

RESÍDUOS DA SIDERURGIA E DA INDÚSTRIA DE MÁRMORE E GRANITO NA PRODUÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO¹

Mauricio Lordêllo Santos Souza Filho²
Maristela Gomes da Silva³
Fernando Lordêllo dos Santos Souza⁴
Kátia Maria Brunoro Grilo Bourguignon⁵
Janine Gomes da Silva⁶

Resumo

Neste trabalho pesquisa-se a produção de tijolos prensados a partir de resíduos da siderurgia e da indústria de mármore e granito. Pesquisam-se a cal calcítica, a pré-cal calcítica, a escória de *dry-pit*, a lama de ETA, a Lama de decantação da escória de aciaria e o resíduo de corte de rocha, como co-produtos, e os materiais, o cimento Portland de alto-forno CP III-32-RS, a gipsita, cal CH I, o silicato de sódio e pigmentos. São pesquisados traços experimentais que originam quatro traços com os constituintes: a escória de alto-forno moída (aglomerante e fração fina no agregado), o silicato de sódio como ativador em um dos traços, a cal CH I, o resíduo de corte de rocha e a Lama da ETA como frações finas; e como fração média do agregado a escória de *dry-pit*. Observam-se diversas possibilidades de aplicações nos resultados das propriedades mecânicas, físicas, durabilidade e ambiental dos tijolos.

Palavras-chave: Tijolos prensados; Co-produtos; Escória; Resíduo de corte de rocha.

STEEL INDUSTRY AND BETTERMENT INDUSTRY OF ORNAMENTAL ROCKS RESIDUE IN THE PRODUCTION OF ECOLOGICAL PRESSED BRICKS

Abstract

In this work the production of pressed bricks utilizing steel industry and the industry of marble and granite residue. Calcitic and pre-calcitic lime, dry- pit, the clay of Water Treatment Station, the ironworks clay of sludge decantation and the residue of cutting rock, and materials, the high-furnace Portland cement CP III-32-RS, the gypsum, lime CH I, sodium silicate, and pigments are studied. Experimental proportions are studied which originates four proportions with the components: grinded high furnace slag (agglomerative and fine fragment of aggregative), sodium silicate as an activator in one of the proportions, lime CH I, the rock cutting residue and the clay of WTS as fine fractions: and as medium fraction of agregative the dry-pit slag. Several possibilities of employment are observed in the mechanical, physical properties, durability and environmental properties of bricks.

Key words: Pressed bricks; Byproducts; High furnace slag; Rock cutting residue.

1 Contribuição técnica ao 62º Congresso Anual da ABM – Internacional, 23 a 27 de julho de 2007, Vitória – ES, Brasil.

2 Eng. Civil, MSc. Professor do Departamento de Engenharia Civil da UFES; e-mail mlssf@npd.ufes.br.

3 Eng. Civil, Dr. Eng., professora do Departamento de Engenharia Civil e do Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, Diretora do Centro Tecnológico; e-mail margomes@npd.ufes.br.

4 Eng. Civil, MSc. Pesquisador do NEXES - UFES; e-mail fernalor@npd.ufes.br.

5 Eng. Civil, MSc. Pesquisadora do NEXES - UFES. e-mail: katia.bourguignon@terra.com.br.

6 Arq. MSc. Pesquisadora do NEXES - UFES. e-mail: arq.jan@terra.com.br.

1 INTRODUÇÃO

A consciência de que as atividades econômicas no nosso planeta causam problemas ambientais decorrentes da geração de resíduos requer políticas públicas no sentido de aproveitar o seu potencial de uso para diminuir o consumo de matérias primas não renováveis.

Uma abordagem adequada para o problema está no desenvolvimento de tecnologias e produtos que visem a redução dos resíduos gerados em toda a cadeia produtiva, resultando numa solução economicamente competitiva e com desempenho técnico-ambiental eficiente.

Para esse efeito, John⁽¹⁾ pondera ser o setor de construção civil um excelente aliado, pelo fato de ser responsável pela produção de bens e serviços com grandes contribuições econômicas e sociais já que participa com 14,5% do PIB brasileiro.

Ao mesmo tempo, o enorme déficit habitacional existente em nosso país, principalmente para a população de baixa renda, tem direcionado as diversas pesquisas na busca por produtos mais econômicos.

Alia-se a essa postura, a produção de tijolos prensados de co-produtos siderúrgicos. A vantagem de poder incorporar, em sua produção, co-produtos siderúrgicos como a escória de alto-forno e diversos tipos de finos, faz da produção do tijolo prensado com co-produtos siderúrgicos, uma importante contribuição para a redução do consumo de matérias primas não-renováveis e na destinação mais adequada desses co-produtos, além de possibilitar a implantação de políticas públicas que visem a maior inclusão social.

Além disso, o tijolo prensado por não necessitar de queima, reduz consideravelmente o consumo de energia em sua produção.

Uma outra vantagem está na produção, que pode ser manual e de fácil assimilação, viabilizando, dessa forma, diversos programas habitacionais de interesse social.

Como outros benefícios, podem-se citar o menor custo desse tijolo além de um resultado técnico e estético da aplicação do Tijolo ecológico siderúrgicos em alvenarias de vedação sem função estrutural, podendo ser aplicados na vedação de diversas tipologias de edificações, oferecendo possibilidades de pigmentação e composição arquitetônica diferenciadas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Materiais

Os materiais empregados neste estudo são co-produtos oriundos de empresa de siderurgia situada na região da Grande Vitória, e decorrente de seu processo produtivo.

Além dos co-produtos foram pesquisados os materiais: o cimento Portland de alto-forno CP III-32-RS, a gipsita, cal CH I, o silicato de sódio, pigmentos e o resíduo de corte de rocha. Estes materiais são experimentados, separados ou em conjunto, em alguns casos como ativadores, em outros, como finos para melhorar a granulometria da mistura e a compactidade.

2.2 Métodos

A partir de um inventário inicial, são selecionados preliminarmente os resíduos com possibilidades de uso. Uma segunda seleção é feita com base nos dados de geração e de estocagem; na composição química fornecida pelas empresas, com atenção à presença de compostos deletérios e à existência de compostos potencialmente aglomerantes; nas informações sobre classificação ambiental fornecida pela empresa; na análise visual para a observação de requisitos qualitativos como finura, granulometria, cor e umidade e no interesse da empresa na reciclagem dos co-produtos gerados em função de quantidade estocada; geração mensal ou da classificação ambiental.⁽²⁾ Decorre desta avaliação a seleção de cinco co-produtos que são usados no estudo inicial e se encontram no Quadro 1.

Quadro 1: Origem e geração média dos co-produtos pré-selecionados.⁽²⁾

Co-produtos gerados	Origem	Geração média (t/mês)
Cal calcítica fina	Calcinação	2 700
Pré-cal calcítica	Calcinação	1 700
Escória de <i>dry-pit</i> (bruta)	Alto-forno	435
Lama da estação de tratamento de água (ETA)	ETA	1 500
Lama de decantação da escória de aciaria	Planta de beneficiamento	1 000

Em seguida procede-se a amostragem dos co-produtos com base na NBR 10007/1984.⁽³⁾

Nas Figuras 1, 2 e 3 observam-se a estocagem destes resíduos siderúrgicos.



Figura 1: Armazenagem: (a) da escória granulada de alto-forno e (b) escória de *dry-pit* em pátio ao ar livre.⁽²⁾



Figura 2: Coleta: (a) da cal calcítica fina (b) da pré-cal calcítica.⁽²⁾

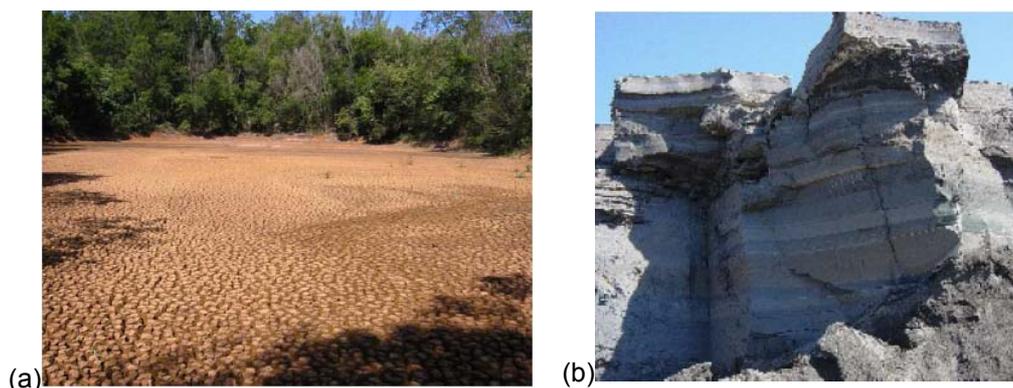


Figura 3: Estocagem: (a) lama da ETA e (b) lama de decantação da escória de aciaria.⁽²⁾

A caracterização dos co-produtos é realizada priorizando-se aqueles de origem conhecida e de resultados promissores que têm emprego garantido, como a escória granulada de alto-forno moída e escória de *dry-pit*.

A caracterização dos materiais e co-produtos compreende: ensaios físicos, ensaios químicos, análise da microestrutura dos co-produtos e ensaios de caracterização ambiental (lixiviação e solubilização) relacionados no Quadro 2 e Quadro 3 respectivamente.

Quadro 2: Relação dos materiais utilizados e os ensaios realizados.⁽⁴⁾

Co-produtos	Ensaio físicos	Ensaio químicos
Cal; Gipsita; Resíduo de corte de rocha	Finura #200(NBR 11579/1991); Finura (NBR 9289/1986); Massa específica NBR NM 23/1998;	Análise química

Quadro 3: Relação dos co-produtos utilizados e os ensaios realizados.⁽²⁾

Co-produtos	Ensaio físicos	E. químicos	Microestrutura
Cal calcítica fina; Escória de <i>dry-pit</i> ; Lama da ETA; Lama de decantação da escória de aciaria; Escória granulada de alto-forno; Escória granulada de alto-forno moída	Finura #325(NBR 9202/1985). Finura #200(NBR 11579/1981). S.esp. Blaine (NBR NM 76/1998). Massa específica NBR NM 23/1998. Umidade. Massa específica (NBR 9776/1987). Massa unitária (NBR 7251/1982). Granulometria (NBR 7217/1987). Teor argila (NBR 7218/1987). T. mat. pulverulentos (NBR 7219/1987).	Análise química Análise química elementar qualitativa por EDS.	MEV Grau de vitrificação Índice de refração Granulometria a laser; Difração raios X

3 PRODUÇÃO DO TIJOLO ECOLÓGICO

A produção dos tijolos compreende: controle de recebimento, identificação e caracterização dos co-produtos e materiais com possibilidades de usos, estudos de misturas preliminares com seleção dos traços finais, dosagem das misturas selecionadas para a produção, prensagem e cura dos tijolos.

Na produção do tijolo ecológico utiliza-se a metodologia do tijolo de solo-cimento. O solo é usado como material de construção há pelo menos dez mil anos pelos gregos e romanos, tendo sido usado também na construção da muralha da China, utilizando-se uma mistura de argila e cal na proporção de 3:7.^(5,6)

Atualmente, com a diminuição das reservas de argila próprias para a produção de tijolos, na busca por soluções alternativas, têm-se pesquisado a produção de tijolos usando-se diferentes tipos de co-produtos gerados nas indústrias e nos diferentes processos de mineração.^(7,8)

Na produção do tijolo prensado de co-produtos siderúrgicos, depois de recebidos, identificados, caracterizados os materiais e co-produtos, são estabelecidas as proporções das misturas e os materiais e co-produtos siderúrgicos mais adequados para a produção.⁽²⁾

Após as misturas experimentais são selecionados quatro traços com possibilidades de uso, utilizando-se como constituintes a escória granulada de alto-forno moída, a cal CH I, a lama da ETA e a escória de *dry-pit*.

Um dos traços é formulado com o objetivo de usar co-produtos em sua maioria e, neste sentido, substituiu-se a cal CH I por resíduo de corte de rocha, sem o emprego do ativador silicato de sódio.

Os materiais utilizados em cada traço encontram-se no Quadro 4.

Quadro 4: Relação dos traços utilizados para a produção.

Traços	Materiais
T-1	Escória moída, resíduo de corte de rocha e escória de <i>dry-pit</i>
T-2	Escória moída, cal, lama da ETA e escória de <i>dry-pit</i>
T-3	Escória moída, silicato de sódio e escória de <i>dry-pit</i>
T-4	Escória moída, resíduo de corte de rocha, lama da ETA e escória de <i>dry-pit</i>

As misturas foram executadas em um misturador de eixo horizontal conforme se vê na Figura 4.



Figura 4: Misturado de eixo horizontal.⁽²⁾

Escolhe-se o misturador horizontal porque, segundo Grande,⁽⁹⁾ existe uma relação entre a resistência mecânica e a homogeneização da mistura de solo-cimento, sendo as betoneiras de gravidade menos eficientes do que os misturadores de eixo vertical ou do tipo sem fim. Esses misturadores têm menos tempo de mistura, sendo o seu uso adequado para misturas secas como é o caso do tijolo prensado.⁽²⁾

A prensagem foi efetuada em uma prensa hidráulica como se vê na Figura 5.



Figura 5: Prensa hidráulica.⁽²⁾

As prensas hidráulicas imprimem maior pressão, originando produtos mais resistentes e de excelente qualidade, embora tenham o inconveniente de serem equipamentos caros e pesados.⁽⁹⁾

Depois de prensados os tijolos de co-produtos siderúrgicos são curados em câmara úmida por 7 dias como se vê na Figura 6.



Figura 6: Cura dos tijolos prensados.⁽²⁾

A cura do tijolo de solo-cimento é normalizada pela NBR 8491/1984,⁽¹⁰⁾ entretanto, no caso de tijolos prensados de co-produtos siderúrgicos, optou-se pela cura em câmara úmida.⁽²⁾

Os ensaios para avaliação das propriedades dos tijolos são: Determinação da resistência à compressão e de absorção d'água,⁽¹¹⁾ Ensaio de durabilidade (variação dimensional e perda de massa) adaptado com base na NBR 13554/1996⁽¹²⁾ e Caracterização ambiental dos tijolos – lixiviação de acordo com a NBR 10005/2004⁽¹³⁾ e solubilização de acordo com a NBR 10006/1987.⁽¹⁴⁾

3.1 Concepção Arquitetônica dos Tijolos

Os tijolos prensados, em função da sua forma de produção, têm normalmente a forma de paralelepípedo estabelecidas na NBR 8491/1984 da ABNT⁽¹⁰⁾ e constantes do Quadro 5.

Quadro 5: Tipos e dimensões nominais dos tijolos prensados de solo-cimento.⁽¹⁰⁾

Denominação	Dimensões (cm)		
	Comprimento	Largura	Altura
Tipo I	20	9,5	5
Tipo II	23	11	5

A NBR 8491/1984 da ANBT⁽¹⁰⁾ estabelece que no caso de execução de reentrâncias no tijolo, estas devem situar-se a no mínimo 2,5 cm a partir das arestas paralelas e terem profundidade de 1,3 cm.

Na Figura 7 observam-se as formas dos tijolos de co-produtos siderúrgicos.

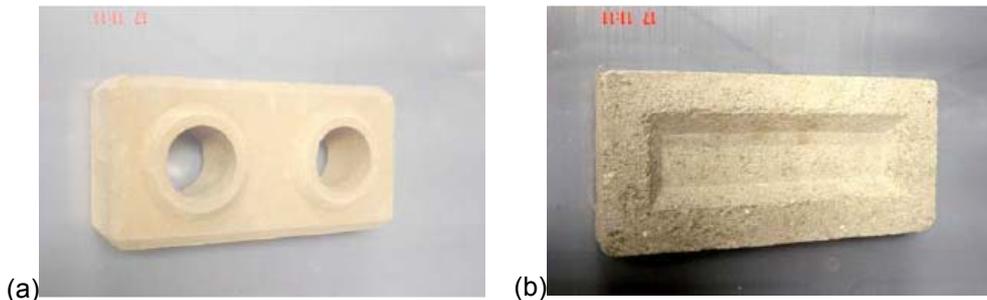


Figura 7: Forma paralelepípedo: (a) com furos; (b) com reentrância.⁽²⁾

Os tijolos prensados seguem as especificações do Tipo II da NBR 8194/1984 da ABNT.⁽¹⁰⁾

São também produzidos tijolos furados com sistema de encaixe. A produção destes tijolos permite observar que com os mesmos traços dos tijolos maciços são obtidos bons resultados quanto à produção, manuseio e estética do conjunto de tijolos encaixados.

O emprego dos pigmentos possibilita resultados satisfatórios no percentual de 1% em relação à massa dos materiais secos, e algumas amostras podem ser observadas na Figura 8.



Figura 8: Pigmentação dos tijolos.⁽²⁾

O assentamento dos tijolos pode atender a várias configurações conforme as necessidades do projeto e criatividade dos projetistas. Nas Figura 9 e 10, observam-se algumas formas de assentamento.⁽²⁾

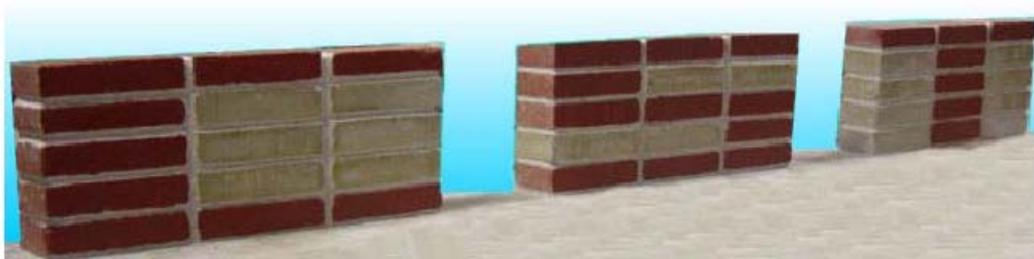


Figura 9: Assentamento com argamassa dos tijolos com reentrâncias. ⁽²⁾



Figura 10: Assentamento do tijolo com furos sem argamassa. ⁽²⁾

As alvenarias com o tijolo ecológico podem ser utilizadas sem revestimento de reboco, mesmo nas paredes externas, desde que sejam protegidas por beirais e impermeabilizadas. Considere-se também o fator econômico e de facilidade de execução quando se emprega o tijolo com furos, por ser mais leve, de encaixe e com maiores dimensões.

4 RESULTADOS

Os resultados de resistência à compressão e de absorção dos tijolos, para os traços finais encontram-se no Quadro 6.

Quadro 6: Resultados de resistência à compressão e absorção. ⁽²⁾

Traço	Resistência à compressão média aos 7 dias (MPa)	Absorção média aos 7 dias (%)
T-1	11,25	17,58
T-2	15,38	15,90
T-3	12,34	16,43
T-4	14,50	15,63

Estes tijolos ensaiados conforme a NBR 8492/1984⁽¹¹⁾ atenderam à NBR 8491/1984,⁽¹⁰⁾ atingindo valores de resistência à compressão aos 7 dias, muito acima de 1,7 MPa, valor mínimo individual exigido por essa norma. Outro aspecto analisado foi a absorção d'água que também atendeu aos limites estabelecidos por essa norma, propriedade que normalmente compromete os tijolos prensados em sua maioria.

Os resultados das medições efetuadas nos tijolos, conforme metodologia adaptada da NBR 13554/1996,⁽¹²⁾ analisados por estatística descritiva, mostraram que não houve variação dimensional significativa, indicando variação volumétrica inferior a 1%.

Quanto à perda de massa, com resultados inferiores a 1%, é atendida a especificação NBR 13553/1996⁽¹⁵⁾ que fixa o valor máximo para a perda de massa, em 10%, para um solo granular.

Na análise ambiental dos tijolos, verifica-se nos resultados das análises dos extratos lixiviados, que há redução das concentrações para a maioria dos parâmetros e que estes são extremamente inferiores aos limites máximos da NBR 10004:2004.⁽¹⁶⁾

Da leitura dos resultados de solubilização, verifica-se que o processo de transformação de co-produtos em tijolos prensados foi benéfico, dada a eficiência do encapsulamento da maioria dos elementos analisados.⁽¹⁶⁾

Sob o ponto de vista econômico, o tijolo ecológico de co-produtos se produzido próximo às siderúrgicas torna-se economicamente viável e competitivo, com preço médio, sem bonificação, de até R\$ 0,23 (vinte e três centavos) para produção a 20 km da siderúrgica, se comparado ao preço médio de mercado do tijolo maciço cerâmico que é de R\$ 0,43 (quarenta e três centavos).⁽²⁾

Outros tipos de tijolos prensados são vendidos como ecológicos, sob o argumento de que não necessitam de queima, entretanto, a maioria utiliza matérias-primas não renováveis e de elevado consumo energético e com altas emissões gasosas na atmosfera. Nesse sentido, Silva,⁽¹⁷⁾ na análise do ciclo de vida de diversos tijolos, concluiu ser o tijolo prensado composto exclusivamente de co-produtos siderúrgicos, deste trabalho, um produto com melhor desempenho ambiental.

5 CONCLUSÕES

A produção do tijolo prensado de co-produtos siderúrgicos revelou-se viável sob o ponto de vista econômico e técnico, comprovando-se que a escória granulada de alto-forno finamente moída, a escória de *dry-pit*, o resíduo de corte de rocha e a lama de ETA são co-produtos com características adequadas à produção de tijolos prensados do tipo solo-cimento.

Por outro lado, na análise ambiental, o processo de transformação de co-produtos em tijolos prensados foi benéfico, uma vez que foram encapsulados a maioria dos elementos analisados nos extratos lixiviado e solubilizado e pH das amostras.

Assim, os bons resultados de propriedades mecânicas e físicas obtidas nos tijolos, sugerem a viabilidade de um grande número de aplicações em outros componentes empregados na construção civil, como por exemplo, pré-moldados para pisos e pavimentos destinados a ciclovias e calçadas.

Agradecimentos

Agradecemos à Companhia Siderúrgica de Tubarão (CST), à FINEP e ao CNPq por fomentar este trabalho. Agradecemos, também, à Diaton, à Ical, à Holcim e à Mizu por fornecer os materiais.

REFERÊNCIAS

- 1 JOHN, Vanderley M. **Reciclagem de resíduos na Construção Civil**. Tese de Livre Docência. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
- 2 SOUZA FILHO, Mauricio Lordêllo dos Santos. A utilização de co-produtos da **siderurgia e da indústria de beneficiamento de rochas ornamentais na produção de tijolos prensados**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. Vitória, (2005).
- 3 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **Amostragem de resíduos**. NBR 10007. Rio de Janeiro, 1984.
- 4 NÚCLEO DE EXCELÊNCIA EM ESCÓRIA SIDERÚRGICA – NEXES. **Desenvolvimento de tijolos prensados utilizando co-produtos da CST: Projeto Tijolo - Relatório final**. 2005.
- 5 RIBAS SILVA, Moema. **Materiais de construção**. 2.ed. São Paulo: Pini, 1991. 263p.
- 6 FERRAZ, André Luiz Nonato; SEGANTINI, Antonio Anderson da Silva. Estudo da adição de resíduos de argamassa de cimento nas propriedades do solo-cimento. In: I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X encontro Nacional de Tecnologia do ambiente Construído. **Anais**. São Paulo. 2004.
- 7 MALHOTRA, S.K. and TEHRI, S. P. Development of bricks from granulated blast furnace slag. **Central Building Research Institute**, Roorkee. India, 1995.
- 8 FERREIRA, Regis de Castro; SILVA, Elias Magalhães da; FREIRE, Wesley Jorge. Tijolos prensados de solo-cimento em alvenaria aparente auto-portante no “Conjunto Nossa Morada”, Goiânia-GO. In: III Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Produção e gestão do ambiente construído sustentável. **Anais**. São Paulo. 2003.
- 9 GRANDE, F. M. Fabricação de tijolos modulares de solo-cimento por prensagem manual com e sem adição de sílica ativa. Dissertação de mestrado. São Carlos, São Paulo. 2003.
- 10 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo maciço de solo-cimento: Especificação**. NBR 8491. Rio de Janeiro, 1984.
- 11 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Tijolo maciço de solo-cimento: Determinação da resistência à compressão e da absorção d’água- Método de ensaio**. NBR 8492. Rio de Janeiro, 1984.
- 12 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solo-cimento: Ensaio de durabilidade por molhagem e secagem**. NBR 13554. Rio de Janeiro, 1996.
- 13 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Lixiviação de Resíduos**. NBR 10005. Rio de Janeiro, 2004.
- 14 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Solubilização de Resíduos**. NBR 10006. Rio de Janeiro, 1987.
- 15 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Materiais para emprego em parede monolítica de solo-cimento sem função estrutural**. NBR 13553. Rio de Janeiro, 1996.
- 16 LORENZONI, Denise Izoton. **Tijolos prensados produzidos com resíduos sólidos industriais: Uma caracterização segundo a NBR 10004/2004**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo. 2005.
- 17 SILVA, Janine Gomes, **Análise do ciclo de vida de tijolos prensados de escória de alto-forno**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. Vitória, (2005).