



CARACTERIZAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DO RESÍDUO DE LÃ DE ROCHA PARA UTILIZAÇÃO EM INDÚSTRIA CIMENTEIRA

Maiara Goulart Medeiros, Armando Borges Castilho Junior, Janaíde Cavalcante Rocha, Kamila Almeida de Oliveira*

** Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) – mgoulart.gri@solvi.com*

RESUMO

A questão de resíduos industriais no que se refere a aspectos ambientais é premente. Estudos de caracterização e classificação são uma das formas para se identificar o potencial de reaproveitamento e/ou reciclagem do resíduo industrial. As fibras de lã de rocha têm grande aplicação nas indústrias, principalmente, pela sua capacidade de isolamento térmico, e proteção contra incêndio. O objetivo deste trabalho consiste num estudo de caracterização e classificação do resíduo industrial de lã de rocha de modo a sugerir a reaproveitamento e/ou reciclagem deste. Segundo estudos o resíduo de lã de rocha apresentaram resultados satisfatórios quando aplicado na indústria cimenteira. Com base em análises realizadas é possível sugerir a incorporação do resíduo em matrizes de cimento. Os resultados demonstraram que o resíduo de lã de rocha segundo sua classificação é enquadrado como resíduo classe II - A, Não Inerte, ou seja, não apresenta nenhum indicativo de periculosidade, facilitando assim seu reaproveitamento e/ou reciclagem. Quanto ao tipo de material, possui componentes ricos em sílica e alumina, características de sólido amorfo e com granulometria fina pode ser utilizado como pozolana classificando o resíduo como um agregado aplicável a indústria cimenteira.

Palavra-chave: resíduo de lã de rocha, classificação, caracterização.

CHARACTERIZATION AND CLASSIFICATION OF STONE WOOL WASTE FOR CEMENT INDUSTRY

ABSTRACT

The issue of industrial waste regarding to environmental aspects is pressing. Characterization and classification studies are one of the ways to identify the reuse potential of industrial waste. The stone wool fibers have wide application in industry , mainly for its thermal insulation and fire protection. The goal of this paper is a study of characterization and classification of industrial stone wool waste to suggest its reuse. According to studies by Cheng et al . (2010) and Lin et al . (2013) on the stone wool waste, results showed satisfactory when applied in the cement industry. Based on analyzes is possible to suggest the incorporation of the waste in cement matrix. The results showed that the stone wool waste according to its classification is framed as class waste II - A, not inert, that is, shows no indication of danger and facilitates it reuse . Concerning the type of material, it has rich silica and alumina, amorphous solid features and fine grain components can be used as pozzolan classifying the waste as applicable to the cement industry.

Keywords : stone wool waste , classification , characterization



1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento de resíduos industriais, nas últimas décadas, é um dos temas ambientais mais complexos, o número crescente de resíduos encontrados e a sua produção têm exigido soluções mais eficazes e investimentos maiores por parte de seus geradores.

A lâ de rocha, por suas características, como facilidades de se; manusear e moldar, aos equipamentos como tubulações, caldeiras, fornos e, principalmente, pela sua capacidade de isolamento térmico, e proteção contra incêndio, é muito utilizada em indústrias, por exemplo; em usina termelétrica e hidrelétrica. Porém, devido às manutenções necessárias nos equipamentos na qual a lâ de rocha, está sendo utilizado, o material perde as suas características de eficiência térmica, e se torna um resíduo industrial. Este material atualmente é destinado em aterros industriais de classe II (não perigosos), gerando impactos ambientais negativos, como aterramento de resíduos e ainda despesas com transporte e disposição.

O reaproveitamento e/ou reciclagem dos resíduos produzidos nos processos industriais é busca constante dos geradores. Para resolver o problema da destinação de resíduos de rocha lâ, reciclá-lo na indústria do concreto pode ser a aplicação mais viável CHENG et al., (2010) e Lin et al., (2013), sugerem que as partículas de lâ de rocha podem ser consideradas como um material suplementar, para substituir parte do cimento e aumentar propriedades mecânica e durabilidade.

A lâ de rocha através da sua composição química apresenta características pozolânicas de acordo com NBR 12653 (ABNT; 2012). Podendo ser vantajoso, em alguns casos fazer a substituição, tanto parte cimento Portland, como de parte do agregado miúdo, por pozolana (METHA; MONTEIRO 1994).

2. OBJETIVO

Caracterizar e classificar o resíduo sólido industrial de lâ de rocha, de modo a sugerir seu reaproveitamento e/ou reutilização a indústria cimenteira.

2.1 Objetivos específicos

- Classificar o resíduo industrial de lâ de rocha de acordo NBR 10004 (ABNT; 2004).
- Caracterizar o resíduo industrial de lâ de rocha, para aplicação na indústria cimenteira.
- Enquadrar a reutilização como prática de Produção mais Limpa.

3. MÉTODOS

O resíduo analisado nesse estudo é proveniente do isolamento térmico de caldeira e precipitadores eletrostático de uma usina termelétrica. Por se tratar de um resíduo homogêneo, conforme definição do item 2.2 da norma NBR 10007 (ABNT; 2004) o resíduo neste estudo provém de uma parcela coletado durante um carregamento do mesmo, na usina. As análises de caracterização e classificação foram desenvolvidas nos laboratórios localizado no I-parque – Parque científico e tecnológico em Criciúma-SC, a classificação seguiu o procedimento adotado conforme o NBR 10004 (ABNT; 2004). O material foi submetido a uma moagem, utilizando um moinho de Jarro Cienlab com capacidade de 5 L de porcelana (jarro e bolas), com velocidade 55 rpm, carga de 2 kg de esferas de 14 mm e 2 kg de esferas de 20 mm. Na figura 1 apresenta o aspecto visual do resíduo de lâ de rocha na forma *in natura* e após processo de moagem. O resíduo de lâ de rocha, conforme Fig. 1 (b) apresenta aspecto de uma manta (camadas) de cor amarelada com certa aspereza em função do teor de sílica presente.

Figura 1 - Resíduo de lã de rocha (a) após a moagem e (b) *in natura*
Fonte: autoria própria, 2013.



Cada amostra passou por um processo de preparo, específico para a análise em questão. Como a lã de rocha possui formato de manta, foi necessário inicialmente desfibrar manualmente para serem moídas.

Depois de moídos foi determinada a massa específica usando um Picnômetro de Hélio Ultrapyc 1200e da Quantachrome Instruments, e realizado análise de granulometria utilizando um granulômetro Bertel com tempo 10 min, e foram de caracterizados pelos métodos a seguir:

- Difratoimetria de raios x (DRX) marca Shimadzu Corporation modelo XRD-600, com fonte radiação $K\alpha$ do cobre (1,5405 Å) com um intervalo angular de 5 a 80° com um passo de 0,02° e uma velocidade angular de 2°/min.
- Fluorescência de raios x (FRX) trata de uma técnica voltada ao estudo dos materiais. Através dessa análise elementar é possível identificar a composição química de um material. Feito no equipamento de análise industrial, Sorter S1 da marca Bruker.
- Análise Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC)/ Análise Termogravimetria (TGA/TG) avalia o comportamento endotérmico e exotérmico dos minerais existentes na amostra, bem como a entalpia. Enquanto a análise termogravimétrica baseia-se na perda de massa com a variação da temperatura. O equipamento utilizado foi TA instrument, do modelo Q600 Simultaneous TGA/DSC, equipado com um programador de temperatura e uma microbalança eletrônica, que permite a realização simultânea de análise térmica diferencial e análise termogravimétrica. Realizado em atmosfera de ar sintético, uma taxa de aquecimento de 10°C/min em temperatura máxima de 1200°C em cadinho de alumina.
- Microscopia eletrônica de varredura (MEV) consiste num modelo digital (EVO MA10 da Zeiss). Tal aparelho permite a análise da amostra, a uma resolução em operação a vácuo de 3 nm 30 kV no modo de elétrons secundários para Filamento de Tungstênio (W) (padrão) e de 2 nm 30 kV no modo de elétrons secundários para Sistema para operação com filamento LaB6 (opcional).

A tabela 1 apresenta as análises realizada com o material de lã de rocha (comercial e resíduo):



Tabela 1: Análises realizada com a lâ de rocha.

Amostra	Análises
Lã de Rocha (Resíduo)	Granulometria
	Classificação completa – NBR 10004; (DSC) / (ATD/TG)
	DRX
	FRX
	MEV
Lã de Rocha (Comercial)	(DSC) / (ATD/TG)

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Classificação do resíduo

Segundo a classificação de resíduos sólidos, NBR 10004 (ABNT; 2004) a lâ de rocha constitui-se de um resíduo Classe II A - Não Inerte em virtude da elevada presença de ferro, surfactantes e Fluoretos.

Tabela 02 - Resultados pertinentes à classificação do resíduo de lâ de rocha

Classificação de ABNT NBR 10004:2004			
Parâmetros	Resultados (mg/L)	VMP (mg/L)*	L.Q*
Ferro	0,6	0,3	0,02
Fluoreto	8,8	1,5	1,0
Surfactantes	0,6	0,5	0,1

*LQ: Limite de Quantificação.

*VMP: Valor Máximo Permitido.

4.2 Massa específica do resíduo

Através do resultado obtido de 2,88 g/cm³ do resíduo de lâ de rocha, observa-se que a massa específica do resíduo é semelhante ao dos agregados naturais, conforme tabela 3 abaixo.

Tabela 03 - Propriedade física do resíduo de lâ de rocha, agregado miúdo e agregado graúdo

Propriedade	Resíduo de lâ de rocha	agregado miúdo	agregado graúdo
Massa específica (g/cm ³)	2.88	2.62*	2.68*

*Fonte: Cheng et. al (2010)

4.3 Análise de granulometria

Resíduos de lâ de rocha obtidos a partir de materiais de isolamento térmico foram moídos. A tabela 04 apresenta a distribuição da análise de granulometria.



Tabela 04 - Resultado da análise de granulometria do resíduo de lã de rocha

Peneiras (mesh)	Abertura (mícrons)	Tempo de moagem 1 hora			
		m(g)	MRS*	MRA*	MP*
48	300	1,59	1,57	1,57	98,43
60	250	0,63	0,62	2,19	97,81
65	212	0,92	0,91	3,10	96,90
100	150	3,28	3,24	6,35	93,65
115	125	11,58	11,45	17,80	82,20
150	106	9,93	9,82	27,62	72,38
Fundo	Fundo	73,21	72,38	100,00	0,00
		101,14	100,00		

*MRS: Massa retido simples / *MRA: Massa retido acumulado / *MP: Massa passante

4.4 Fluorescência de raios x

De posse da porcentagem de seus constituintes, pode-se então agregar um valor ou uma finalidade que justifique a sua utilização. A análise química deste resíduo, realizada através da técnica de FRX, está apresentada na tabela 05.

Tabela 05 - Composição nominal, em óxidos, do resíduo de lã de rocha.

COMPOSTOS	QUANTIDADE (% MASSA)
SiO ₂	43,27%
Al ₂ O ₃	9,77%
Fe ₂ O ₃	8,87%
CaO	13,53%
K ₂ O	0,96%
MgO	13,39%
Na ₂ O	0,59%
MnO	-
P ₂ O ₅	010%
TiO ₂	3,49%
SrO	-
P.F.	0,02%

De acordo com a composição química apresentada é possível determinar que este apresenta, segundo a norma NBR 12356 (ABNT; 2012), características pozolânicas. Uma vez que, aproximadamente 62% da massa da lã de rocha é constituída de SiO₂, Al₂O₃ e Fe₂O₃, além de uma concentração inferior a 1,5% para Na₂O. Permitindo o prévio enquadramento do resíduo à classificação para materiais pozolânicos. Isto implica que o resíduo de lã de rocha tem propriedades pozolânicas e cimentícias (CHENG et al., 2010).

4.5 Difractometria de raios x

Observam-se através da Fig. 02 halos exibidos formados por linhas, sem picos marcantes, associados à presença de fases cristalinas, isto indica que o resíduo apresenta caráter amorfo formado somente por um pico de baixa intensidade entre 15 a 40° (2θ), a forma e a posição do



halo pode ser associada ao valor angular próximo ao pico principal da sílica, mostrando algum ordenamento de curto alcance, tendendo a se organizar nesta fase cristalina caso haja condições (NEVES; KNISS; DELLA, 2012). Tal tendência de organização na região da sílica ocorre devido ao elevado conteúdo de dióxido de silício (43,27%), conforme apontado pela FRX. Confirma-se então, que esse resíduo apresenta características estruturais derivadas de um processo de resfriamento suficientemente rápido a fim de garantir a máxima ausência de ordenação, que é uma característica do processo de obtenção de lãs minerais (RODRIGUES, 2009).

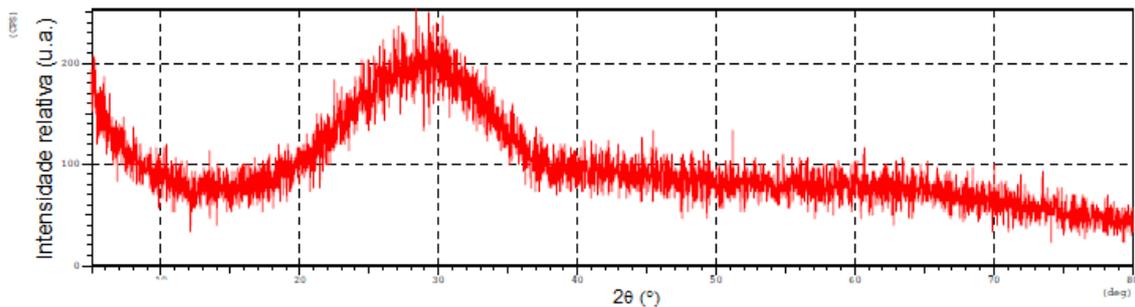


Figura 02 - Difratoograma de raios X do resíduo de lã de rocha.

4.6 Análise Térmica Diferencial e Calorimetria Diferencial de Varredura (DSC) / Análise Termogravimétrica (TG/ATG)

A análise térmica foi realizada com o intuito de verificar o comportamento térmico do resíduo de lã de rocha e da lã de rocha comercial, Figuras 03 e 04.

4.6.1 Lã de rocha – resíduo

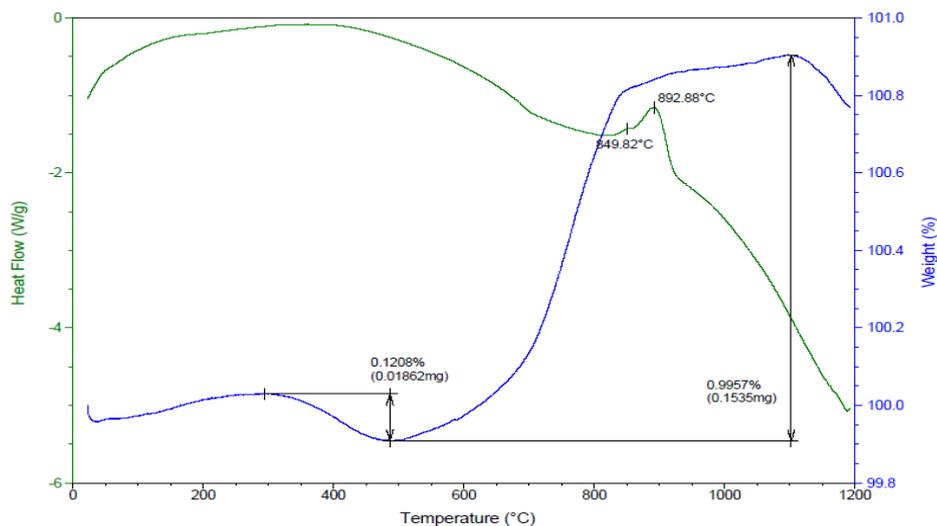


Figura 03 - DSC/TGA do resíduo de lã de rocha

Através do gráfico do resíduo de lã de rocha é possível verificar a perda de 0,12% de massa, essa possivelmente matéria orgânica na faixa de 250 – 500°C (RODRIGUES et al., 2012). A partir de 500°C nota-se o aumento de 0,9% da massa, tal aumento pode estar relacionado à oxidação de metais presentes na amostra. A oxidação é possível uma vez que a análise foi realizada sob uma



atmosfera de ar sintético, cuja contém aproximadamente 20% Oxigênio e 80% de Nitrogênio. O ganho de massa apresentado na amostra, assemelha-se ao pico identificado por Rodrigues et al. (2012) em fibras de lãs minerais. Segundo os autores a presença de um pico próximo ao 874°C caracteriza o pico exotérmico, onde tal ponto refere-se à cristalização da fibra.

Ainda segundo os mesmo autores o pico endotérmico ocorre em torno de 1095 °C. A amostra de lã de rocha ocorre aproximadamente em 1200°C caracterizando a fusão (TIMA, 1991 *apud* RODRIGUES et al., 2012). Ainda segundo outros autores SMEDSKJAER, M.M; SOLVANG, M; YUE Y (2010), a maioria das fibras de lã de rocha comercial encontra-se na forma de Fe²⁺ (Óxido Ferroso). Submetido a aquecimento em ar atmosférico, o Fe²⁺ é oxidado em Fe³⁺ (Óxido Férrico) em uma temperatura superior a 0,8 Tg. Sendo essa temperatura a mesma temperatura de transição vítrea.

4.6.2 Lã de rocha – comercial

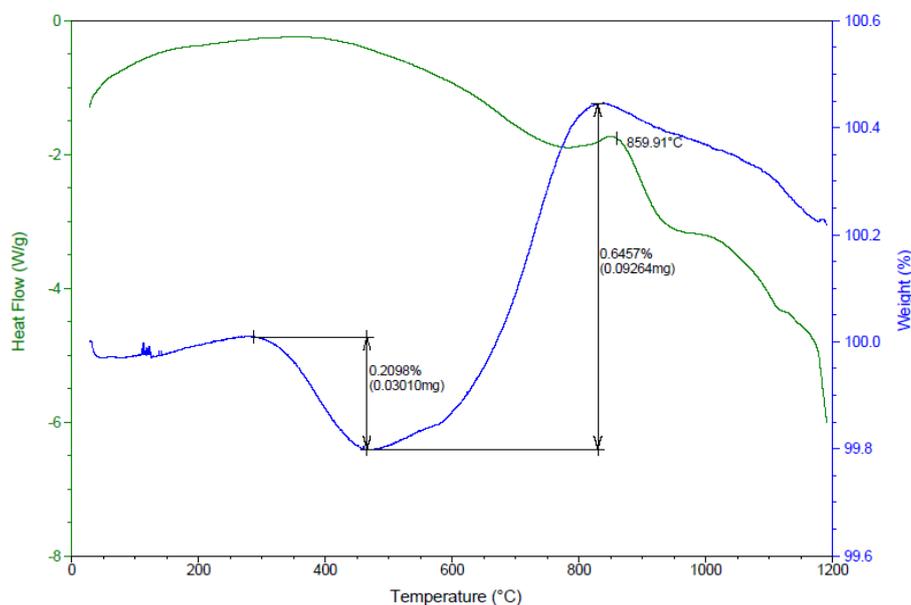


Figura 04 - DSC/TGA da lã de rocha comercial

A análise da lã de rocha comercial se assemelha ao resíduo, entretanto valem destacar a menor perda matéria orgânica, 0,2%. Seguido pelo menor aumento de massa. Como o ganho de massa esta associado à cristalização e oxidação de metais, pode-se concluir que em virtude da utilização em tubulações e seu armazenamento com caixas metálicas, podem contribuir para essa diferença de valores.

4.7 Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV)

Através da microscopia eletrônica de varredura foi possível observar tridimensionalmente a amostra. Com base nas imagens (Figura 05) é possível constatar a estrutura fibrosa da amostra, com diversos comprimentos e espessuras. A presença de partículas menores presente na amostra, juntamente com o a diferença de comprimento entre as fibras, deve-se ao processo de moagem ao qual a mesma foi submetida. Já com relação à espessura é visível a diferença entre as fibras, tendo uma variação média de 1µm à quase 20µm. Maior predominância a faixa entre 5 µm a 7µm. Analisando ainda o comportamento das partículas menores é possível perceber uma característica aglomerando nas mesmas.

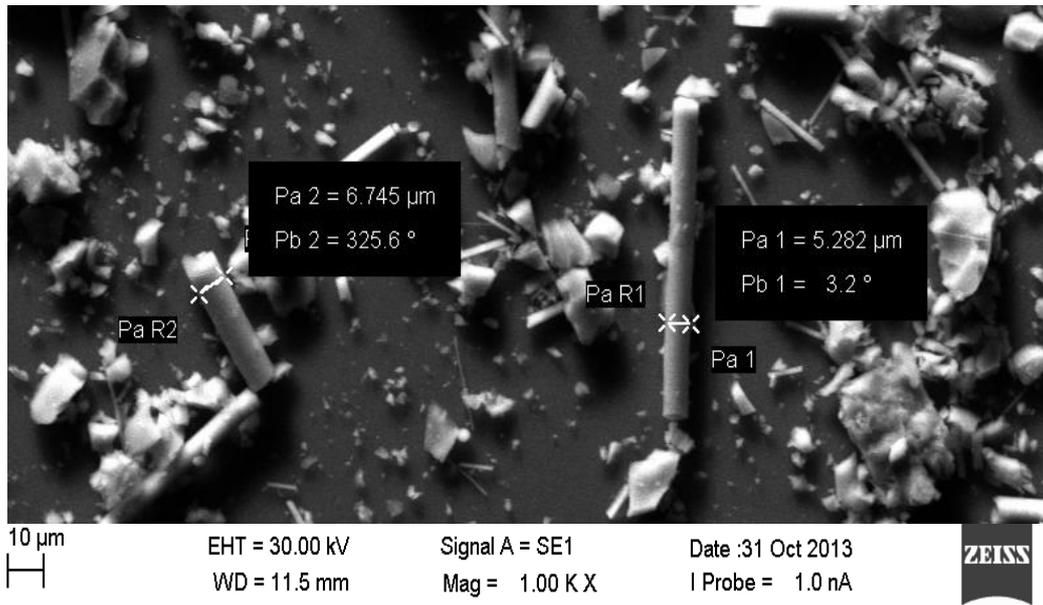


Figura 05 - Diâmetro predominante entre as fibras do resíduo de lã de rocha.

5. CONCLUSÃO

O resíduo de lã de rocha segundo sua classificação quanto ao impacto a saúde e ao ambiente está enquadrado como resíduo classe II - A, Não Inerte, ou seja, não apresenta nenhum indicativo de periculosidade, facilitando assim sua reutilização. Quanto ao tipo de material, pode ser enquadrado como um material rico em sílica e alumina e em granulometria fina podem ser utilizados como pozolana em matrizes de cimento, contribuindo para uma melhoria das características, como a sua durabilidade. Embora não realizado o ensaio de pozolanicidade, é possível sua previa determinação como tal devido a estudos realizados por Cheng et al. (2010) e LIN et al. (2013) reforçando assim sua possível utilização na indústria cimenteira. As características de composição química apresentada nesse trabalho se enquadram com o estabelecido na norma de requisitos para materiais pozolânicos NBR 12653 (ABNT; 2012).

A viabilidade do reaproveitamento e/ou reciclagem da lã de rocha pode-se estabelecer a atividade uma prática de Produção mais Limpa (P+L), já que a reciclagem externa de materiais constitui nível de priorização 3 na P+L, favorecendo assim os objetivos pretendidos com essa estratégia. Sem considerar ainda os benefícios diretos, em virtude da redução no consumo de cimento, tais como: redução no consumo de matérias primas, economia de energia e de água, redução das emissões CO₂ associadas à produção de cimento. Contudo estudos como esse, voltados à caracterização e classificação de resíduos torna-se uma ferramenta essencial e imprescindível para uma eficiente gestão de resíduos sólidos. De modo a gerar alternativas de reaproveitamento dos resíduos, fazendo com que o material seja visto com um valor econômico e de utilidade.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12653/2012: **Materiais Pozolânicos - Requisitos**. Rio de Janeiro. 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 10.004/2004: **Resíduos sólidos – classificação**. Rio de Janeiro 2004.

CHENG, An; LIN, Wei-ting. Application of rock wool waste in cement-based composites. **Materials And Design**, Taiwan, n. , p.1-7, 12 ago. 2010.

LIN, Wei-ting et al. Improved microstructure of cement-based composites through the addition of rock wool particles. **Materials Characterization**, Taiwan, v. 84, n. , p.1-9, 17 jun. 2013.

METHA, P. Kumar; MONTEIRO, Paulo J. M. **Concreto: Estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Copyright Editora Pini Ltda., 1994.

NEVES, D. D; KNISS, C. T; DELLA, V. P. Caracterização de Lãs Industriais (Lã de Rocha e Lã de Vidro) para Obtenção de Cerâmicas Vítreas. Vitória, ES, p. 1 – 8. 2012. **CBECIMAT – Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais** 04 a 08 nov. 2012

SMEDSKJAER, Morten M.; SOLVANG, Mette; YUE, Yuanzheng. Crystallisation behavior and high-temperature stability of stone wool fibres. **Journal Of The European Ceramic Society**, Denmark, p.1287-1295, 06 jan. 2010

RODRIGUES, Girley Ferreira. **Reciclagem de resíduos visando à produção de lã mineral**. 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais - UFOP - CETEC - UEMG, Ouro Preto, 2009.

RODRIGUES, G. F. et al. Fabricação de lã de rocha a partir da escória da produção de ligas FeSiMn. **Cerâmica**, Timóteo, Mg, v. 58, n. , p.529-533, 2012