

REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUO DE LÃ DE VIDRO PARA OBTENÇÃO DE VITROCERÂMICA: ESTUDO DAS FORMULAÇÕES COM BASE NO SISTEMA TERNÁRIO $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$

D. D. Neves^{1*}; C. T. Kniess² ; V. P. Della¹

¹ Instituto Federal do Espírito Santo – IFES

² Universidade Nove de Julho – UNINOVE

Av. Vitória, 1729, Jucutuquara, 29040-780, Vitória – ES;

*danieledrumondn@hotmail.com

RESUMO

Após serem usadas como isolante térmico, as lãs de vidro descartadas pelas indústrias apresentam características constitucionais propícias para a utilização como matéria-prima para a obtenção de cerâmicas vítreas. A constituição deste resíduo é baseada em uma mistura de óxidos sendo SiO_2 e Na_2O majoritários e vários outros em menores teores que podem agir como fundentes. Dentro deste contexto, neste projeto buscou-se definir a formulação mais adequada a ser utilizada a partir do resíduo de lã de vidro para obtenção de materiais vitrocerâmicos com predominância da fase neflina. Al_2O_3 e Na_2CO_3 serão utilizados para corrigir a formulação e TiO_2 como agente nucleante. Depois de formuladas as amostras serão fundidas para obtenção dos vidros e submetidas a tratamentos térmicos de nucleação e cristalização, definidos por ensaios de análise térmica a serem realizadas em cada formulação para obtenção dos vitrocerâmicos propriamente ditos. Espera-se que as formulações desenvolvidas apresentem nefelina como fase cristalina majoritária.

Palavras-chave: resíduo de lã de vidro, vitrocerâmico, nefelina.

INTRODUÇÃO

Questões ligadas à sustentabilidade e preservação ambiental têm adquirido grande relevância nos trabalhos científicos dos últimos anos. Neste aspecto, um dos grandes desafios a serem alcançados é o reaproveitamento de materiais descartados pelos diferentes setores produtivos da sociedade. Esta atividade transforma resíduos em matéria-prima de forma sustentável, gerando economia no processo industrial, reduzindo o consumo de recursos naturais e o volume em aterros de rejeitos.

Qualificar resíduos como subprodutos industriais exige primeiramente uma reflexão sobre o conjunto de fatores políticos, sociais e econômicos que possam justificar o empenho científico. A tentativa de amenizar os problemas decorrentes da geração de resíduos restringe-se basicamente no estabelecimento das condições de contorno para sua aplicação, onde tecnicamente o que difere um subproduto de uma matéria-prima de primeira linha são as impurezas que acompanham a matéria-prima de interesse.⁽¹⁾

Lã de vidro é um material constituído basicamente por sílica, na forma de areia, que atua como vitrificante, carbonato de sódio, sulfato de sódio e potássio, que atuam como fundentes, e carbonato de cálcio e magnésio, que atuam como estabilizantes.⁽²⁾ Fabricada em fornos elétricos, a lã de vidro é composta por finas fibras de vidro com diâmetro de aproximadamente 3 a 6 µm e de comprimento variável, aglomerada ou não por resinas sintéticas, obtida por um forte sopro de ar sobre o vidro em fusão (sílica e sódio).⁽³⁾

O aproveitamento de resíduos de lã de vidro (RLV) da indústria siderúrgica e de equipamentos eletroeletrônicos permite que este retorne ao ciclo de processamento para uso posterior, otimizando a relação energia/meio ambiente/materiais, o que acarreta um melhor aproveitamento de recursos, sejam eles materiais ou energéticos.

Uma interessante técnica para inertização de resíduos, que em geral apresentam uma composição química complexa, é a produção de materiais específicos a partir da fusão e cristalização de vidros, os chamados vitrocerâmicos. A maioria dos vidros inorgânicos podem ser transformados de um estado não-cristalino em um estado cristalino através de um tratamento térmico (com ou sem adição de nucleante) apropriado a altas temperaturas. Tal processo é nomeado de devitrificação, e o produto

consiste em um material policristalino com grãos finos de elevada resistência.^{(2) (4)} Dentre os sistemas vitrocerâmicos, aqueles constituídos por $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{X}$ são os mais indicados para formulação de vidro e vitrocerâmicos, onde o “X” pode variar em: Li_2O , MgO , CaO e Na_2O , por exemplo.^{(1) (5)}

Considerando que o resíduo de lâ de vidro apresenta SiO_2 e Na_2O como óxidos majoritários o sistema a ser estudado será o $\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O}$, onde os vidros desse sistema serão obtidos pelo processo convencional de fusão. Nucleação cristalina homogênea, onde os núcleos cristalinos são essencialmente esféricos e o fato de possuírem uma taxa de nucleação consideravelmente elevada em temperaturas relativamente baixas, são algumas particularidades que tornam este sistema adequado para a obtenção de materiais vitrocerâmicos.⁽⁶⁾ Nesse sistema a fase de trabalho mais interessante é a nefelina, $2\text{SiO}_2\text{--Al}_2\text{O}_3\text{--Na}_2\text{O}$, a qual apresenta alta resistência mecânica, alta resistência química e ao risco, superfície brilhante e baixa expansão térmica.

De acordo com Borba e Riella (2000), nas últimas décadas vitrocerâmicos contendo nefelina como fase cristalina principal foram desenvolvidos para diversos usos: material de revestimento para naves espaciais, prótese dentárias, louças de uso doméstico e industrial e materiais resistentes a ácido.

Espera-se através deste estudo obter formulações que seja propícias para o desenvolvimento de vitrocerâmicos baseados na fase nefelina.

MATERIAIS E MÉTODOS

Seleção das matérias-primas

O RLV, (Fig. 1), utilizado neste projeto foi cedido pela Revertec Manufatura Reversa Ltda-ME localizada em Cariacica (ES). O mesmo é resultante do processo de separação manual dos componentes dos equipamentos em desuso, exemplo, geladeira e refrigeradores.

Para determinação das formulações, uma pequena fração do resíduo em estudo foi moído, sem controle de granulometria e condições de moagem, em moinhos de bolas Marconi por 25 minutos e analisado por espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX).



FIGURA 1 – Resíduo de lã de vidro *in natura*

Formulação dos vidros (Determinação do ponto teórico)

Em função da composição química, definida por FRX, ter revelado que o RLV apresenta compostos não relacionados com a obtenção da fase nefelina, fez-se então necessário a correção do resíduo de forma a considerar apenas os três óxidos fundamentais para obtenção da fase nefelina, distribuindo a perda ao fogo e o percentual bruto de impurezas de forma igualitária entre esses óxidos de interesse. Verificou-se que mesmo após a correção, o RLV apresentou um déficit no percentual dos óxidos para obtenção da nefelina, desta forma, foi necessário considerar a adição de reagentes puros para a correção destes percentuais. Para este ajuste foram utilizados Al_2O_3 99,5% (cedida pela Raw Material-SP), NaCO_3 (Dinâmica) e TiO_2 (Dinâmica) ambos comprados na Laderquímica. O TiO_2 foi utilizado com agente nucleante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para utilizar um resíduo como um subproduto visando uma determinada aplicação, o primeiro passo a ser executado é analisar a composição química do mesmo. De posse da porcentagem de seus constituintes, pode-se então agregar um valor ou uma finalidade que justifique a sua utilização. A análise química do RLV realizada através da técnica de FRX está apresentada na Tab. 1.

Tabela 1 - Composição nominal, em óxidos, do Resíduo de Lã de vidro

Óxidos	Teor (% em massa)	Óxidos	Teor (% em massa)
SiO ₂	68,54	B ₂ O ₃	-
Na ₂ O	12,26	Li ₂ O	-
CaO	9,27	BaO	0,92
Al ₂ O ₃	2,88	Co ₂ O ₃	0,10
Fe ₂ O ₃	0,40	Cr ₂ O ₃	<0,10
K ₂ O	1,10	PbO	<0,10
MgO	1,36	SrO	0,08
MnO	<0,05	ZnO	<0,10
P ₂ O ₅	0,05	ZrO ₂ +HfO ₂	<0,10
TiO ₂	<0,05	Perda ao Fogo	1,23

A partir da FRX, pode-se verificar que o resíduo é constituído predominantemente por SiO₂ CaO e Na₂O, representando um total de 90,07% em massa do RLV, sendo que o primeiro representa 68,54% do peso total.

É importante salientar que, em geral, utilizam-se os óxidos majoritários para definir o sistema a ser utilizado, que no caso do resíduo em questão seria os três óxidos citados acima. Porém, como o sistema constituído por estes três elementos não apresenta nenhuma fase vitrocerâmica de interesse, para este estudo, foi utilizado o sistema SiO₂-Al₂O₃-Na₂O devido a suas vantagens já mencionadas. O critério de escolha do Na₂O como o terceiro óxido baseou-se em sua maior concentração no RLV e devido ao fato de ser considerado um fundente mais adequado para o sistema.

Para chegar às formulações ideais, fez-se necessária a correção dos óxidos de interesse para o sistema em estudo, sendo assim, segue na Tab. 2 com a primeira correção, a qual representa a composição química nominal do RLV descontando a perda ao fogo.

Tabela 2 - Composição química nominal do resíduo de lã de vidro descontando a perda ao fogo

Óxidos	Teor (% em massa)	Óxidos	Teor (% em massa)
SiO ₂	69,38	B ₂ O ₃	-
Na ₂ O	12,41	Li ₂ O	-
CaO	9,38	BaO	0,93
Al ₂ O ₃	2,91	Co ₂ O ₃	0,10
Fe ₂ O ₃	0,40	Cr ₂ O ₃	<0,10
K ₂ O	1,11	PbO	<0,10
MgO	1,38	SrO	0,08
MnO	<0,05	ZnO	<0,10
P ₂ O ₅	0,05	ZrO ₂ +HfO ₂	<0,10
TiO ₂	<0,05	Perda ao Fogo	0

Para efeito de visualização foram considerados, apenas os óxidos majoritários utilizados para a obtenção da fase nefelina (2SiO₂-Al₂O₃- Na₂O) , Tab. 3 e agrupados todos os demais óxidos como “percentual bruto de impurezas - PBI”.

Tabela 3 - Composição química provável do resíduo de lã de vidro considerando apenas os óxidos majoritários

Óxidos	Teor (% em massa)
SiO ₂	69,38
Na ₂ O	12,41
Al ₂ O ₃	2,91
*PBI	13,43

*percentual bruto de impurezas

Desconsiderando o percentual bruto de impurezas provoca-se o aumento, na mesma proporção, dos valores dos óxidos majoritários referentes ao diagrama ternário desejado, SiO₂-Al₂O₃-Na₂O, Tab. 4.

Tabela 4 - Composição química provável do resíduo desconsiderando o percentual bruto de impurezas

Óxidos	Teor (% em massa)
SiO ₂	81,91
Na ₂ O	14,65
Al ₂ O ₃	3,44
Total	100

Determinou-se o ponto teórico no diagrama ternário utilizando os óxidos corrigidos da Tab 4. Conforme a Fig 2, constatou-se que apenas utilizando RLV a fase obtida seria a tridimita, fase não interessante para este estudo. Portanto, foi necessária a adição de reagentes puros (Al_2O_3 99,5%, NaCO_3 e TiO_2), para ajustar a composição e obter pontos na fase de interesse, nefelina.

A Tab. 5 representa as composições teóricas calculadas, para os materiais vítreos (VD1, VD2 e VD3), em relação aos óxidos majoritários, considerando as matérias-primas já adicionadas.

Tabela 5 - Composição química dos vidros VD1, VD2 e VD3

Óxidos	Teor (% em massa)		
	VD1	VD2	VD3
	70 % RLV + 15% Na_2O e 15% Al_2O_3	70% RLV + 17% Na_2O e 13% Al_2O_3	75% RLV + 15% Na_2O e 10% Al_2O_3
SiO_2	57,34	57,34	61,43
Na_2O	25,26	27,26	25,99
Al_2O_3	17,41	15,41	12,58
Total	100	100	100

A menor temperatura de trabalho determinou a escolha das formulações, visto que acarretaria um menor gasto energético.

A partir da Tab. 5, pode-se localizar as formulações VD1, VD2 e VD3 no diagrama ternário SiO_2 - Al_2O_3 - Na_2O (Fig. 2) focalizando a região de trabalho na fase cristalina da nefelina. Posteriormente será realizada a análise de FRX para cada formulação, a fim de verificar se o ponto obtido experimentalmente se aproxima do ponto teórico.

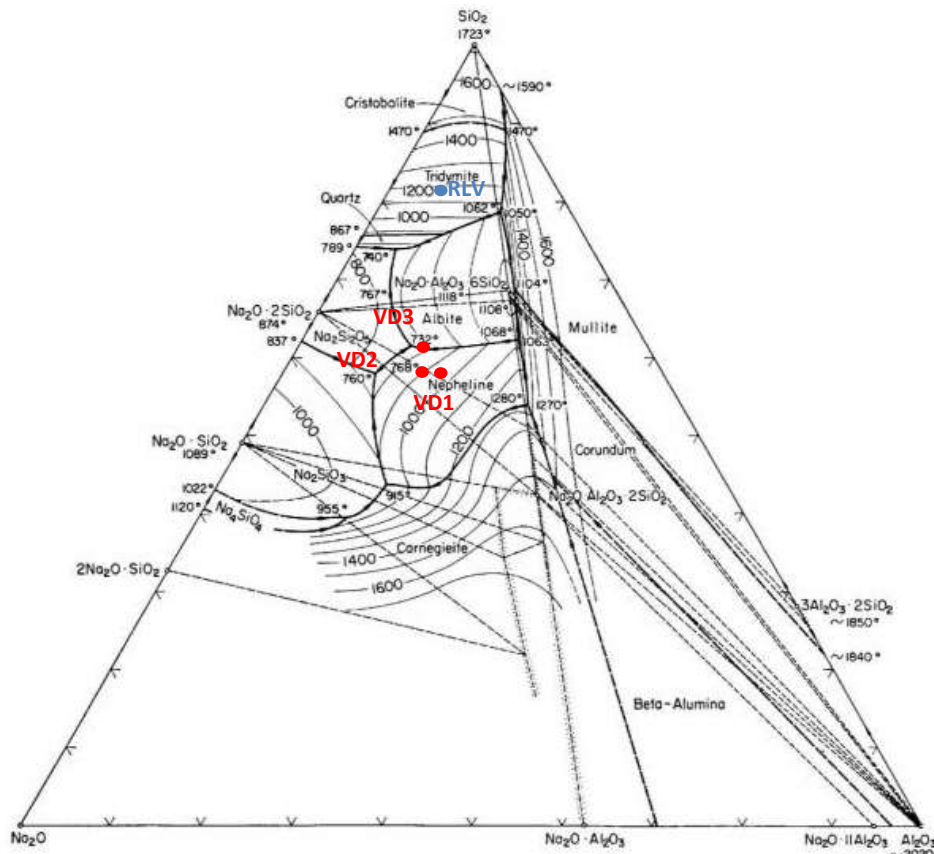


FIGURA 1 – Localização estimada dos pontos VD1, VD2 e VD3 no diagrama ternário SiO_2 - Al_2O_3 - Na_2O

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nessa investigação mostram que o resíduo de lã de vidro apresenta propriedades constitucionais favoráveis para a formulação de vitrocerâmicos no sistema SiO_2 - Al_2O_3 - Na_2O , com possível cristalização da fase nefelina (2SiO_2 - Al_2O_3 - Na_2O) conforme mostram os pontos localizados do diagrama de fases.

AGRADECIMENTOS

À CAPES, pelo financiamento da bolsa de mestrado.

À Revertec Manufatura Reversa Ltda-ME pelo fornecimento da lã de vidro.

À Raw Material pela doação da Alumina (Al_2O_3 99,5%).

REFERÊNCIAS

1. Kniess, C. T. ***Utilização de cinzas pesadas de carvão mineral com adição de óxido de lítio na obtenção de materiais vitrocerâmicos***. 2001, 135p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
2. Pinto, K. N. C. ***Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: Poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro***. 2002, 79p. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear – Materiais) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo.
3. Borges, P. R.; Briddi, V. T.; Peixoto, R. A. F.; Tenório, J.A.S.; Oliveira, J.R.; Borlini, M. C. ***Caracterização de resíduos de lã de vidro e avaliação de sua utilização na fabricação de concreto***. 2007, 115p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – REDEMAT, Ouro Preto.
4. CALLISTER, W.D. ***Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução***. 5. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2006.
5. Neves, E. ***Obtenção de material vitrocerâmico a partir de cinza pesada de carvão mineral***. 2002, 102p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
6. ZIEMATH, E.C. ***Caracterização de vidros e vitrocerâmicos com composição $2\text{Na}_2\text{O}.1\text{CaO}.3\text{SiO}_2$*** . 1990. 142p. Tese (Doutorado em Ciência Física Aplicada) – Universidade de São Paulo, São Carlos.
7. BORBA, C. D. G.; RIELLA H. Acquisition and characterization of nepheline glass-ceramic. ***Revista de Ciência e Tecnologia***. 15ª ed. p. 67-74, 2000.

UTILIZATION OF GLASS WOOL WASTE TO OBTAINING GLASS-CERAMIC: STUDY OF FORMULATIONS BASED ON TERNARY SYSTEM $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$

ABSTRACT

After being used as thermal insulation, glass wool discarded by industry present a constitutional favorable properties for use as raw material to obtain glass-ceramics. The constitution of this residue is based on a mixture of oxides, which SiO_2 and Na_2O are majority and several others in lower levels that can act as fluxing. Within this context, this project seeks to define the most appropriate formulation to be used from the residue of glass wool to obtain glass-ceramic materials with predominant phase nepheline. Al_2O_3 and Na_2CO_3 will be used to correct the formulation and TiO_2 as nucleating agent. After the samples formulated, it will be melting to obtain glass and subjected to heat treatment of nucleation and crystallization, defined by thermal analysis tests to be performed on each formulation to obtain the glass-ceramic. It is expected that the present formulations developed nepheline as principal crystal phase.

Key-words: *glass wool waste, glass-ceramics, nepheline.*