

BLOCOS CERÂMICOS ESTRUTURAIS SUSTENTÁVEIS: Um estudo da incorporação de resíduos sólidos

Campos, A. L.¹; Bosso, A. R. S.¹, Almeida, M. L. P.¹; Júnior, D. B.¹; Barbosa, V. P.¹; Fonseca, M. V. G.¹;

¹Centro Universitário Católica do Tocantins

ACSU-SE 140 Avenida Teotônio Segurado Lt 01- Centro- Palmas Tocantins

aline.campos@a-catolica-to.com.br

Resumo

A construção civil é um dos segmentos que apresenta maior impacto ao meio ambiente, por outro lado, tem papel fundamental no desenvolvimento de técnicas sustentáveis para obtenção de novos produtos utilizando resíduos sólidos, como por exemplo, os resíduos gerados pelo lodo no processo de estação de tratamento de água (ETA) e vidro proveniente de embalagens não retornáveis do consumo de bebidas alcóolicas. Visando reutilizar esses resíduos, o presente trabalho objetivou estudar as propriedades físico-mecânicas do bloco cerâmico estrutural ao incorporá-los como matéria prima. Foram produzidas três composições para o bloco estrutural, sendo uma padrão sem o resíduo, e outras duas com incorporação nos percentuais de 15% e 20%, respectivamente de resíduo de vidro e de lodo ETA. As variáveis experimentais foram analisadas e ensaiadas afim de atender requisitos conforme a NBR 15270 Componentes cerâmicos parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural. Segundo os dados obtidos dos ensaios, é possível produzir blocos cerâmicos estruturais com adição de ambos os resíduos de forma individual, sendo que todas as suas características físicas e mecânicas estão conforme a legislação vigente.

Palavras chave: bloco cerâmico estrutural, lodo de ETA, vidro, resíduos, análise de variância.

Abstract

Construction is one of the threads that features greater impact on the environment, on the other hand, has a fundamental role in the development of sustainable techniques for obtaining new products using solid waste, such as waste sludge generated in the process of water treatment plant and glass from returnable packaging consumption of alcoholic beverages. In order to reuse the waste, the present work aimed to study the physical-mechanical properties of structural ceramic block to incorporate them as raw material. Were produced three compositions for the structural block, being a standard without the residue, and two others with incorporation in percentages of 15% and 20%, respectively glass residue and sludge. Experimental variables were analysed and tested in order to meet requirements according to NBR 15270 ceramic components part 2: ceramic blocks for structural masonry. According to the data obtained from the tests, it is possible to produce structural ceramic blocks with addition of both waste on an individual basis, with all its physical and mechanical characteristics are in accordance with the legislation in force.

Key words: structural ceramic block, sludge, waste glass, analysis of variance.

1. INTRODUÇÃO

O meio ambiente é constantemente afetado pela geração de resíduos sólidos provenientes de vários setores, como por exemplo, a indústria, a construção civil e o consumo humano. De acordo com Athena - Instituto Canadense de Materiais Sustentáveis (2000) o setor da construção civil, é responsável pelo consumo de 40% da produção de materiais naturais e energia do mundo. Isso faz da construção civil uma grande contribuinte para a geração de resíduos sólidos.

Em paralelo a isso, a reutilização de resíduos gerados por estes setores pode reduzir os custos de produção e diminuir os impactos ambientais relacionados ao seu tratamento e sua destinação final, e também amezinhar os impactos relacionados a extração de matéria prima no meio ambiente. Assim, devido sua enorme demanda por materiais e geração de resíduos, a construção civil tem um grande papel, no que diz respeito ao reaproveitamento de resíduos como matéria prima na produção de novos produtos.

Conforme a NBR 10.004 - Resíduos Sólidos Classificação, resíduos são resultantes de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e varrição. Dentre estes vale ressaltar que o lodo proveniente de estação de tratamento de água (ETA), que não possui reutilização e seu descarte inadequado implica em problemas ambientais, e o vidro advindo de garrafas de bebidas não retornáveis, que apesar de ser totalmente reciclável, por questões técnicas e econômicas não é reaproveitado, poderiam ser objetos de estudos de reutilização.

Rodrigues (2013), apresenta que o lodo advindo da ETA é um tipo de resíduo não biodegradável rico em matéria orgânica e minerais de silicatos, provenientes de processos químicos no beneficiamento da água bruta nas estações de tratamento. Complementa ainda, que o lodo no meio ambiental é considerado um resíduo de Classe – II A não inerte, tendo seu descarte consequências técnicas, econômicas e sociais. Já o pó de vidro tem uma grande capacidade de ser reutilizado como matéria prima na fabricação de outros produtos, por conter uma enorme quantidade de óxido de silício, podendo refletir em economia, além de amenizar os danos à natureza, uma vez que esses resíduos de vidro poderiam ser lançados na natureza (GALVÃO, 2013).

A quantidade de produtos naturais usados pela construção civil, faz deste setor alvo do desenvolvimento de diversas pesquisas e novas tecnologias envolvendo a incorporação de novos materiais. Muitos desses estudos visam a incorporação de resíduos sólidos não reaproveitáveis como matéria prima, como na fabricação de peças cerâmicas. Em virtude da quantidade de olarias e cerâmicas em todo país e devido às baixas exigências para os parâmetros limites nas especificações técnicas, principalmente para a produção de tijolos maciços, a cerâmica vermelha é uma alternativa promissora para a incorporação de resíduos, (TEIXEIRA *et al*, 2006).

Margem (2008), em sua pesquisa sobre a incorporação de lodo de ETA na cerâmica vermelha, constatou que sua adição em níveis de até 10% em peso da argila, aumenta levemente a absorção de água e reduz a resistência mecânica do material. No entanto, ele concluiu que o

lodo, pode ser usado na fabricação de produtos cerâmicos, porém, deve ser incorporado em níveis de até 5%, para que não ocorra falhas durante a produção e na qualidade final do produto de cerâmica vermelha.

Godinho *et al*, 2004, ao incorporar resíduo de vidro na cerâmica vermelha, determinou que a adição de vidro reduziu a absorção de água, aumentou a retração de queima e aumentou a tensão de ruptura, concluiu ainda que quanto maior a quantidade de vidro em volume, e menor o tamanho das partículas do aditivo, melhor ele estará disperso entre as partículas da massa argilosa, tendo a densidade e a moagem, influência direta na dispersão do vidro na argila.

Diante disso, buscando um produto sustentável, este trabalho objetivou analisar as propriedades físico-mecânicas de blocos cerâmicos estruturais produzidos com a incorporação de dois tipos de resíduo sólido, vidro e lodo de ETA, respectivamente em percentuais de 15% e 20%. A problemática constitui-se no desenvolvimento da resposta do seguinte questionamento: “Como a incorporação de vidro e de lodo de ETA irá influenciar nas características físico-mecânicas de blocos cerâmicos estruturais?”.

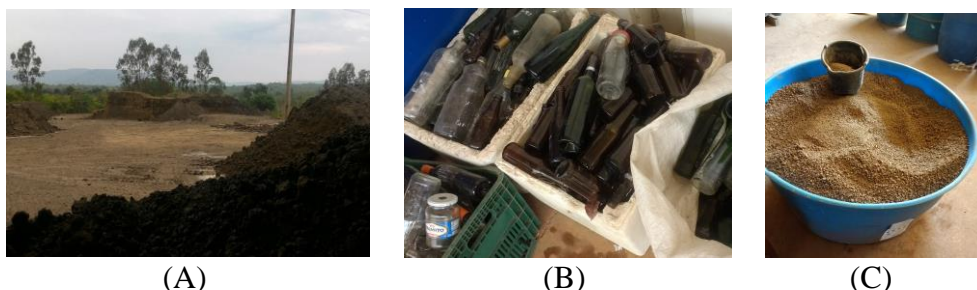
2. METODOLOGIA

2.1 Materiais

Para desenvolvimento da pesquisa, as matérias primas utilizadas foram argila, vidro e resíduo de lodo de ETA. A argila foi retirada de jazida natural com características desejáveis para a fabricação de blocos cerâmicos, a mesma contém composição argilo-siltosa, e não apresenta concentração de areia, sendo armazenada no pátio da empresa cerâmica parceira nessa pesquisa, Figura 1A.

O vidro utilizado como matéria prima foi obtido a partir do recolhimento de garrafas de bebidas não retornáveis em estabelecimentos locais na cidade de Palmas – TO, Figura 1B.

Figura 1 - Pátio de armazenamento da matéria prima argila na empresa cerâmica parceira nessa pesquisa (A); Garrafas de vidro recolhidas em estabelecimentos locais (B); Resíduo sólido de lodo de ETA (C)



Fonte: Autores, 2019.

Para a obtenção do resíduo sólido de lodo de ETA, sabe-se que durante o processo de tratamento da água para consumo têm-se a decantação e todo o material orgânico fica depositado no fundo dos tanques e posteriormente é conduzido para depuração, portanto o material orgânico utilizado é proveniente deste processo, e está representado na Figura 1C.

Os resíduos destinados à incorporação à massa cerâmica foram processados conforme as etapas descritas a seguir:

- Etapa 1: Recebimento e armazenamento do material, com identificação;
- Etapa 2: Moagem do material utilizando o equipamento Abrasão Los Angeles;
- Etapa 3: Peneiramento do material obtido em peneiras com malha de 4,5 mm;

Os blocos cerâmicos estruturais foram fabricados na empresa cerâmica parceira nessa pesquisa, seguindo todo o processo convencional, estabelecendo-se as seguintes dosagens: convencional (sem adição de resíduos), com adição de 20% de lodo ETA e com adição de 15% de pó de vidro.

2.2 Metodologia Experimental

Determinação de características geométricas, físicas e mecânicas

A normativa 15270 - “Componentes cerâmicos parte 2: Blocos Cerâmicos para alvenaria estrutural – terminologia e requisitos”, estabelece critérios dimensionais, físicos e mecânicos exigíveis para a utilização de blocos estruturais em obras. Os ensaios realizados para verificação destes requisitos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Ensaios laboratoriais realizados segundo normativa 15.270- parte 2: Componentes cerâmicos- Blocos Cerâmicos para Alvenaria Estrutural- Terminologia e requisitos

Finalidade	Ensaio	Nº de amostras	Parâmetro normativo - NBR 15.270
Determinação de características geométricas	Dimensões efetivas do bloco	13	Tolerância de ± 5 mm
	Espessura dos septos e paredes externas		Septos mínimo de 7 mm, e paredes externas de 8 mm
	Desvio em relação ao esquadro		Máximo de 3 mm
	Planeza das faces		Flecha máxima de 3 mm
	Área bruta e área líquida		Não especificado
Determinação de características físicas	Massa seca	6	Não especificado
	Índice de Absorção de Água		Deve estar dentro do intervalo de 8% a 22%
Determinação de característica mecânica	Resistência à compressão característica	13	A partir de 3,0 MPa

Fonte: NBR 15.270, 2005.

A estimativa da resistência característica do lote de amostras, é obtida pela seguinte Equação 1, procedendo-se análises descritas na norma.

Equação 1 - Equação para determinação da resistência característica à compressão.

$$f_{bk,est} = 2 \left[\frac{f_{b(1)} + f_{b(2)} + \dots + f_{b(i-1)}}{i - 1} \right] - f_{bi}$$

Onde, $f_{bk,est}$ é a resistência característica estimada da amostra, em MPa; $f_{b(1)}, f_{b(2)}, \dots, f_{bi}$ são os valores de resistência à compressão individual das amostras; $i = (n - 1)/2$, se n for ímpar, e n é a quantidade de blocos da amostra.

2.3 Análise Estatística

Os dados experimentais obtidos foram analisados pela estatística descritiva: média, variância, desvio padrão, coeficiente de variação, tabelas e gráficos estatísticos

correlacionados. Também foram analisados pelas ferramentas da estatística indutiva: intervalo de confiança e o teste de Tukey.

Teste de Tukey

É utilizado para testar qualquer diferença entre duas médias de tratamento (LEVIN, 2012). A sigla HSD na Equação 2 significa diferença honestamente significativa e deve ser interpretada como sendo o maior valor para que não exista diferença entre duas médias, ou seja, qualquer diferença entre duas médias maior que o HSD significa que as médias são diferentes estatisticamente de acordo com o nível de significância escolhido, neste caso 5%. Para determinação da diferença significativa, utilizou-se a Equação 2.

Equação 2- Determinação da diferença significativa para aplicação do teste de Tukey.

$$HSD = q_{\alpha;k;k(n-1)} \sqrt{\frac{QMR}{r}}$$

Onde, $q_{\alpha;k;k(n-1)}$ é a amplitude estudentizada ao nível de significância desejada, neste caso 5%,. QMR corresponde ao quadrado médio da análise de variância e r é o número de repetições.

Intervalo de Confiança

Para análise do intervalo de confiança da média populacional e variância populacional da resistência a compressão dos blocos foi utilizada as seguintes equações:

Equação 3- Intervalo de Confiança para a média populacional da resistência a compressão dos blocos estruturais ao nível de confiança de 95%.

$$P\left(\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2};n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2};n-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}\right) = 1 - \alpha$$

Equação 4- Intervalo de Confiança a variância populacional da resistência a compressão dos blocos estruturais ao nível de confiança de 95%.

$$P\left(\frac{(n-1) \cdot s^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2};n-1}} < \sigma^2 < \frac{(n-1) \cdot s^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2};n-1}}\right) = 1 - \alpha$$

Em que P é a probabilidade, \bar{x} é a média, s desvio padrão amostral, n é o número de repetições para cada traço, t o intervalo e α é o grau de significância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Determinação de características geométricas, físicas e mecânicas

Os ensaios para determinação de características geométricas realizados nas amostras foram: largura, comprimento, altura, espessura das paredes internas e externas, esquadro e planeza das faces. Foram ensaiadas 13 amostras e os resultados estão na Tabela 2.

Em relação a espessura de septos e paredes externas, todos os blocos aprestaram-se conforme parâmetro normativo estabelecido na Tabela 1, sendo em média 7,35 mm e 9,44 mm para blocos com incorporação de pó de vidro e 7,30 mm e 9,50 mm para blocos com incorporação de lodo de ETA. Quanto ao desvio em relação ao esquadro, os resultados obtidos para as

amostras convencionais, com vidro e lodo de ETA foram de respectivamente de 1,55 mm, 1,53mm, e 1,42mm. A flecha média obtida para blocos convencionais, com vidro, e lodo foram de 1,57 mm, 1,56mm, 1,60mm.

Tabela 2 - Dimensões efetivas de largura, altura e comprimento em centímetros das amostras convencionais, com adição de 15% de pó de vidro e 20% de lodo de ETA.

	Largura (cm)	Altura (cm)	Comprimento (cm)
Blocos Cerâmicos Estruturais Convencionais	13,9	19,15	29,04
Blocos Cerâmicos Estruturais com adição de 15% de pó de vidro	13,78	19,28	29,02
Blocos Cerâmicos Estruturais com adição de 20% de lodo de ETA	13,78	19,44	28,94

Fonte: Autores, 2019.

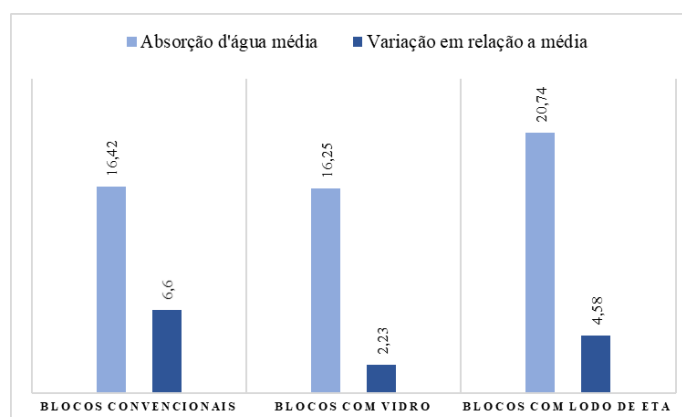
Seguindo os passos descritos na normativa, o parâmetro físico de índice de absorção d'água das amostras foi obtido através da estimativa da massa seca e massa úmida das mesmas. Na Tabela 3 está representado o percentual de água absorvida por cada tipo de dosagem.

Tabela 3 - Resultados do índice de absorção d'água para blocos cerâmicos estruturais

	Blocos Convencionais	Blocos com Vidro	Blocos com lodo de ETA
Quantidade de amostras ensaiadas	6	6	6
Desvio padrão	1,08	0,36	0,95
Média %	16,42	16,25	20,74

Fonte: Autores, 2019.

Figura 2 - Resultados obtidos para índice de absorção d'água médio e coeficiente de variação para blocos cerâmicos estruturais convencionais, com adição de vidro e lodo de ETA.



Fonte: Autores, 2019.

Através dos resultados descritos na Tabela 3 e Figura 2, é possível verificar que amostras com adição de vidro apresentaram índices menores com média de 16,25% e variação em relação a média de 2,23%, em conta de ser um material impermeável, enquanto amostras com lodo apresentaram índice elevado em relação aos outros, por ser um material orgânico, que retém

água. No entanto, os dois tipos de dosagens apresentam-se dentro do parâmetro normativo estabelecido.

Para os resultados em relação à característica mecânica, foi calculado conforme a Equação 1, e adotou-se a média como a resistência característica dos lotes de amostras, pois o valor do $f_{bk,est} \geq f_{bm}$, e de acordo com a norma adota-se a média como a resistência característica do lote. Os valores foram 11,44 MPa, 10,68 MPa, e 8,82 MPa para blocos convencionais, com vidro e com lodo, respectivamente, como está apresentado na Tabela 4. O coeficiente de variação está abaixo de 10%, mostrando uma homogeneidade na relação dos ensaios experimentais.

Tabela 4 - Medidas Estatísticas de resistência à compressão dos blocos estruturais

Medidas	Blocos padrão (MPa)	Blocos com Vidro (MPa)	Blocos com Lodo ETA (MPa)
n	13	13	13
\bar{x}	11,44	10,64	8,82
s^2	0,89	0,74	0,69
s	0,94	0,86	0,83
cv (%)	8,26	8,11	9,39
$f_{bk,est}$	11,44	10,64	8,82

Fonte: Autores, 2019.

Onde, n é a quantidade de blocos; \bar{x} é a resistência média dos blocos a compressão; s^2 é a variância amostral da resistência a compressão dos blocos; s é o desvio padrão amostral da resistência a compressão dos blocos; cv é o coeficiente de variância amostral da resistência a compressão dos blocos

Na Tabela 5 está apresentado o resumo do teste de Tukey que foi utilizado para analisar se as médias de resistência a compressão dos blocos estruturais possuem diferenças estatísticas ao nível de significância de 5%. O símbolo **T₁**, **T₂** e **T₃** na Tabela 5 representando a resistência média dos blocos estruturais com adição de lodo, convencional e com adição de vidro, respectivamente. Percebe-se que a resistência mecânica média do bloco convencional e com adição de vidro são iguais, e que a resistência média do bloco com adição de lodo é diferente aos demais, sendo menor. Porém, todos os blocos produzidos estão dentro da legislação vigente, e estão superior a resistência de 7 MPa planejada na realização dos experimentos.

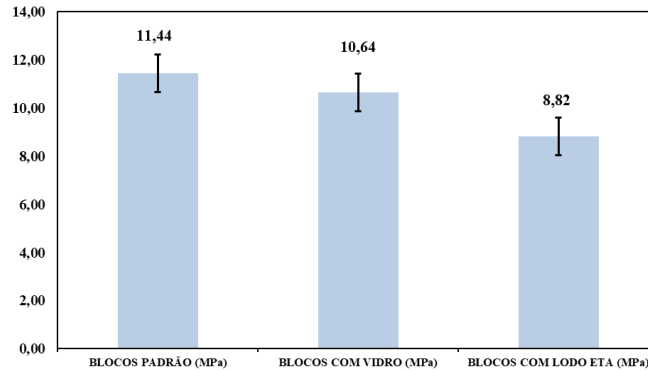
Tabela 5 – Resumo do teste de Tukey da média das resistências a compressão dos blocos estruturais

k	Média	k			Código
		T ₁	T ₂	T ₃	
T ₁	8,82				A
T ₂	11,44	2,62			B
T ₃	10,64	1,82	0,80		B
HSD	0,84				

Fonte: Autores, 2019.

Os resultados apresentados na Tabela 5 são melhores visualizados no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Resultados de resistência a compressão dos blocos estruturais



Fonte: Autores, 2019.

Conforme pode-se notar no Gráfico 1, a resistência dos blocos cerâmicos estruturais padrão e com vidro são próximas, com uma diferença irrelevante de 0,80 MPa, e portanto, estatisticamente comportam-se da mesma maneira. Já as amostras com lodo, observa-se uma pequena diferença estatística em relação às demais amostras.

Tabela 6 - Intervalo de Confiança para a média populacional da resistência a compressão dos blocos estruturais ao nível de confiança de 95%.

Bloco	$\bar{x} - t_{\frac{\alpha}{2};n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$	$\bar{x} + t_{\frac{\alpha}{2};n-1} \cdot \frac{S}{\sqrt{n}}$
Bloco Padrão	10,87	12,01
Bloco com Vidro	10,12	11,16
Bloco com Lodo	8,32	9,32

Fonte: Autores, 2019.

Tabela 7 - Intervalo de Confiança para a variância populacional da resistência a compressão dos blocos estruturais ao nível de confiança de 95%

Bloco	$\frac{(n-1) \cdot s^2}{\chi^2_{\frac{\alpha}{2};n-1}}$	$\frac{(n-1) \cdot s^2}{\chi^2_{1-\frac{\alpha}{2};n-1}}$
Bloco Padrão	0,46	2,43
Bloco com Vidro	0,38	2,03
Bloco com Lodo	0,35	1,87

Fonte: Autores, 2019.

Foram estimados valores para intervalo de confiança para média populacional e variância populacional, conforme pode-se verificar nas Tabela 6 e 7, as amostras apresentam resultados dentro do intervalo estimado.

4. CONCLUSÕES

Os blocos cerâmicos estruturais com adições de vidro e lodo de ETA apresentaram características aceitáveis em relação aos parâmetros geométricos, físicos e mecânico de acordo com a normativa.

Os resultados obtidos para amostras com adição de vidro mostraram-se superior as amostras com lodo, uma vez que sua capacidade de retenção de água foi menor e resistência elevada. Através de análises estatísticas pode-se concluir que os blocos desenvolvidos com adição de vidro comportaram-se como os blocos convencionais. Assim, o vidro se torna um material com bastante aptidão para ser usado na produção de blocos cerâmicos estruturais.

Os blocos com adição de lodo de ETA obtiveram índices de absorção de água mais elevado que os outros tipos, devido a capacidade de retenção de água do lodo, e quanto a resistência à compressão, obteve apenas 2,62 MPa abaixo dos blocos convencionais, sendo possível sua utilização em alvenarias estruturais. Visto isso, é possível a incorporação do lodo na produção de blocos cerâmicos estruturais, desde que controlado os níveis de incorporação do material, dado que o mesmo pode afetar significativamente nas propriedades físico mecânicas dos blocos.

Por meio dos resultados obtidos através dos ensaios de determinação geométrica e das características físicas e mecânicas, pode-se concluir que o vidro e o lodo de ETA, possuem grande potencial para serem usados na produção de blocos cerâmicos estruturais, ressaltando que a utilização desses resíduos favorece a preservação ambiental.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Classificação de resíduos. NBR 10004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Componentes Cerâmicos - Parte 2: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – Terminologia e requisitos. NBR 15.270:2005. Rio de Janeiro – RJ, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Componentes Cerâmicos - Parte 3: Blocos cerâmicos para Alvenaria Estrutural e de Vedação – Métodos de ensaio. NBR 15.270:2005. Rio de Janeiro – RJ, 2005.

GODINHO, K. O.; HOLANDA, J. N. F.; DA SILVA, A. G. P. Obtenção e avaliação de propriedades tecnológicas de corpos cerâmicos à base de argila e vidros reciclados. Cerâmica, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/ce/v51n320/29541.pdf>> Acesso em: 16 mar. 2019, 16:30:30.

GALVÃO, Álvaro César Pontes; FARIAS, Aline Cristina Mendes; SOUZA, Luiz Guilherme Meira. Viabilização de Rejeitos de Vidro para Produção de Tijolos Cerâmicos. HOLOS, 2013. Disponível em: <<http://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/1555> > Acesso em: 16 mar. 2019, 15:53:30.

LEVIN, Jack; FOX, James Alan; FORDE, David R.. Statistics for human sciences. 11. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2012

MARGEM, Jean Igor. Caracterização e incorporação de lodo de decantação de estação de tratamento de água (ETA) em cerâmica vermelha. 2008. Disponível em: <http://uenf.br/posgraduacao/engenharia-de-materiais/wp-content/uploads/sites/2/2013/07/Microsoft-Word-IGOR_doc.pdf > Acesso em: 10 mar. 2019, 14:00:00.

RODRIGUES, L. P.; HOLANDA, J. N. F. Influência da incorporação de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades tecnológicas de tijolos solocimento 2013. Disponível em: <<https://www.ingentaconnect.com/content/doi/03666913/2013/00000059/00000352/art00009>> Acesso em: 11 mar. 2019, 16:30:00.

TEIXEIRA, S. R. *et al.* Efeito da adição de lodo de estação de tratamento de água (ETA) nas propriedades de material cerâmico estrutural. 2006. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ce/v52n323/32092> > Acesso em: 13 mar. 2019, 15:30:30.