

Estudo dos efeitos da incorporação de lodo de esgoto de indústria de papel nas características de tijolos cerâmicos

Mayara Ananda Gauer⁴⁷, Bruno Sucharski⁴⁸, Juliane Boiko Bohone⁴⁹, Soraya Caroline Abrahão⁵⁰, Rafael Rossoni⁵¹, Vanessa Cristina Guimarães⁵², Jackson Ecks⁵³, Marcos Roberto Dottezini⁵⁴

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo geral avaliar os efeitos da incorporação de lodo primário de Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma indústria de papel reciclado nas características geométricas, índice de absorção de água e na resistência de tijolos cerâmicos. Para isso, foram confeccionados, em indústria cerâmica da região, tijolos sem adição de lodo (somente argila) e tijolos com os seguintes percentuais de resíduo (lodo) adicionados: 4,0%, 5,0%, 11,0% e 14,0%. A confecção desses corpos de prova manteve o mesmo processo pelo qual passam os blocos cerâmicos quando produzidos para comercialização na referida indústria. Para efeito de emprego imediato do resíduo no processo produtivo, as amostras foram comparadas com os blocos de argila produzidos pela empresa. As amostras foram ensaiadas com base nas normas da ABNT NBR 15270-1 e ABNT NBR 15270-3. Os resultados mostraram que o lodo de esgoto de estação de tratamento de indústria de papel reciclado pode ser empregado no processo produtivo cerâmico, com valores satisfatórios para os parâmetros avaliados especialmente para as baixas porcentagens de aplicação (4,0%, 5,0% ou inferiores). De forma geral, não houve diferença estatisticamente significativa (ao nível de 5% de probabilidade) entre as médias obtidas para os testes de resistência com os diferentes percentuais aplicados, apesar de, individualmente, alguns corpos com maiores porcentagens de lodo não terem atingido o valor mínimo de 1,5MPa. Para os demais ensaios, os blocos com adição do lodo se comportaram de maneira muito semelhante aos blocos de produção normal (argila), tendo um pequeno aumento nas suas dimensões (altura, comprimento e largura) e algumas alterações nos demais parâmetros geométricos avaliados. Ainda, no que se refere ao índice de absorção de água, os resultados ultrapassaram os valores máximos permitidos pelas normativas atuais para as porcentagens mais elevadas de lodo adicionado, o que dificulta a fabricação dos tijolos, levando a deformidades que podem comprometer sua utilização para fins construtivos. Conclui-se que, para efeito ambiental, a adição desse resíduo torna-se de grande valia, mesmo em pequenos percentuais, uma vez que seu descarte não seria mais feito totalmente em aterros sanitários.

Palavras-chave: Lodo de esgoto. Blocos cerâmicos. Reaproveitamento. Resistência.

⁴⁷ Professora do Centro Universitário de União da Vitória – UNIUV, União da Vitória, PR. Graduada em Engenharia Ambiental, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho, Mestre em Bioenergia. E-mail: mayaragauer87@gmail.com

⁴⁸ Professor do Centro Universitário de União da Vitória – UNIUV. Graduado em Engenharia Civil. E-mail: prof.bruno@uniuv.edu.br

⁴⁹ Professora do Centro Universitário de União da Vitória – UNIUV. Graduada em Química, Mestre em Química Aplicada, Doutoranda em Química Analítica. E-mail: prof.juliane@uniuv.edu.br

⁵⁰ Professora do Centro Universitário de União da Vitória – UNIUV. Graduada em Engenharia Civil, Mestranda em Planejamento Territorial e Gestão de Infraestrutura. E-mail: prof.soraya@uniuv.edu.br

⁵¹ Professor do Centro Universitário de União da Vitória – UNIUV. Graduado em Engenharia Ambiental, Especialista em Engenharia de Segurança do Trabalho. E-mail: prof.rafael_rossoni@uniuv.edu.br

⁵² Graduada em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário de União da Vitória - UNIUV. E-mail: ea.vanessa.guimaraes@uniuv.edu.br

⁵³ Graduado em Engenharia Civil pelo Centro Universitário de União da Vitória - UNIUV. E-mail: ec.ecks@uniuv.edu.br

⁵⁴ Graduado em Administração pelo Centro Universitário de União da Vitória - UNIUV. E-mail: cramicamarju@ibest.com.br

A study of the effects of adding sewage sludge from the paper industry in characteristics of ceramic bricks

Mayara Ananda Gauer, Bruno Sucharski, Juliane Boiko Bohone, Soraya Caroline Abrahão, Rafael Rossoni, Vanessa Cristina Guimarães, Jackson Ecks, Marcos Roberto Dottezini

ABSTRACT

This work aimed to evaluate the effects of primary sludge incorporation from the Effluent Treatment Plant (ETP) of a recycled paper industry in the geometric characteristics, water absorption rate and strength of ceramic bricks. To this, we have made bricks without addition of mud (clay only) and bricks with the following residual percentages (sludge) added: 4.0%, 5.0%, 11.0% and 14.0% in the local ceramic industry. The making of these specimens kept the same process through which pass the ceramic blocks when produced for commercialization in that industry. To the effect of immediate employment of the residue on the productive process, the samples were compared with the clay produced by the company. The samples were assayed according to the ABNT NBR 15270-1 and NBR 15270-3 standards. The results showed that the sewage sludge from the recycled paper industry treatment plant may be used in ceramic production process, with satisfactory values for all parameters evaluated, especially for low application percentages (4.0%, 5.0% or lower). Overall, there was no statistically significant difference (at the level of 5% of probability) between the mean values obtained for the stress tests with different applied percentage, though individually some bodies with greater sludge percentages did not reach the value of 1,5MPa min. For the other tests, the blocks with sludge addition behaved in a very similar way to normal production blocks (clay) with a small increase in its dimensions (height, length and width) and some alterations in the remaining geometric parameters. Also, as regards the water absorption index, the results exceeded the maximum values allowed by current regulations for higher percentages of added sludge, which complicate the manufacturing of bricks and lead to deformities that may compromise its use for construction purposes. It is concluded that for environmental effects, the addition of this waste becomes valuable, even in small percentages, once its disposal would not be completely done in landfills.

Keywords: Sewage sludge; ceramic blocks; reuse; resistance.

1 INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de efluentes (ETE's) geram resíduos semissólidos conhecidos como "lodos". Para cada estação, o lodo gerado apresenta características diferentes, em função de fatores como: origem da água ou esgoto, técnicas de tratamento e produtos químicos usados (PRIM, 2011).

Os resíduos do tratamento de esgoto de indústrias de papel e celulose são basicamente constituídos por lodos primário e secundário, dependendo da fase do tratamento em que esse subproduto é gerado (decantador primário ou decantador secundário). O lodo primário é composto de fibras de resíduos de madeira, com baixo grau de nutrientes, e é proveniente do processo de tratamento primário, obtidos nos decantadores primários. O lodo secundário, normalmente, libera nutrientes ao solo, originários dos sistemas biológicos ou de digestores de lodo (HARRISON et al., 2003).

A quantidade de lodo gerada pelas estações de tratamento de esgoto normalmente é alta. Com isso, derivam-se elevados custos com o tratamento e destinação final desse material. Para reduzir esses custos, as indústrias buscam alternativas para a recuperação e o reaproveitamento desse resíduo. Uma das possíveis utilizações para esse material residual é o seu emprego como matéria-prima na indústria de materiais cerâmicos.

Para Pinheiro (2008), a incorporação de resíduos em cerâmica vem sendo estudada e tem apresentado resultados bastante consistentes, representando uma excelente alternativa para a problemática dos resíduos sólidos industriais. Esse setor pode obter vantagens no seu processo produtivo com a incorporação de resíduos entre suas matérias-primas. Destacam-se na reciclagem de resíduos industriais e urbanos, em virtude de possuir elevado volume de produção que possibilita o consumo de grandes quantidades de rejeitos.

A fabricação de tijolos cerâmicos, tendo como base a utilização de lodo proveniente de ETEs, vem-se mostrando como uma ideia potencial para a indústria cerâmica. Vários estudos buscam desenvolver a diminuição do volume de lodo e, conseqüentemente, a redução da degradação do meio ambiente (PIRES et al., 2012).

Considerando o cenário acima descrito, o presente trabalho teve como objetivo geral avaliar os efeitos da incorporação de lodo primário de Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma indústria de papel reciclado nas características geométricas, índice de absorção de água e na resistência de tijolos cerâmicos fabricados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA E DEFINIÇÃO DOS ENSAIOS

O presente trabalho foi realizado em uma indústria cerâmica localizada na região centro-sul do Estado do Paraná. Para a confecção dos corpos de prova, foi primeiramente observado como ocorre o processo da fabricação dos tijolos na cerâmica. O mesmo método foi empregado para a fabricação dos tijolos para teste, mas com porcentagens diferentes de lodo e argila em sua composição. As dosagens de lodo incorporado à argila para derivar a massa cerâmica foram de 4,0%, 5,0%, 11,0% e 14,0%. Esta definição da dose seguiu critérios empíricos relacionados à melhor consistência da massa cerâmica. Destaca-se ainda que foram confeccionados corpos de prova contendo apenas argila, para servirem como ensaio-testemunho.

Para cada percentual de lodo adicionado (bem como para o ensaio testemunho) foram usados 5 corpos de prova para a avaliação das características geométricas e ensaio de compressão e 1 corpo de prova para o cálculo índice de absorção de água.

Os blocos foram ensaiados de acordo com a norma NBR 15270-3 (ABNT, 2005a), no que se refere às características geométricas; índice de absorção de água; resistência à compressão. Além dos ensaios

citados, fez-se também a análise granulométrica da argila utilizada, para verificar a porcentagem de areia contida na amostra. Para tanto, seguiram-se as normas ABNT NBR 7181 (1984) e ABNT NBR 6457 (1986).

2.1.1 DETERMINAÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

As características geométricas dos blocos cerâmicos foram determinadas usando-se esquadros metálicos, paquímetro e régua de metal. Inicialmente os blocos foram colocados em uma superfície plana e indeformável; em seguida foi realizada a medição dos blocos nas faces, de forma a obter as medidas de comprimento, largura, altura, planeza, septos internos e externos e o desvio em relação ao esquadro.

Os dados obtidos foram anotados e transferidos para planilha eletrônica. A avaliação estatística foi realizada usando-se as ferramentas de análise do *software Microsoft Excel*, no qual se aplicou análise de variância (ANOVA) (com alfa igual a 0,05), para comparação das médias de cada ensaio.

2.1.2 DETERMINAÇÃO DA MASSA SECA E DO ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE UMIDADE

Inicialmente, os corpos de prova foram colocados em uma estufa (Cienlab) a 105°C, para se determinar a massa individual. Os tijolos foram pesados a cada hora, retirados da estufa e imediatamente pesados em uma balança elétrica. Esse procedimento foi seguido até que em duas pesagens consecutivas a massa dos blocos não apresentasse mais variação dos pesos (massa seca - Ms).

Posteriormente, os blocos foram imersos em água em temperatura ambiente por 24 horas, em um tanque de cura. Após retirado o excesso de água com um pano úmido, pesou-se novamente cada tijolo, para obter a massa do corpo saturado (Mu).

Para o cálculo do índice de absorção de água, foi utilizada a Equação 1 (ABNT, 2005a):

$$AA(\%) = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

Onde:

AA (%): índice de absorção de água em porcentagem.

Mu: massa úmida (kg).

Ms: massa seca (kg).

2.1.3 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

O ensaio de determinação da resistência à compressão dos blocos foi baseado na metodologia da NBR 15270-3 (ABNT, 2005a). Primeiramente, foram escolhidos 5 corpos de prova de cada uma das proporções de lodo (conforme descrito no item 2.1).

Foi feita a determinação das características geométricas (altura, largura e comprimento) de todos os corpos de prova submetidos ao ensaio de resistência. Além disso, os corpos de prova foram capeados com argamassa sobre as faces superior e inferior, com espessura máxima de capa de 3mm (ABNT, 2005a). Decorridas 24 horas do capeamento de uma face do bloco cerâmico (para que a argamassa adquirisse

resistência), iniciou-se o capeamento da outra face, seguindo os mesmos procedimentos citados anteriormente.

Em seguida, os blocos permaneceram secando por 24 horas, para então serem imersos em água, em temperatura ambiente por 6 horas (para o processo de saturação dos corpos de prova). Na sequência, os blocos foram retirados da imersão e o excesso de água foi removido com o auxílio de um pano úmido, esperando-se 24 horas para retirar o excesso de umidade.

Usou-se para o ensaio de resistência uma prensa (EMIC) de 2000 kN. Esse equipamento é usado exclusivamente para o rompimento de blocos cerâmicos e blocos de concreto. Para a realização dos ensaios, a prensa foi configurada em sua opção 3 (para tijolos), e com os padrões da NBR 12570-1 (ABNT, 2005b) (a dimensão do comprimento por largura).

Para os blocos cerâmicos com furos na horizontal (o qual é o caso dos ensaiados), a resistência mínima exigida pela NBR 15270-1 (ABNT, 2005b) é de 1,5MPa.

Os dados obtidos também foram avaliados estatisticamente, assim como citado no item 2.1.1.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CARACTERÍSTICAS GRANULOMÉTRICAS DA ARGILA E ÍNDICE DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

A maior porcentagem de argila que ficou retida se deu na peneira com diâmetro de 1,18mm, o que caracteriza essa amostra como areia mal graduada (pois é menor que pedregulho e maior que argila e silte).

Já em relação ao índice de absorção de umidade, os resultados obtidos foram aqueles constantes na Tabela 1. Conforme a NBR 15270-1 (ABNT, 2005b), o índice de absorção de umidade deve estar dentro do intervalo de 8 a 22%.

Tabela 1 - Índice de absorção d'água

Bloco	Massa seca (kg)	Massa úmida (kg)	Aa (%)
Sem adição	3,175	3,810	20,000
4,0% de lodo	3,220	3,880	20,490
5,0% de lodo	3,016	3,672	21,750
11,0% de lodo	2,370	2,915	22,990
14,0% de lodo	2,780	3,435	23,560
Média	2,910	3,540	21,760
Desvio padrão	0,350	0,390	1,540

Fonte: dos autores, 2015.

Pela observação da Tabela 1 acima, verifica-se que os tijolos com 11,0% e 14,0% de lodo mostraram índice de absorção de água mais elevado que o valor máximo estabelecido pela NBR 15270-1. Isso pode explicar porque alguns dos tijolos confeccionados com este último percentual de lodo apresentaram-se deformados no momento da fabricação (tal como ilustra a Figura 1). Conforme discutem Morais e Spoto (2006), o teor de umidade influencia na qualidade dos blocos cerâmicos, podendo originar trincas e deformações, sendo estas últimas especialmente observadas quando se retiram os blocos da maromba.

Figura 1 - Tijolos deformados devido ao excesso de umidade



Fonte: dos autores, 2015.

A diferença entre os índices de absorção de água para os tijolos testemunha (compostos apenas por argila) e aqueles que receberam a maior quantidade de lodo foi de aproximadamente 18,0%.

Os resultados obtidos para este parâmetro seguiram a mesma tendência observada por Herek *et al.* (2009) e Pires *et al.* (2012). Esses autores constataram que conforme se aumenta a porcentagem de lodo adicionada à massa cerâmica, maior é a absorção de água dos corpos de prova.

3.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS TIJOLOS

A fim de facilitar a análise, no Quadro 1 mostram-se os valores de referência e as tolerâncias admitidas pela norma ABNT NBR 15270-1, em relação às dimensões e características geométricas dos tijolos.

Na Tabela 2 é possível visualizar os resultados médios, mínimos e máximos obtidos para os blocos confeccionados quanto às características geométricas (altura, comprimento e largura). Optou-se pela apresentação desses três resultados apenas em função do grande número de dados coletados.

Quadro 1 – Valores de referência / tolerâncias admitidas pela ABNT NBR 15270-1 em relação às características geométricas dos tijolos cerâmicos

Dimensão / Característica	Valor de referência / Tolerância admitida
Altura	19,0 cm \pm 0,5 cm
Comprimento	24,0 cm \pm 0,5 cm
Largura	14,0 cm \pm 0,5 cm

Dimensão / Característica	Valor de referência / Tolerância admitida
Espessura da parede externa	No mínimo 7,0 mm
Espessura da parede interna (septos)	No mínimo 6,0 mm
Desvio do esquadro	No máximo 3,0 mm
Planeza das faces	No máximo 3,0 mm

Fonte: adaptado de ABNT NBR 15270-1, 2005b.

Tabela 2 – Características geométricas dos blocos ensaiados – altura, comprimento e largura

Adição de lodo	Tipo de resultado	Altura (cm)	Comprimento (cm)	Largura (cm)
Sem adição	Mín	18,180	23,680	13,690
	Méd	18,532	23,916	13,838
	Máx	19,000	24,400	13,900
4,0 %	Mín	18,530	23,500	13,700
	Méd	18,646	23,560	13,800
	Máx	18,800	23,700	14,000
5,0 %	Mín	18,500	23,600	13,600
	Méd	18,600	23,860	13,680
	Máx	18,700	24,100	13,800
11,0 %	Mín	18,700	23,500	13,200
	Méd	18,600	23,830	13,580
	Máx	18,500	24,100	14,100
14,0 %	Mín	17,500	22,200	13,300
	Méd	17,920	22,840	13,800
	Máx	18,200	23,200	14,000

Fonte: dos autores, 2015.

Dos blocos sem adição de lodo, dois desses corpos de prova foram reprovados em relação ao quesito da altura (bloco 1 – 18,200 cm e bloco 5 – 18,180 cm). Em relação às demais dimensões observa-se pela Tabela 2 que nenhuma infringiu o limite de $\pm 0,5$ cm.

Todas as dimensões dos blocos com adição de 4,0% e 5,0% de lodo enquadraram-se nas disposições normativas, mostrando um resultado interessante e melhor, inclusive, àquele obtido para os blocos sem adição de lodo, conforme citado no parágrafo anterior.

Entretanto pode-se afirmar que maiores porcentagens de lodo adicionadas interferiram nas dimensões avaliadas. Para os blocos contendo 11,0% de lodo, dois desses corpos de prova não mostraram dimensões dentro dos intervalos recomendados pela norma ABNT NBR 15270-1 (bloco 2 e bloco 4 no quesito largura, com 13,40 cm e 13,20 cm, respectivamente). Já para os blocos com 14,0% de lodo

nenhum se apresentou adequado às prescrições normativas no que se refere aos quesitos de altura e comprimento. O bloco 2, por exemplo, não respeitou os padrões para nenhuma das dimensões avaliadas.

A Tabela 3 apresenta os resultados para os parâmetros de espessura dos septos, desvio em relação ao esquadro e planeza das faces.

Tabela 3 – Características geométricas dos blocos ensaiados – espessura dos septos, desvio em relação ao esquadro e planeza

Adição de lodo	Tipo de Resultado	Parede externa (mm)	Parede interna (mm)	Desvio do esquadro (mm)	Planeza (mm)
Sem adição	Mín	8,800	8,600	0,000	0,000
	Méd	9,000	8,714	1,360	0,720
	Máx	9,200	8,890	2,100	1,500
4,0 %	Mín	8,900	7,900	0,000	0,000
	Méd	8,980	8,200	0,860	0,300
	Máx	9,100	8,400	2,100	1,000
5,0 %	Mín	8,300	8,000	0,000	0,000
	Méd	8,860	8,200	0,400	0,274
	Máx	9,100	8,300	1,000	0,870
11,0 %	Mín	8,400	7,500	0,000	0,000
	Méd	8,740	7,800	0,600	0,670
	Máx	9,100	8,100	1,000	1,000
14,0 %	Mín	7,500	6,400	1,200	1,200
	Méd	8,070	6,720	3,120	3,220
	Máx	8,900	6,900	4,500	4,500

Fonte: dos autores, 2015.

Em relação aos valores médios obtidos para o desvio do esquadro e planeza das faces, os resultados mostraram-se superiores à tolerância máxima admitida de 3,0mm apenas para o maior percentual de lodo adicionado (14,0%). Uma evidência constatada pelos autores no momento das medições indicou, também, que alguns tijolos com maiores percentuais de lodo, apesar de respeitarem as espessuras mínimas das paredes internas e externas, mostraram paredes desuniformes (entortadas), o que pode influenciar na resistência desses objetos e acarretar problemas nas edificações, se esses tijolos forem empregados na construção civil.

A análise de variância das médias para todos os parâmetros avaliados em relação às características geométricas pode ser consultada na Tabela 4. Nesse caso, pode-se inferir que as médias foram estatisticamente iguais (para os diferentes percentuais de lodo adicionados) apenas para o parâmetro largura.

Tabela 4 – Análise estatística (ANOVA) dos dados correspondentes às características geométricas dos tijolos ensaiados

Parâmetro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	valor-P	F crítico
Altura	1,853	4	0,463	9,531	0,000	2,866
Comprimento	4,002	4	1,000	10,307	0,000	2,866
Largura	0,230	4	0,057	1,138	0,367	2,866
Parede externa	2,94	4	0,735	5,385	0,004	2,866
Parede interna	11,207	4	2,802	68,900	0,000	2,866
Desvio do esquadro	24,022	4	6,006	7,713	0,001	2,866
Planeza	30,615	4	7,654	15,092	0,000	2,866

Observação: Hipótese H0: não há diferença estatística entre as médias para o quesito avaliado; Hipótese H1: Há diferença estatística entre as médias para o quesito avaliado; Se $F < F$ crítico, rejeita-se a hipótese H0.

Fonte: dos autores, 2015.

3.3 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A Tabela 5 apresenta os valores obtidos no ensaio de resistência à compressão para os blocos ensaiados. Já a Tabela 6 traz as informações referentes à avaliação estatística (análise de variância).

Tabela 5 – Resistência à compressão dos blocos ensaiados

Bloco	Sem adição de lodo MPa	4,0% de lodo MPa	5,0% de Lodo MPa	11,0% de lodo MPa	14,0% de lodo MPa
1	1,190	2,560	2,400	1,370	1,110
2	3,000	2,320	1,600	0,700	1,750
3	3,270	1,550	2,200	1,820	1,090
4	2,560	1,720	2,180	2,410	1,560
5	0,670	1,730	1,300	1,720	1,620
Média	2,138	1,976	1,936	1,604	1,426
Desvio Padrão	1,146	0,438	0,464	0,629	0,305

Fonte: dos autores, 2015.

Tabela 6 – Análise estatística (ANOVA) dos dados correspondentes à resistência dos tijolos ensaiados

Parâmetro	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrado médio	F	valor-P	F crítico
Resistência à compressão	1,704	4,000	0,426	0,964	0,449	2,866

Observação: Hipótese H_0 : não há diferença estatística entre as médias para o quesito avaliado; Hipótese H_1 : Há diferença estatística entre as médias para o quesito avaliado; Se $F < F$ crítico, rejeita-se a hipótese H_0 .

Fonte: dos autores, 2015.

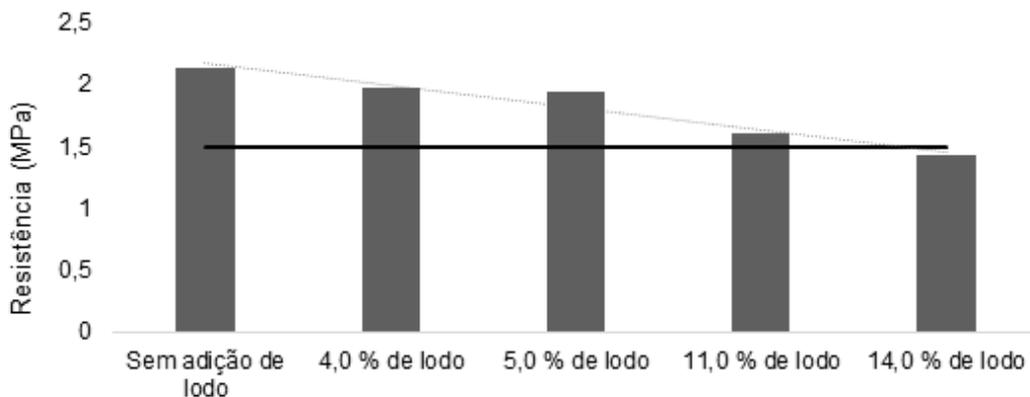
Os melhores resultados foram conseguidos com a porcentagem de 4,0% de adição de lodo, uma vez que os cinco corpos de prova ensaiados atingiram a resistência mínima exigida por norma, que é de 1,5 MPa.

A partir dos resultados médios obtidos para cada porcentagem de adição de lodo, verifica-se que, conforme o percentual aumenta, há uma discreta redução na resistência dos tijolos (Figura 2). Tais resultados mostraram-se concordantes aos obtidos por Herek e outros (2009) e Herek, Bergamasco e Tavares (2010), que observaram que a resistência à compressão é inversamente proporcional à quantidade de lodo adicionada à massa cerâmica vermelha. Entretanto, esses autores, ao testarem o uso de lodo de lavanderia industrial, obtiveram, em geral, resistências superiores às médias encontradas neste trabalho.

Apesar disso, considerando a análise estatística efetuada, percebeu-se que as médias não foram estatisticamente diferentes entre si (ao nível de 5% de probabilidade). Dessa maneira, pode-se atestar que o aumento do percentual de lodo na massa cerâmica não ocasionou perdas de resistência significativas nos tijolos ensaiados.

Assim, o uso de lodo de esgoto na fabricação de tijolos é capaz de atender às prescrições normativas, especialmente ao que se refere à resistência deles. Isso mostra uma grande vantagem, visto que se está aproveitando um material residual.

Figura 2 – Resistências médias dos tijolos ensaiados conforme o percentual de lodo adicionado



Fonte: dos autores, 2015.

4 CONCLUSÃO

A partir dos ensaios realizados e dos resultados obtidos, pode-se concluir que a incorporação de lodo de esgoto se torna benéfica, tecnicamente, somente em pequenos percentuais, visto que essa adição modifica as características da massa cerâmica e, conseqüentemente, os tijolos fabricados. Isso pode ser constatado a partir dos resultados obtidos para todos os testes nas porcentagens de adição de 4,0% e 5,0%

Dessa forma, para efeito ambiental, a adição desse resíduo torna-se de grande valia, uma vez que seu descarte não seria mais feito totalmente em aterros sanitários.

Foi possível alcançar o objetivo geral deste trabalho, visto que se realizaram os testes propostos e necessários para se avaliar os efeitos da incorporação de lodo primário na fabricação de cerâmica vermelha.

Sugere-se que novos testes sejam realizados a partir do uso de percentuais diferentes aos definidos neste estudo, a fim de se obter um banco de dados mais representativo. Também, de maneira a complementar o que já foi desenvolvido, é importante repetir os ensaios realizados, usando-se um maior número de corpos de prova. A partir disso, novas inferências estatísticas podem ser obtidas, confirmando os resultados obtidos até o presente momento.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15270-3. **Componentes cerâmicos – Parte 3: Blocos cerâmicos para alvenaria estrutural – métodos de ensaio**. ABNT: Rio de Janeiro, 2005a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15270-1. **Componentes cerâmicos – Parte 1: Blocos cerâmicos para alvenaria de vedação – terminologia e requisitos**. ABNT: Rio de Janeiro, 2005b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 6457. **Amostras de solo – preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização**. ABNT: 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 7181. **Solo – análise granulométrica**. ABNT: 1984.

HARRISON, R. B. *et al.* **Reciclagem de resíduos industriais e urbanos em áreas de reflorestamento**. Piracicaba, 2003, 198p.

HEREK, L. C. S. et al. Incorporação de lodo de lavanderia industrial na fabricação de tijolos cerâmicos. **Cerâmica**, v. 55, p. 326-331, 2009.

HEREK, L. C. S.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G. Fabricação de blocos cerâmicos de vedação pela incorporação com lodo de lavanderia industrial. **Cerâmica**, v. 56, p. 389-392, 2010.

MORAIS, M.D.; SPOSTO, M.R. Propriedades Tecnológicas e Mineralógicas das Argilas e suas Influências na Qualidade de Blocos Cerâmicos de Vedação que Abastecem o Mercado do Distrito Federal. **Revista Cerâmica Industrial**, v. 11, p. 35-38, 2006.

PINHEIRO, R. M. **Reciclagem de Lodo Primário da Estação de Tratamento de Efluentes da Indústria de Papel em Cerâmica Vermelha**. 2008. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências e Materiais) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UNEF, Rio de Janeiro, 2008.

PIRES, G.T. et al. Adição de lodo de esgoto da E.T.E. do município de Jaguariúna em tijolos cerâmicos: estudo de viabilidade. **Revista Intellectus**, Jaguariúna, ano VIII, n. 22, p. 143-159, 2012.

PRIM, C. C. E. **Utilização de lodo de estação de tratamento de água e esgoto como material de cobertura de aterro sanitário**. 2011. 279f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2011.