2001). Surface Properties of Red Mud Particles from Potentiometric Titration. *Colloids SurfA* , 183.