

FORMULAÇÃO DE VIDROS SODO-CÁLCICOS COM INCORPORAÇÃO DE RESÍDUO DE LÃ DE ROCHA

F.C. Aleixo¹; P.H.C. Filogônio¹; A.S. dos Reis²; D.M. Louzada¹; V.P. Della¹
¹ IFES-Campus Vitória - PROPEMM; ² IFES-Campus Colatina
Avenida Vitória, 1729, Jucutuquara-Vitória-ES-cep29040/780
aleixofc@live.com

RESUMO

Descartadas pela indústria de mineração durante as paradas de manutenção dos fornos de pelletização, a lã de rocha apresenta em sua composição teores de SiO₂ (56%), Na₂O (12%) e CaO (7%) propícios para obtenção de vidros do tipo sodo-cálcicos. Sob este ponto de vista, este trabalho tem por objetivo investigar a formulação de vidros sodo-cálcicos, empregando como matéria-prima o resíduo de lã de rocha nas proporções de 100 a 50%, ajustando a composição química das formulações com areia, carbonatos de cálcio e sódio, para isto antes foi realizada a caracterização física e química das matérias-primas. Espera-se através deste estudo definir a melhor relação resíduo/adições que resulte em um vidro sodo-cálcico com propriedades semelhantes aos comerciais.

Palavras-chaves: resíduo, lã de rocha, vidro sodo-cálcico.

INTRODUÇÃO

A atividade principal de uma indústria tem como objetivo produzir bens de consumo que agreguem máximo valor ao produto final, para isto utiliza tecnologias e processos diversificados que produzem além do produto principal quantidades significativas de resíduos e subprodutos, que se não possuírem valor agregado serão considerados como resíduos sólidos industriais, podendo se tornar perigosos para o meio ambiente, onde o acúmulo destes materiais, por falta de destinação adequada, os tornam propensos causadores de desastres ecológicos. Ao propor uma solução de reaproveitamento para um determinado tipo de resíduo industrial é

possível evitar problemas como a acomodação na indústria e/ou redução dos custos de envio a um aterro sanitário. Por isto a incorporação de resíduos em processos físicos e químicos, de modo que se transformem em novos produtos, vem se tornando uma tendência mundial. Desta forma ao envolver processo de fusão a produção de vidros se torna uma boa alternativa para o reaproveitamento destes materiais, podendo agregar em seu ciclo produtivo uma enorme variedade de resíduos ⁽¹⁾.

A lã de rocha pertence ao grupo das lãs minerais, que são os materiais isolantes compostos por silicatos, fabricados a partir de fibras amorfas de vários comprimentos entrelaçadas e unidas por uma resina, sendo produzida a partir da fusão de rochas basálticas. Dentre as propriedades das lãs de rochas é possível destacar o isolamento térmico, acústico e a proteção contra incêndio ^{(2) (3) (4) (5)}.

Os vidros são materiais inorgânicos, amorfos e fisicamente homogêneos, obtidos pela fusão de uma massa que ao ser resfriada torna-se rígida em consequência do aumento contínuo da viscosidade, sem apresentar cristalização ⁽⁶⁾. Industrialmente os vidros sodo-cálcicos são produzidos em larga escala em fornos de fusão contínua, onde a adição de modificadores, como o Na_2O , faz com que o vidro possa ser fundido em temperaturas que oscilam entre 1400°C e 1600°C . As matérias-primas são consideradas de baixo custo tendo a areia, como fonte de silício, e os carbonatos como fonte de sódio e cálcio ^{(7) (8)}.

MATERIAIS E MÉTODOS

As matérias-primas utilizadas nas formulações dos vidros, juntamente com o resíduo de lã de rocha (RLR) foram: areia, carbonato de sódio e carbonato de cálcio. O RLR, utilizado nesta pesquisa foi cedido pela mineradora VALE, localizada em Vitória (ES), sendo gerado principalmente quando o forro dos fornos de pelletização e o revestimento das tubulações de óleo combustível são substituídos. Para ajustar a composição das formulações foram adicionados areia, Na_2CO_3 e CaCO_3 , como fonte de SiO_2 , Na_2O e CaO respectivamente. A areia a ser utilizada possui granulometria média, sendo adquirida em lojas de materiais de construção. Os carbonatos também foram comprados e por serem considerados reagentes puros, não foram caracterizados. A metodologia geral envolvida na formulação do vidro sodo-cálcico a partir do RLR, está representada na Figura 1.

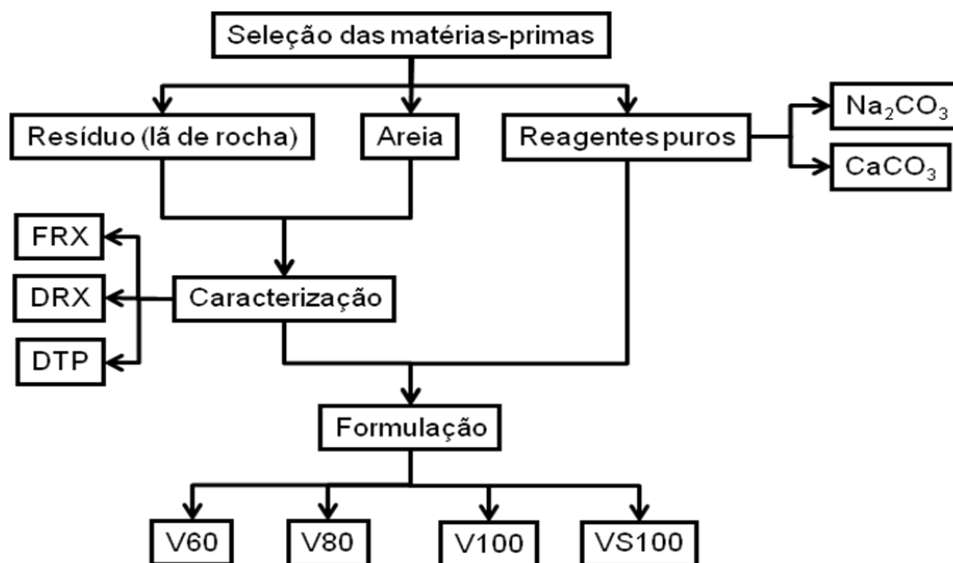


Figura 1 - Diagrama representativo das etapas estabelecidas para a formulação dos vidros sodo-cálcicos.

O RLR e a areia foram caracterizados por fluorescência de raios X (FRX) em equipamento Philips, modelo PW 2400, com tubo de 3 kW e alvo de ródio; difração de raios X (DRX) em difratômetro Bruker, modelo D2 Phaser, com radiação cobre α , potência de 300 W e corrente de 10 mA, as análises de DRX foram realizadas em amostras na forma de pó no intervalo de medida em 2θ entre 10 e 140° o processo de moagem foi a seco em moinho de bolas MARCONI, modelo MA 590, por 30 minutos para o RLR e 90 minutos para a areia, e analisadas por distribuição de tamanho de partículas (DTP).

Foram elaboradas 4 composições de vidros, uma composição (VS100) não foi ajustada, tendo 100% de RLR, e as outras 3 composições possuem (V100) 100%, (V80) 80% e (V60) 60% de RLR, foram ajustadas de modo a se obter composições químicas que se aproximassem às dos vidros sodo-cálcicos industriais, tendo como referência o vidro cedido pela Cebrace, que possui como composição majoritária SiO_2 (72%), Na_2O (14%) e CaO (9%).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A formulação do vidro teve como matéria-prima principal o RLR e para corrigir a composição areia, Na_2CO_3 e CaCO_3 , para definir a formulação foi realizado o ensaio de FRX no RLR e na areia, Tabela 1, o que possibilitou conhecer a composição química destes materiais.

Tabela 1 - Composição química nominal do resíduo de lã de rocha e da areia, em % de massa dos óxidos.

Elementos	Resíduo de lã de rocha	Areia
SiO ₂	56,07	95,32
Na ₂ O	12,24	0,29
CaO	6,73	0,17
Al ₂ O ₃	3,98	2,31
MgO	3,03	0,12
BaO	2,71	-
Fe ₂ O ₃	1,74	0,74
K ₂ O	1,53	0,75
Co ₂ O ₃	0,1	-
Cr ₂ O ₃	0,1	-
PbO	0,1	-
SrO	0,1	-
ZnO	0,1	-
ZrO ₂ +HfO ₂	0,1	-
TiO ₂	0,05	0,09
MnO	0,05	0,05
P ₂ O ₅	0,05	0,05
Outros	4,35	-
Perda ao Fogo	6,85	0,11

A composição química do RLR apresenta percentual de 75,04% em massa dos óxidos majoritários SiO₂ (56,07%), Na₂O (12,24%) e CaO (6,73%) e os outros óxidos presentes se encontram em quantidades inferiores, sendo considerados como óxidos minoritários.

A areia apresenta elevado teor de SiO₂ (95,32%) e baixo teor de Na₂O (0,29%) e CaO (0,17%), tornando-o propício a ser adicionado na formulação com o intuito de corrigir a deficiência em silício do RLR.

Os DRX com a interpretação da caracterização mineralógica dos materiais, RLR e areia, utilizados na formulação podem ser visualizados na Figura 2.

O DRX do RLR, Figura 2 (a) é formado por linhas sem picos marcantes associados à presença de fases cristalinas, indicando que o RLR apresenta caráter amorfo, formado somente por um halo de baixa intensidade entre 15 e 40° (2θ). A forma e a posição do halo tende para um valor angular próximo ao pico principal da sílica, mostrando tendência a organização nesta fase cristalina caso haja condições. Esta tendência de organização na região da sílica ocorre devido ao elevado conteúdo deste óxido como mostrou a análise química presente na Tabela 1. O

difratograma apresentado pelo RLR confirma que o mesmo possui característica mineralógica de materiais submetidos a processos de resfriamentos bruscos, fator de importância, pois facilita a obtenção dos materiais vítreos, uma vez que estes também são caracterizados pela ausência de cristalização.

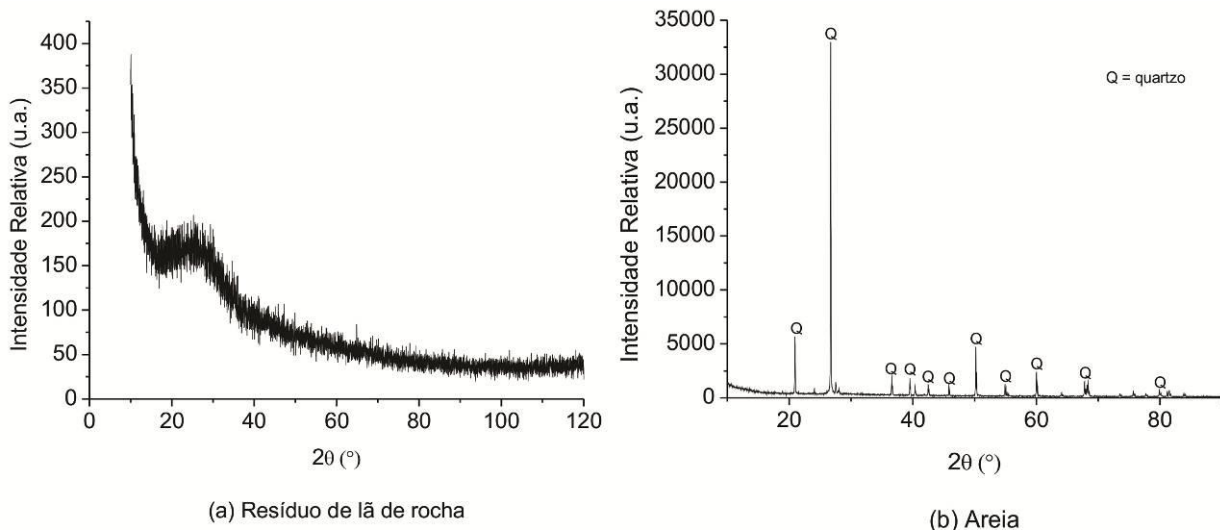


Figura 2 - Difratogramas de raios X do resíduo de lâ de rocha, (a), e da areia, (b).

A areia, Figura 2 (b), apresenta um difratograma com picos bem definidos, referentes à presença de quartzo, que é a fase mais estável da sílica à temperatura ambiente e pressão constante.

A Figura 3 apresenta o aspecto visual do RLR e da areia, na qual se pode observar que o RLR “*in natura*” apresenta aspecto irregular decorrente dos procedimentos de desfibragem manual utilizados durante o procedimento de descarte, Figura 3 (a), enquanto a Figura 3 (b) mostra o aspecto visual do RLR moído, sem controle da granulometria. Na Figura 3 também está apresentado o aspecto visual da areia, onde a forma “*in natura*”, Figura 3 (c), apresenta granulometria média, com tamanho de partículas desuniformes (predominância de grãos entre 1,20 mm e 0,42 mm), em função do processo de moagem natural e da forma em que é extraída e beneficiada, e após moagem, Figura 3 (d), a sua cor se tornou homogênea e mais clara em relação a areia “*in natura*”.

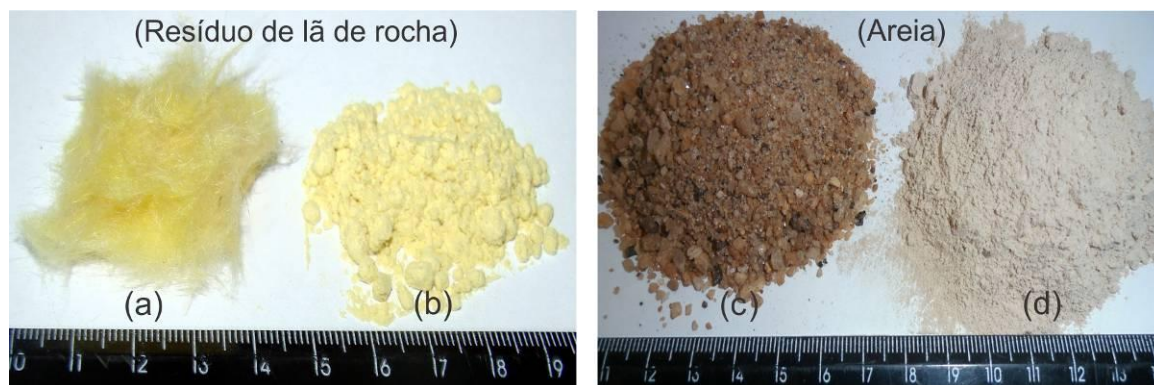


Figura 3 - Aspecto visual do resíduo de lã de rocha: (a) “*in natura*” e (b) após moagem, e aspecto visual da areia: (c) “*in natura*” e (d) após moagem.

A coloração amarelada apresentada pelo RLR é devido ao baixo teor de Fe_2O_3 presente, pois baixos teores de Fe_2O_3 fazem com que a lã de rocha tenha uma coloração amarelada, enquanto elevados teores irão fornecer uma tonalidade que pode chegar até ao marrom escuro.

A moagem foi empregada com o intuito de tornar o tamanho de partícula compatível com a granulometria dos reagentes puros, Na_2CO_3 e CaCO_3 , garantindo uma boa homogeneização das composições a serem formuladas, assim o RLR e a areia que apresentavam natureza fibrosa e tamanho de grão desuniforme foram moídos até se obter uma granulometria inferior a 100 μm .

Pelos resultados obtidos da moagem do RLR todos os tempos (5, 15 e 30 minutos) poderiam ser utilizados nas misturas, pois apresentaram 100% das partículas inferior a 100 μm , tendo tamanho médio de partícula de 10,49 μm , 14,47 μm e 6,99 μm , respectivamente. Contudo apesar das moagens de 5 e 15 minutos serem suficientes para reduzir a granulometria a um tamanho de partícula aceitável para a homogeneização da mistura, o RLR aglomerava facilmente formando grumos, o que não ocorria com o mesmo ao ser moído por 30 minutos, além de apresentar menor tamanho médio de partículas (6,99 μm), por isto o tempo utilizado para a moagem deste resíduo foi de 30 minutos.

Para a moagem da areia foram utilizados os tempos de 90 e 120 minutos, obtendo 100% do tamanho de partículas inferior a 240 μm e 90 μm , com tamanho médio de 33,69 μm e 21,27 μm , para os respectivos tempos de moagem. Sendo assim, por ter 100% das partículas inferior a 100 μm , foi estabelecido o tempo de 120 minutos para a moagem da areia.

Como o objetivo é aproveitar o RLR para a produção de vidro, isto o torna a principal matéria-prima, assim as formulações foram calculadas com base na composição química do resíduo e do vidro de referência, então após definir os percentuais de resíduo a serem testados (100%, 80% e 60%), foi estipulada a quantidade de areia necessária para suprir a deficiência de silício do resíduo a fim de alcançar o percentual (72%) que possui o vidro de referência.

Os cálculos das adições foram realizados por estequiometria considerando os percentuais de matérias-primas e as quantidades necessárias de cada óxido (14% de sódio e 9% de cálcio), a soma entre o percentual de RLR e a quantidade de areia forneceu a composição química teórica parcial das amostras, os óxidos de sódio e cálcio foram calculados a partir da composição parcial, de modo a fornecer as quantidades esperadas destes óxidos na formulação dos vidros, assim a Tabela 2 descreve as quantidades de matérias-primas utilizadas.

Tabela 2 - Cálculo das formulações, em gramas: % de resíduo de lâ de rocha (%RLR), areia e os óxidos de sódio e cálcio.

Óxidos	RLR			Areia			Óxidos			Vidro de referência
	V60	V80	V100	V60	V80	V100	V60	V80	V100	
SiO ₂	36,13	48,17	60,21	35,87	23,83	11,79	-	-	-	72,00
Na ₂ O	7,88	10,51	13,14	0,11	0,07	0,04	6,01	3,42	0,82	14,00
CaO	4,33	5,78	7,23	0,06	0,04	0,02	4,60	3,18	1,75	9,00
Al ₂ O ₃	2,56	3,42	4,27	0,87	0,58	0,28	-	-	-	0,07
MgO	1,95	2,60	3,25	0,04	0,02	0,01	-	-	-	4,00
BaO	1,74	2,33	2,91	-	-	-	-	-	-	-
Fe ₂ O ₃	1,12	1,49	1,87	0,28	0,19	0,09	-	-	-	-
K ₂ O	0,98	1,31	1,64	0,28	0,19	0,09	-	-	-	0,03
Co ₂ O ₃	0,07	0,09	0,11	-	-	-	-	-	-	-
Cr ₂ O ₃	0,07	0,09	0,11	-	-	-	-	-	-	-
PbO	0,07	0,09	0,11	-	-	-	-	-	-	-
SrO	0,07	0,09	0,11	-	-	-	-	-	-	-
ZnO	0,07	0,09	0,11	-	-	-	-	-	-	-
ZrO ₂ +HfO ₂	0,07	0,09	0,11	-	-	-	-	-	-	-
TiO ₂	0,03	0,04	0,05	0,03	0,02	0,01	-	-	-	-
MnO	0,03	0,04	0,05	0,03	0,02	0,01	-	-	-	-
P ₂ O ₅	0,03	0,04	0,05	0,02	0,01	0,01	-	-	-	-
Outros	2,80	3,73	4,67	-	-	-	-	-	-	-
ΣT	60,0	80,0	100,0	37,59	24,97	12,35	10,61	6,60	2,57	100

Após serem definidos os percentuais de RLR e as devidas correções, as composições teóricas em gramas e em percentual de massa foram calculadas, conforme pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição química teórica das amostras a serem testadas, em gramas (CQ_g) e em % de massa (CQ%) de óxidos.

Óxidos	V60		V80		V100		VS100	
	CQ _g	CQ%	CQ _g	CQ%	CQ _g	CQ%	CQ _g	CQ%
SiO ₂	72,00	66,57	72,00	64,56	72,00	62,66	60,21	60,21
Na ₂ O	14,00	12,94	14,00	12,55	14,00	12,18	13,14	13,14
CaO	9,00	8,32	9,00	8,07	9,00	7,83	7,23	7,23
Al ₂ O ₃	3,43	3,17	4,00	3,59	4,54	3,95	4,27	4,27
MgO	1,99	1,84	2,63	2,37	3,26	2,83	3,25	3,25
BaO	1,74	1,60	2,32	2,09	2,91	2,53	2,91	2,91
Fe ₂ O ₃	1,40	1,29	1,68	1,52	1,95	1,70	1,87	1,87
K ₂ O	1,26	1,16	1,50	1,34	1,73	1,50	1,64	1,64
Co ₂ O ₃	0,06	0,06	0,08	0,07	0,11	0,10	0,11	0,11
Cr ₂ O ₃	0,06	0,06	0,08	0,07	0,11	0,10	0,11	0,11
PbO	0,06	0,06	0,08	0,07	0,11	0,10	0,11	0,11
SrO	0,06	0,06	0,08	0,07	0,11	0,10	0,11	0,11
ZnO	0,06	0,06	0,08	0,07	0,11	0,10	0,11	0,11
ZrO ₂ +HfO ₂	0,06	0,06	0,08	0,07	0,11	0,10	0,11	0,11
TiO ₂	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05
MnO	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05
P ₂ O ₅	0,05	0,04	0,06	0,05	0,06	0,05	0,05	0,05
Outros	2,80	2,59	3,73	3,34	4,67	4,07	4,67	4,67
ΣT	108,15	100,0	111,52	100,0	114,90	100,0	100,0	100,0

Por meio da Tabela 3, nota-se que 4 amostras foram preparadas, sendo que a amostra designada por (VS100) corresponde a apenas ao RLR, ou seja, está amostra possui 100% de resíduo e não teve a sua composição corrigida, no entanto as outras 3 amostras, nomeadas por (V100, V80, e V60), apresentam diferentes percentuais de RLR, ou seja 100%, 80% e 60%, respectivamente e as composições químicas destas amostras foram ajustadas com a areia e os carbonatos. Deste modo as formulações das amostras foram calculadas em função da quantidade de cada matéria-prima adicionadas, sendo apresentadas na Tabela 4 em percentuais de matérias-primas.

Tabela 4 - Formulação das amostras de vidro, em % de massa das matérias-primas, e composição do vidro de referência, em % de massa dos óxidos.

Matéria-prima	V60	V80	V100	VS100	Vidro de referência	
RLR	51,69	68,63	85,56	100,00		
Areia	32,39	21,42	10,57	-	SiO ₂	72,00
Na ₂ CO ₃	8,85	5,02	1,20	-	Na ₂ O	14,00
CaCO ₃	7,07	4,93	2,67	-	CaO	9,00

As propriedades dos vidros, referentes a estas amostras, serão confrontadas com as propriedades dos vidros de referência e caso os vidros obtidos não apresentem propriedades satisfatórias, novas formulações serão testadas, tendo como partida o vidro que apresentar propriedades mais próximas às do vidro de referência, variando os teores de areia, sódio e cálcio, a fim de avaliar a influencia destas adições nas propriedades do vidro.

CONCLUSÕES

Assim como descrito no resumo, é esperado que com o procedimento, seja possível demonstrar a viabilidade do reaproveitamento do RLR, transformando-o em vidro sodo-cálcico, que através das suas características e propriedades tecnológicas possam ser utilizados na indústria vidreira. Sendo assim, o estudo deste trabalho propiciou as seguintes conclusões:

1. A matéria-prima RLR apresenta propriedades constitucionais favoráveis para a obtenção de vidros sodo-cálcicos, ou seja, uma ampla mistura de óxidos, sendo SiO₂, Na₂O e CaO majoritários e vários outros com menores teores.
2. A partir da composição química constatou-se que a princípio o resíduo puro não poderia formar vidro sodo-cálcico de interesse industrial, porém, com as devidas correções da composição será possível formar vidro sodo-cálcico de interesse industrial.
3. Das composições apresentadas espera-se que a V60, por ter composição química mais próxima do vidro de referência, possua propriedades mais próximas do vidro de referência, por isto esta composição para fazer sendo assim a formulação que apresentará a melhor relação entre resíduo e correções.

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo pela disponibilidade dos laboratórios.

À CAPES pela concessão da bolsa de Mestrado.

À mineradora VALE pelo resíduo de lã de rocha.

À Cebrace pelo vidro de referência.

À FINEP pelo financiamento de alguns equipamentos.

REFERÊNCIAS

¹ SILVA, A. C. Incorporação de resíduo galvânico em vidro silicato obtido a partir de finos de sílica. 2004. 90 p. Dissertação (Mestrado em ciências, tecnologia nuclear e materiais) - Autarquia Associada à Universidade de São Paulo, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. São Paulo. 2004.

² TRDIČ, F.; ŠIROK, B.; BULLEN, P. R.; PHILPOTTD. R. Monitoring Mineral Wool Production Using Real-Time Machine ion. Real-Time Imaging 5, Academic Press, p. 125-140. 1999.

³ BAJCAR, T.; BLAGOJEVIĆ, B.; ŠIROK, B.; DULAR, M. Influence of flow properties on a structure of a mineral wool primary layer. Experimental Thermal and Fluid Science. v. 32, p. 440-449, 2007.

⁴ SCALET, M. B.; GARCIA, M. M.; SISSA, Q. A.; ROUDIER, S.; DELGADO, L. S. Best Available Techniques (BAT). Reference Document for the Manufacture of Glass. European Commission, Joint Research Centre, Institute for prospective technological studies. 2013, 459 p.

⁵ DOVŽAN, D.; ŠKRJANC, I. Control of mineral wool thickness using predictive functional control. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. v. 28, p. 344-350, 2012.

⁶ NAVARRO, J. M. F. El vidrio: textos universitários. 3ª ed. ARTEGRAF, S.A. Madrid, Espanha. 2003, 684 p.

⁷ SHELBY, J. E. Introduction to glass science and technology. 2nd ed., Royal Society of Chemistry, New York, United State of American. 2005, 291 p.

⁸ NOVOA, J. D. Estudio del templado químico por intercambio iônico de vidrios sódico-cálcicos comerciales. 2010. 298 p. Tese (Doutorado). Instituto de Cerámica

de Galicia, Universidade de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela, Espanha. 2010.

TITLE

FORMULATION OF SODA LIME GLASSES WITH INCORPORATION OF WASTE ROCK WOOL

ABSTRACT

Discarded by the mining industry during the maintenance downtimes of pelletization furnaces, the rockwool has in its composition contents of SiO₂ (56%), Na₂O (12%) and CaO (7%) propitious to obtaining glasses of type soda-lime. From this point of view, this study aims to investigate the formulation of glasses soda-lime, using as raw material the residue of rock wool in the proportions 100-50% by adjusting the chemical composition of the formulations with sand, sodium carbonate and calcium carbonate, to that before the physical and chemical characterization of raw materials will be held. It is hoped through this study determine the best ratio residue/addition resulting in a soda-lime glass similar to commercial properties.

Key-words: waste, rock wool, soda lime glass.