

ANÁLISE DO DESEMPENHO DO BLOCO DE SOLO-CIMENTO CONSIDERANDO VARIAÇÕES NA QUANTIDADE DE RESÍDUO DE VIDRO DE GARRAFAS E LODO (CALCINADO) DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA

Abimael Ribeiro Martins¹, Trajano Machado Gontijo Neto², Paulo dos Santos Batista³, Adriano dos Guimaraes de Carvalho⁴, Caio Lucas dos Santos⁵, Kamylla Braga Ribeiro⁶.

¹Bacharelado Engenharia Elétrica - Campus Palmas - IFTO. Bolsista CNPq e-mail: abimael.rib@gmail.com

²Bacharelado de Engenharia Civil – Campus Palmas – IFTO. Bolsistas do CNPq. E-mail: trajanogontijo@gmail.com

³Prof. Dr. Coordenação de ciências matemáticas e naturais – Campus Palmas - IFTO. E-mail: pbatista@ifto.edu.br

⁴Prof. Me. Coordenação de engenharia Civil – Campus Palmas - IFTO. E-mail: agcarvalho@ifto.edu.br

⁵Bacharelado de Engenharia Civil – Campus Palmas – IFTO. Bolsistas do CNPq. E-mail: kamyllabraga@hotmail.com

⁶Bacharelado de Engenharia Civil – Campus Palmas – IFTO. Bolsistas do CNPq. E-mail: caioxx926@gmail.com

Resumo: Este trabalho avaliou a partir de blocos prensado de uma mistura pulverulenta e umedecida de solo arenoso, cimento e vidro e lodo da estação de tratamento de água, a resistência a compressão e absorção de água do material. Para a avaliação do tijolo, foi investigada a relação entre o teor de vidro de garrafa e lodo calcinado introduzido em relação a quantidade de solo presente no material. O emprego do vidro triturado, proveniente de garrafas não retornáveis garante a reciclagem deste material na cidade de Palmas/TO, diminuindo a pressão sobre a extração de matéria prima in natura e também evitando o descarte inadequado destas garrafas em aterros sanitários. O resíduo lodo utilizado foi o produzido a partir do processo de purificação da água na estação de tratamento (ETA - 6), e foi calcinado a 900°C. Como resultado, busca-se estimar a correlação entre quantidade de resíduos que poderão ser incorporados a essa matriz de solo cimento e avaliar a influência dessas adições sobre a resistência mecânica e estabilidade dimensional do material para emprego na construção civil, tendo como objetivo obter valores em resistência próximo ao dos blocos de vedação já comercializados no mercado.

Palavras-chave: bloco solo cimento, resíduos, sustentabilidade;

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, observamos que tanto as paisagens naturais, bem como o cenário urbano tem sofrido alteração em um ritmo muito acelerado. Essas alterações na paisagem são um problema a ser enfrentado, e estão relacionadas à ação antrópica. A situação requer planejamento e exige soluções, que atendam e possam mitigar esse problema a curto, médio e longo prazo. De uma maneira geral, segundo a Organização das Nações Unidas - ONU: habitação, água, energia e alimentos são necessidades básicas à manutenção da vida no planeta.

O aumento do consumo de recursos naturais, como forma de atender a manutenção da vida humana está intimamente associado com o desenvolvimento da era agroindustrial-tecnológica, do crescimento demográfico que, por conseguinte promove a alteração da paisagem natural e do cenário urbano, através de um desequilíbrio ambiental. Contudo, o aumento de problemas ambientais relacionados a esse desequilíbrio, também tem proporcionado o surgimento de ações que procuram minimizar esses efeitos. Essas ações, principalmente fundamentadas na conscientização ambiental motivam atitudes como: reciclagem, reutilização e reaproveitamento de materiais e matérias-primas, redução principalmente do consumo, e traduzem-se em uma nova maneira de repensar o uso recursos naturais e da energia.

Neste contexto, aliar a necessidade básica de moradia, estudando e desenvolvendo novos materiais e produtos para a construção civil, que alinhados com o reaproveitamento e a reciclagem de matérias-primas torna-se altamente desejável. Ainda, promover um maior conforto térmico, nessas habitações com uma menor demanda energética são ações, que podem influenciar positivamente na mudança do cenário atual de desequilíbrio ambiental.

O projeto em questão é fruto do processo de práticas sustentáveis e reflete uma preocupação com a produção de resíduo inorgânico industrial, fruto de uma atividade diária e fundamental conhecida como o tratamento de água para fins de abastecimento público. Esse processo é realizado em uma estação de tratamento de efluentes, conhecida como ET'S, mais especificamente ETA'S quando essas estações tratam a água.

O processo de tratamento baseia-se na eliminação da turbidez através de um processo de coagulação. Nesse processo podem ser aplicadas um conjunto de substâncias dentre elas o sulfato de alumínio, cloreto férrico, etc. A formação de um coágulo torna possível a remoção das partículas em suspensão que estão presentes na água. Esse coágulo, ou floco, sedimenta depositando-se na forma de Lodo fundo dos tanques de sedimentação. Como consequência, ao final dessa etapa eles são removidos através de um sistema de filtração para serem estocados.

Assim, desenvolver novos materiais para a construção civil, tais como: tijolos prensados hidráulicamente de solo-cimento com vidro triturados de garrafas e lodo de sulfato de alumínio é uma das formas de auxiliar na destinação final deste material em cidades distantes de centros recicladores. Todavia, tal pesquisa pode auxiliar positivamente na diminuição da pressão por extração de matéria prima in natura, solo e agregado miúdo, em paisagens naturais, e também na diminuição da quantidade destes materiais de baixíssima degradabilidade, em aterros sanitários destas cidades, como por exemplo na cidade de Palmas, contribuindo para a preservação ambiental.

2 REFERENCIAL TEÓRICO/ESTADO DA ARTE

A preocupação com o grave problema da geração de resíduos, vem cada vez mais despertando na sociedade a conscientização da necessidade de realização de estudos com vistas a melhorar o ciclo de produção e adequar a destinação dos resíduos gerados. (Almeida, 2000).

Atualmente, a sustentabilidade é um dos temas que mais tem sido abordado por todo o mundo, desde a revolução industrial, processos industriais se tornaram algo presente nas mais diversas situações. Um dos processos atualmente mais utilizados, e que gera um grande número de resíduos, é o do tratamento de água. “O crescimento da demanda por água potável tem implicado em um aumento da quantidade de resíduos nas estações de tratamento de água (ETA). Apesar destes terem sido gerados

por processo erosivo do solo nos mananciais que antecedem as ETAs, o tratamento químico requerido para a sua remoção obriga a uma disposição correta para não impactar, negativamente, o meio ambiente. Até agora, o destino mais comum para o lodo de ETA são os cursos d'água, mesmo ele sendo considerado um resíduo sólido.” (C. Hoppen, 2005).

Ainda Segundo Vítório (2001) “O destino final dos resíduos produzidos nos sistemas de tratamento de água e esgotos é uma preocupação mundial. Embora a maioria dos países desenvolvidos já tenha adequado seus sistemas para gerenciar os resíduos produzidos no processo de tratamento, atualmente, um grande número de estações de tratamento de água ainda lança esse material diretamente nos cursos d'água, principalmente nos países em desenvolvimento.”

O tratamento de água é indispensável para a vida nas cidades, desde as mais pequenas as maiores, e os resíduos gerados por tal processo, podem vir a se tornar um agente poluidor, podendo vir a causar diversos problemas para o meio ambiente ou até mesmo para a saúde de pessoas, se descartado em local inadequado.

É necessário então, encontrar uma forma de dar um destino adequado a esse tipo de resíduos, de forma que não venham a se tornar um problema. “Mais de 90% do lodo produzido no mundo tem sua disposição final por meio de três processos: incineração, disposição em aterros e uso agrícola. A forma predominante de disposição final desses resíduos é o chamado uso benéfico, predominantemente por intermédio do uso agrícola, adotado para aproximadamente 55,5% do lodo produzido nos Estados Unidos, devendo alcançar 61,5% até 2010” (EPA, 1999).

Ainda segundo Paixão (2008) “Um setor que apresenta um enorme potencial para contribuir na solução de problemas ambientais originários nos mais diversos processos industriais é o da cerâmica vermelha. De fato, trabalhos reportados na literatura têm mostrado que é possível a reciclagem de resíduos industriais como constituintes de massas cerâmicas para a fabricação de produtos para a construção civil. Exemplos destes resíduos são: lama de sulfato de bário proveniente de indústria de processamento de celulose e papel; borra de petróleo; lama galvânica gerada por indústria de galvanoplastia; lodo da estação de tratamento de efluente de indústria de revestimento cerâmico; pó de aciaria; lama industrial; e resíduo sólido proveniente do setor siderúrgico. A reutilização destes resíduos pode resolver, de um lado, o problema de descarte em área da estação de tratamento e, por outro lado, diminuir a quantidade de massa argilosa consumida e, portanto, o custo da matéria-prima para produção da cerâmica. Também, pode diminuir as atividades extrativas de argila, que em muitos casos causa danos ambientais por, em geral, não envolver projetos de recuperação de áreas por parte das empresas de blocos cerâmicos”

O vidro, é um material inorgânico, cortante, transparente e líquido, que encontra-se super-resfriado, constituído basicamente de sílica. Sua cor pode ser alterada pela introdução de outros óxidos na sua composição (CEBRACE, 2014). É uma substância estável quimicamente, sem ordenação atômica de longo alcance e por isso é amorfo (SHACHELFORD, 2008). É obtido por aquecimento do óxido de silício (SiO_2) a altas temperaturas, e portanto, sua produção emprega grandes quantidades de energia (BABISK, 2009). Em condições de descarte, altamente inapropriado, estima-se que o tempo para decomposição é indeterminado (SANEP, 2008). Seu processo de reciclagem envolve trituração mecânica, promovendo a diminuição das partículas e aplicação de energia para conformação em novos produtos. Suas partículas, quando moídas apresentam características ácidas e, portanto, podem reagir com álcalis, sendo um importante agente pozolânico em materiais que empreguem cimento na sua constituição. A introdução de material pozolânico, quando em quantidade adequada, garante um aumento do desempenho mecânico de materiais cimentícios em ensaios de compressão (BAUER, 2008).

3 METODOLOGIA/MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais empregados nesses estudos foram adquiridos por meio de doação ou cooperação técnica. O estudo foi realizado a partir de um planejamento fatorial de experimentos envolvendo a escolha das variáveis e dos níveis de investigação (Montgomery, 1984).

03-1 OBTENÇÃO DO VIDRO E LODO CALCINADO

O vidro foi coletado nas associações de reciclagem da cidade de Palmas/TO. Através de um termo de cooperação técnica a associação destinará uma seleta parte de vidro, para que sejam realizados os estudos com o material, sendo as garrafas transportadas em uma caixa d'água de 500L. O vidro foi conduzido a um triturador de partículas, e após a um moinho de bolas, gerando um pó finamente dividido no Laboratório de Máquinas e Equipamentos do Campus Palmas - IFTO. O lodo foi coletado na ETA-6 em Palmas -TO, com o auxílio de uma caixa d'água, e foi trazido para o campus Palmas, após secagem a temperatura ambiente foi calcinado no forno mufla a 900°C , durante 5 horas.

03-2 CARACTERIZAÇÃO DO MATERIAL

Nesta etapa foi caracterizado o resíduo de vidro de garrafa e lodo de sulfato de alumínio, de acordo com as normas específicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Foram

realizados os ensaios para determinação da massa específica, massa unitária compactada, massa unitária no estado solto, granulometria, dimensão máxima característica e módulo de finura.

03-2-1 ENSAIOS DE MASSA ESPECÍFICA

Os ensaios de massa específica foram realizados de acordo com o disposto nas ABNT NBR NM 26 - Amostragem de agregados - método de ensaio, ABNT NBR NM 27 - Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório, ABNT NBR NM 45 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios, ABNT NBR NM 52 – Aparente Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente.

03-2-2 ENSAIOS DE GRANULOMETRIA

Os ensaios granulométricos (série normal) foram realizados conforme as NBR NM 248 – Agregados - Determinação da composição granulométrica e NBR NM-ISSO 3310-1 – Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos. As peneiras foram agitadas com o auxílio do agitador mecânico associado ao processo manual. Os materiais retidos em cada peneira foram pesados em uma balança digital com precisão de 0,01g e os resultados foram anotados e usados para a confecção das tabelas de caracterização granulométrica, as quais relacionam de forma detalhada os valores das porcentagens retidas, retidas acumuladas e passantes. Depois de calculadas a porcentagem de material passante foi traçado o gráfico da curva granulométrica do resíduo.

03-2-3 MÓDULO DE FINURA E DIMENSÃO MÁXIMA

O módulo de finura foi determinado levando-se em consideração a porcentagem, em peso, do agregado presente em cada peneira, conforme definido pela ABNT NBR NM 248 - Agregados - Determinação da composição granulométrica.

03-3 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.

Os corpos de prova foram obtidos por moldagem em prensa hidráulica na qual permite um controle sistemático da carga a ser aplicada para a moldagem dos blocos compostos de vidro triturado e lodo, solo arenoso, cimento e água. Após obtenção da plasticidade desejada a massa foi acondicionada em moldes de (27,0 x 9,0 X 12,5 cm), seguindo a NBR-10833 e padronizados pela NBR-10834. Os diferentes corpos de prova receberão cura úmida e posteriormente cura ao tempo, e a sua estabilidade dimensional estimada.

03-4 RESISTÊNCIA MECÂNICA

Após 7 dias do início do processo de cura, foram realizados os ensaios de resistência mecânica dos corpos de prova, tendo seu término no 28º dia. Os ensaios foram realizados em regime de batelada em ciclo de 7, 14, 21 e 28 dias após o processo de mistura. Os corpos de prova possuíam altura de 10 cm e base de 5 cm. Foi utilizada uma máquina universal de ensaios modelo-10.000, micro processada, da marca EMIC, equipada com uma célula de carga de 3 toneladas.

03-5 ABSORÇÃO DE ÁGUA.

Os corpos de prova foram testados avaliados através da absorção de água, a fim de se verificar o atendimento às normas da ABNT. Todos os resultados obtidos foram ser comparados com blocos produzidos a partir de materiais convencionais sem a adição de resíduos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A mistura dos materiais obedeceu a um planejamento fatorial envolvendo a atribuição de três variáveis independentes em dois níveis codificados distintos. Essas variáveis compreendem a quantidade de lodo de ETA (calcinado) , cimento e a quantidade de vidro processado a partir de garrafas não retornáveis (MEDEIROS, 2010). A metodologia empregada foi o Delineamento Central Composto Rotacionado (DCCR), Figura (1). Essa metodologia emprega níveis codificados para estabelecer uma correlação entre os limites estáticos e a quantidade de produto a ser misturado na formação de um traço. Um traço representa um bloco de alvenaria de solo-cimento com um determinado grau de substituição de solo por resíduos, dessa forma, cada bloco terá uma resistência mecânica e uma absorção de água característica, que são chamados de y resposta (PEREIRA, 2018). Adotou-se o conjunto de três variáveis (figura 2) sendo o lodo de ETA (calcinado), cimento e vidro moído a partir de garrafas de vidro em dois níveis distintos de substituição, nível acima e nível abaixo. Para essa análise foi empregado o delineamento do tipo DCCR, figura (2). Assim além dos 8 pontos dos vértices do espaço estatístico somam-se mais seis traços axiais e três experimentos no ponto central. Nessa abordagem é possível ter acesso a um modelo parametrizado de interação das variáveis e a sua influência, robustez estatística e superfícies de resposta otimizadas, que serão analisadas e plotadas pelo site “Protimiza Experimental Design”. Na figura (3) estão expressos os traços empregados na fabricação dos blocos de alvenaria obtidos a partir da mistura dos materiais, e a expectativas de quantidade de blocos a serem adquiridos em cada mistura.

Resíduos	Unidade	-1	0	1
VIDRO	Kg	0,50	1,13	1,75
LODO	Kg	0,25	0,56	0,88
CIMENTO	kg	0,25	0,56	0,88

Figura 1 Comparativo dos níveis codificados e com as variáveis de estudo. Fonte: Autor

Traço	Vidro (X ₁)	Lodo(X ₂)	Cimento (X ₃)
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	-1
3	-1	1	-1
4	-1	1	-1
5	-1	-1	1
6	-1	-1	1
7	-1	1	1
8	1	1	1
9	-1,68	0	0
10	1,68	0	0
11	0	-1,68	0
12	0	-1,68	0
13	0	0	-1,68
14	0	0	1,68
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0

Figura 2 Níveis codificados para o experimento DCCR, empregando 3 variáveis. Fonte: Autor

Traços	Vidro (Kg)		Lodo		Cimento		Solo		Água		Nº Blocos	
	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)	(Kg)	(%)	(Kg)	(Kg)	Previstos	Feitos
1	2,8	11,4	1,3	5,1	1,4	5,7	19,0	77,7	2,3	2,3	7	6
2	9,8	40,0	1,3	5,1	1,4	5,7	12,0	49,1	2,0	2,0	7	6
3	2,8	11,4	4,9	20,0	1,4	5,7	15,4	62,9	2,3	2,3	7	6
4	9,8	40,0	4,9	20,0	1,4	5,7	8,4	34,3	2,6	2,6	7	6
5	2,8	11,4	1,3	5,1	4,9	20,0	15,5	63,4	2,0	2,0	7	6
6	9,8	40,0	1,3	5,1	4,9	20,0	8,5	34,9	3,4	3,4	7	6
7	2,8	11,4	4,9	20,0	4,9	20,0	11,9	48,6	3,6	3,6	7	6
8	9,8	40,0	4,9	20,0	4,9	20,0	4,9	20,0	3,0	3,0	7	6
9	0,4	1,6	3,1	12,6	3,2	12,9	17,9	72,9	3,0	3,0	7	6
10	12,8	51,0	3,1	12,3	3,2	12,5	6,1	24,2	3,0	3,0	7	6
11	6,3	25,7	0,0	0,0	3,2	12,9	15,1	61,4	2,6	2,6	7	6
12	6,3	25,7	6,2	25,1	3,2	12,9	8,9	36,3	3,0	3,0	7	6
13	6,3	25,7	3,1	12,6	0,2	0,9	14,9	60,9	2,8	2,8	7	6
14	6,3	25,7	3,1	12,6	6,1	24,9	9,0	36,9	3,0	3,0	7	6
15	6,3	25,7	3,1	12,6	3,2	12,9	12,0	48,9	3,4	3,4	7	6
16	6,3	25,7	3,1	12,6	3,2	12,9	12,0	48,9	3,2	3,2	7	6
17	6,3	25,7	3,1	12,6	3,2	12,9	12,0	48,9	3,0	3,0	7	6

Figura 3 Traço e porcentagem dos materiais usados para a fabricação dos blocos, com resíduos. Fonte: Autor

Seguindo a NBR 8492: 2012 foram realizados os ensaios pertinentes para elaboração do bloco solo-cimento com variações de vidro de garrafa e lodo (calcinado) da estação de tratamento de água conforme figura (3). A figura 4, detalha o traço dos blocos analisados, tal como sua resistência mecânica e absorção de água. A proposta do projeto é chegar em um bloco próximo de 2,0 Mpa com absorção menor ou igual a 22%, como o máximo de resíduos na sua composição. Os resíduos estudados são materiais que tem muita afinidade em absorver água, foi usado cimento especial CP IV-32 RS para tentar minimizar esse processo, inibindo a ação do sulfato de alumínio presente no lodo. Os resultados são satisfatórios, através, dos resultados conseguimos delinear quais traços conseguiram atender o que se pede na norma, quais traços deveriam ser desconsiderados e com isso através do delineamento experimental pelo software a confiança nos resultados se torna satisfatória, o fato da

literatura ser bastante escassa sobre o experimento envolvendo essas três variáveis de processo, demonstram que o material produzido, conseguiu atingir os objetivos pré-estabelecidos para a etapa da pesquisa. A figura 4 traça caminhos entre o fator água cimento, com a resposta em resistência do material bem como sua absorção de água. O estudo consegue a validação dos resultados por um modelo estatístico visando estabelecer parâmetros de configuração para fabricação dos blocos, diminuindo as incertezas e controlando ao máximo as variáveis em questão. Após aplicar o modelo estatístico ANOVA (figura 5) tivemos como resultado um coeficiente de determinação para esses resultados de (R^2) 75,98%, ou seja, isto significa que 75,98% das variáveis dependentes conseguem ser explicada pelas regressões presentes no modelo, para os materiais (resíduos) que estamos estudando esse valor, é consideravelmente alto, pois, são resíduos com pouco estudo bibliográfico ao longo dos anos, e com um estudo otimizado conseguimos obter um coeficiente consideravelmente relevante figura (4). A introdução de vidro de garrafa e lodo calcinado pelos dados apresentados se mostra viável, do ponto de vista técnico, pois, conseguimos definir o melhor traço, o fator água cimento, mas do ponto de vista econômico resta-se algumas ressalvas para a fabricação deste bloco para competir com blocos tradicionais, visando principalmente a demanda em energia necessária para a calcinação do lodo, e do investimento em maquinário pra fabricação em larga escala, porém, o objetivo inicial em ter blocos com o máximo de resíduo é obtido, teremos como o bloco com resistência ideal dentro da norma e tendo aproximadamente 30% de vidro 15% de lodo calcinado, totalizando um bloco com 45% de resíduo e estando apto pela NBR 8492 com a resistência superior de 2,0 Mpa e absorção próxima de 20%.

Traço	Vidro (Kg)	Lodo(Kg)	Cimento(Kg)	Solo (Kg)	Água(Kg)	Fator A/C	Resistencia (Mpa)	Absorção (%)
1	2,8	1,26	1,4	19,04	2,22	1,59	0,6	100
2	9,8	1,26	1,4	12,04	2,38	1,46	0,9	19
3	2,8	4,9	1,4	15,4	2,72	1,66	0	100
4	9,8	4,9	1,4	8,4	3,40	1,84	0,7	51
5	2,8	1,26	4,9	15,54	2,56	0,41	3,5	16
6	9,8	1,26	4,9	8,54	1,94	0,69	0	17
7	2,8	4,9	4,9	11,9	2,90	0,74	1,4	23
8	9,8	4,9	4,9	4,9	2,92	0,61	2,5	23
9	0,42	3,08	3,15	17,85	3,38	0,94	1,5	20
10	12,18	3,08	3,15	6,09	2,48	0,96	0	21
11	6,3	0	3,15	15,05	3,16	0,84	3,9	12
12	6,3	6,16	3,15	8,89	3,34	0,96	12	19
13	6,3	3,08	0,21	14,91	2,00	13,14	0	100
14	6,3	3,08	6,09	9,03	2,7	0,5	4,7	10
15	6,3	3,08	3,15	11,97	3,16	1,1	2,2	20
16	6,3	3,08	3,15	11,97	3,32	1,0	2,2	29
17	6,3	3,08	3,15	11,97	2,70	0,95	1,6	21

Figura 4 Tabela de composição dos blocos de alvenaria obtidos a partir da mistura dos materiais. Fonte: Autor

Fonte de Variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	F _{calc}	p-valor
Regressão	24,9	9	2,8	2,5	0,12416
Resíduos	7,9	7	1,1		
Falta de Ajuste	7,6	5	1,5	12,7	0,07447
Erro Puro	0,2	2	0,1		
Total	32,8	16			
R ²	75,98%				

Figura 5 Modelo Anova. Fonte: Autor

5 CONCLUSÃO OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tema proposto inicialmente fez com que várias dúvidas viessem à tona, onde nem todas foram respondidas, por apresentar um tema muito amplo e complexo, necessitando a continuação da pesquisa para melhor entendimento das interações do lodo e do vidro, já que, dependendo da temperatura ou forma empregada desses resíduos podem mudar totalmente o comportamento de sua estrutura molecular, aumentando ou diminuindo sua resistência.

O objetivo proposto por esse trabalho foi claramente alcançado, produzindo bloco de solo-cimento com adição de resíduos inorgânicos em sua composição chegando a quase 45% de resíduos com a menor quantidade possível de cimento, em torno de 18%. Observando todos os novos blocos solo-cimento com resíduos inorgânicos expostos nos resultados, percebe-se que os mesmos

apresentam as resistências mecânicas e absorção de água dentro das normas especificadas na NBR 10836/94 e 8492/12. O presente estudo evidencia que além de ser um tijolo ecológico pode ainda ser sustentável, o uso do mesmo pode chegar a economia de até 40% da obra, seguindo todos os procedimentos de incorporação desse material em uma construção.

Após essa etapa buscamos responder à pergunta mais realizada durante o trabalho: Calcinar o lodo é uma alternativa economicamente viável? Então fizemos uma análise da viabilidade econômica do material, já que precisará de uma demanda de energia para a calcinação e para incorporar esse material no mercado é preciso atrelar o resultado com a parte financeira. Para calcinar o lodo, é necessário um uso de energia que pode ser desnecessário tendo visto que vai depender se a produção vai ser em larga escala ou pequena escala.

Atualmente, temos dois grupos tarifários GRUPO A e GRUPO B, definidos pela ANEEL, onde o valor do kWh (quilowatts hora) varia consideravelmente. O lodo é calcinado durante 5 horas em um forno mufla, onde a potência do forno mufla é de aproximadamente 18 KW, sendo produzido por uma empresa pequena GRUPO B, com a tarifa industrial de R\$ 0,54922 kWh (ENERGISA-TO), teríamos então um valor de R\$ 1.482,894 reais por mês para produzir aproximadamente por dia 30 quilos de lodo calcinado, pelos experimentos seria possível a fabricação de mais ou menos 100 blocos por dia, alcançando em um mês média de 900 quilos de resíduo processado, mais de mil blocos mês. Se o Grupo tarifário da empresa for A, a tarifa custa R\$ 0,26788 kWh (fora de ponta ENERGISA-TO), logo o gasto mensal para a produção de 900 quilos de lodo calcinado seria de R\$ 723,276 reais. Logo, podemos analisar que o preço do bloco tradicional do mercado sendo de 0,90 centavos, cada bloco com 45% de resíduo poderia influenciar um aumento de 50% desse valor, para cobrir os ônus da sua fabricação. Uma fábrica tradicional produz em média mês 10 mil blocos em uma prensa hidráulica usada para os ensaios, pagam de energia elétrica próximo de R\$ 1.500,00 reais, logo adicionando mil blocos mês com resíduo, quase dobraria o valor da conta de energia.

A possibilidade de emprego deste material no mercado é vantajosa para a sociedade por se tratar de um produto ecologicamente correto, contribuindo na resolução de problemas ambientais envolvendo o descarte inadequado de lodo e vidro na natureza, mais será necessário incentivos econômicos para que eventuais empresários do setor queiram anexar esse material a sua linha de produção.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 26/2009 – Amostragem de agregados. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 52/2002 – Aparente Agregado miúdo - Determinação de massa específica e massa específica aparente. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 45/2006 – Agregados – Determinação da massa unitária e do volume de vazios. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 27/2001 – Redução de amostra de campo de agregados para ensaio de laboratório. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

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

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 248/2001 – Agregados - Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM-ISSO 3310- 1/1997 – Peneiras de ensaio - Requisitos técnicos e verificação - Parte 1 - Peneiras de ensaio com tela de tecido metálico. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM 46/2001 – Agregados – Determinação do material fino que passa através da peneira 75um por lavagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10834/1994 - Bloco vazado de solo-cimento sem função estrutural. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10833/2012 – Fabricação de Tijolo e bloco de solo-cimento com utilização de prensa manual ou hidráulica-Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ABIVIDRO. Anuário 2003. Associação técnica Brasileira das Indústrias Automáticas de Vidro, 2004. BAUER, L. A. F, Materiais de Construção. Livros Técnicos e Científicos – LTC. 5 ed., Volume 1, Rio de Janeiro, 2008.

CEBRACE. 2014. O Vidro, <<http://www.cebrace.com.br/v2/vidro>>. Acesso em 17/02/2014.

Ferraz, André Luiz Nonato, and Antonio Anderson da Silva SEGANTINI. "Engenharia sustentável: aproveitamento de resíduos de construção na composição de tijolos de solo-cimento." Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural (2004).

Finco, Marcus Vinícius Alves, Valadares, Marcelo De Brito, and Muriene Alves da SILVA. "Gestão de resíduos sólidos na cidade de Palmas/TO: contribuições ao mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL)". [Palestra](#) 6.832 (sober.org).

Rodrigues, Waldecy, and Willian Cardoso Santana. "Análise econômica de sistemas de gestão de resíduos sólidos urbanos: o caso da coleta de lixo seletiva em Palmas, TO." *urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana* 4.2 (2012): 299-312.

SANTOS, Wiliam J. "Caracterização de vidros planos transparentes comerciais." *Scientia Plena* 5.2 (2009).

CEBRACE. 2014. O Vidro, <<http://www.cebrace.com.br/v2/vidro>>. Acesso em 17/02/2014.

MEDEIROS, Elisandra Nazaré Maia de. Uso da técnica de planejamento experimental para otimização de massa cerâmica com a incorporação de resíduos de cinza de casca de arroz, cinza de lenha e lodo de ETA. 2010.

PEREIRA, R. R. Planejamento experimental e otimização de processos na definição de traço de concreto com resíduos para produção de tijolos. 2018. 94 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem e Otimização) - Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2018.

SHACKELFORD, J. F. 2008. Introdução à Ciência dos Materiais Para Engenheiros. Trad. Daniel Vieira. São Paulo: Pearson. 6.ed, p 145.