

Tema: Iniciação Científico-tecnológica

## ESTUDO DA CARACTERIZAÇÃO E REAPROVEITAMENTO DE LÃ DE VIDRO NA OBTENÇÃO DE MATERIAIS VITROCERÂMICOS\*

Camila Oliveira Colares<sup>1</sup>  
Daniele Drumond Neves<sup>2</sup>  
Viviana Possamai Della Sagrillo<sup>3</sup>

### 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 materiais cerâmicos. A constituição deste resíduo é baseada em uma mistura de óxidos sendo  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  majoritários e vários outros em menores teores que podem agir como fundentes. Dentro deste contexto, neste projeto, buscou-se caracterizar física e quimicamente o resíduo de lã de vidro através de fluorescência de raios-X, análise térmica diferencial e difração de raios-X. A partir da composição química definiu-se a formulação mais adequada a ser utilizada para obtenção de materiais vitrocerâmicos com predominância da fase nefelina.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  foram utilizados para corrigir a formulação e  $\text{TiO}_2$  foi utilizado como agente nucleante. Depois de formuladas as amostras foram fundidas para obtenção dos vidros base e submetidas a tratamentos térmicos de nucleação e cristalização, os quais serão 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.

### STUDY OF CHARACTERISTICS AND REUSE OF GLASS WOOL IN OBTAINING MATERIALS GLASS CERAMIC

#### Abstract

After being used as thermal insulation, glass wool discarded by industry have constitutional characteristics conducive to use as a raw material for the production of glass-ceramics. The constitution of this residue is based on a mixture of oxides and  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Na}_2\text{O}$  majority and several others in smaller amounts that can act as fluxes. Within this context, this project sought to characterize the physical and chemical residue from glass wool, for such residues were analyzed by X-ray fluorescence, differential thermal analysis and X-ray diffraction. Defined is then most appropriate formulation to used from the residue of glass wool for obtaining glass-ceramic materials with a predominance of nepheline phase.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  will used to correct the formulation and  $\text{TiO}_2$  as nucleating agent. Once formulated samples will merged to obtain glasses 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 itself. It is expected that the present formulations developed as nepheline majority crystalline phase.

**Keywords:** Residue of glass wool; Ceramic; Nepheline.

<sup>1</sup> *Cursando Engenharia Metalúrgica, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.*

<sup>2</sup> *Engenheira e Consultora Ambiental, Mestranda em Engenharia Metalúrgica e Materiais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais Campus Vitória, Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.*

<sup>3</sup> *Coordenadora Administrativa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais (PROPEMM), Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES, Brasil.*

\* *Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

Em um panorama no qual se reflete o equilíbrio entre o consumo e a conservação de recursos minerais, energéticos e ambientais, a reciclagem de materiais exerce papel importante em vários aspectos, tais como: na economia de jazidas escassas de matéria-prima, na diminuição da poluição indiscriminada e no racionamento de energia. Neste sentido gera-se um ritmo de produção de matéria-prima básica mais adequado ao consumo de bens e de serviços pela sociedade [1].

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. Tecnicamente o que difere um subproduto de uma matéria-prima de primeira linha são as impurezas que acompanham a matéria-prima de interesse [1].

Dentro deste contexto, o aproveitamento da lâ de vidro resultante da indústria siderúrgica e de equipamentos eletroeletrônicos permite que esta retorne ao ciclo de processamento para uso posterior, otimizando a relação energia/meio ambiente/materiais, o que acarreta num melhor aproveitamento dos recursos, sejam eles materiais ou energéticos.

A origem desta lâ decorre de uma substância líquida inorgânica obtida através de um composto básico de vários elementos: a sílica, em forma de areia, que assume o papel vitrificante, o carbonato de sódio, sulfato de sódio e potássio, para que a temperatura de fusão seja mais baixa, e o carbonato de cálcio e magnésio, como estabilizantes para conferirem a este material uma elevada resistência a umidade. [2,3] Fabricada em fornos elétricos, a lâ de vidro é considerada um ótimo isolante térmico e acústico compostas de finas fibras de vidro com diâmetro de aproximadamente  $3\mu\text{m}$  a  $6\mu\text{m}$  e de comprimento variável, aglomerada por resinas sintéticas obtida por um forte sopro de ar sobre o vidro em fusão (sílica e sódio) [4].

Vidros são compostos formados basicamente por  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  e  $\text{CaO}$ , sendo um grupo familiar de materiais cerâmicos, que apresentam como principais características a transparência ótica e a relativa facilidade de fabricação [5]. Na sua grande maioria os 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 chamado de vitrocerâmico [5, 6].

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:  $\text{Li}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ , por exemplo [1,7].

Considerando que o resíduo de lâ de vidro (RLV) apresenta  $\text{SiO}_2$  e  $\text{Na}_2\text{O}$  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 [8]. 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.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

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

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O RLV, a ser utilizada neste projeto foi cedida pela Revertec Manufatura Reversa Ltda-ME localizada em Cariacica (ES), como as lãs estão na forma de manta, as mesmas foram inicialmente desfibradas manualmente e moídas em moinho de bolas até obtenção de um material particulado fino.

Nesta primeira etapa foi realizada apenas a caracterização dos resíduos, a moagem foi feita durante 25 minutos em moinho de bolas Marconi. Depois de moídos os resíduos foram caracterizados por espectroscopia de fluorescência de raios X (FRX), difração de raios X (DRX) e análise térmica diferencial (ATD) para avaliação das suas propriedades físicas e químicas e térmicas.

A composição química, definida por FRX, revelou 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). O  $TiO_2$  (Dinâmica) foi utilizado com agente nucleante.

Após a formulação as amostras foram misturadas em misturador em Y e em seguidas fundidas dentro de cadinhos de alumina em forno elétrico de fusão tipo Bottom Loading (Schaly) que possui limite de temperatura máxima em  $1700^{\circ}C$ , em uma temperatura de  $1450^{\circ}C$  por 4 horas. As amostras de vidro fundidas foram vazadas em placa de aço inox e prensadas manualmente com chapa do mesmo material para evitar a devitrificação, Figura 1. Características como a viscosidade de envase, transparência, homogeneidade e ausência de bolhas foram consideradas.



**Figura 1.** Vazamento do material fundido.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Para a obtenção do vitrocerâmico, o vidro fundido obtido na etapa anterior será submetido a uma etapa de tratamento térmico (nucleação e cristalização) e posteriormente realizado a caracterização do mesmo.

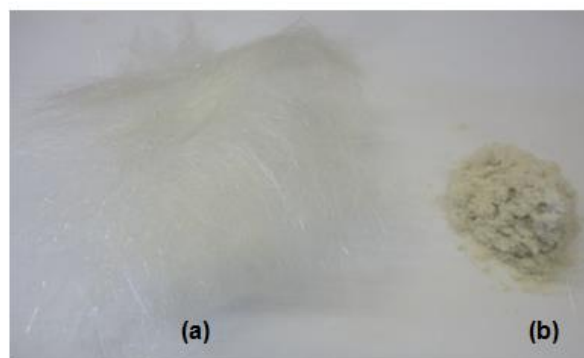
O vidro obtido será caracterizado por FRX, DRX e dilatométrica para que sejam verificadas, a composição química, o estado amorfo do vidro e o comportamento térmico (temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e coeficiente de expansão térmica).

O vidro fundido será submetido a uma etapa de tratamento térmico (nucleação e cristalização) onde os parâmetros serão definidos através da realização de um ensaio de ATD no vidro obtido anteriormente. Este ensaio de ATD tem o objetivo de avaliar características como: comportamento durante o aquecimento, intervalo de transição vítrea no qual consta a  $T_g$  e temperatura de cristalização na qual ocorrerá a formação e o crescimento dos cristais. A etapa de nucleação e cristalização será conduzida em um forno tipo mufla FDG que possui limite de temperatura máxima em  $1300^\circ\text{C}$ .

Os vitrocerâmicos obtidos serão caracterizados por DRX e microscopia eletrônica de varredura (MEV) (avaliação sobre a forma, distribuição e, eventualmente sobre o tipo de cristalização).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 mostra o aspecto visual da lâ de vidro na forma *in natura* e após processo de moagem. Pode-se verificar que a lâ de vidro apresenta-se na forma de uma manta (camadas) de cor branca na forma de fibras alongadas dispostas com certa aspereza em função do teor de sílica presente. Notou-se que o processo de moagem para a lâ de vidro é mais criterioso uma vez que esta volta a se agrupar depois de finalizada a moagem, conforme pode ser visto através da imagem da Figura 2 (b).



**Figura 2.** Aspecto visual da lâ de vidro: (a) *in natura* e (b) após moagem.

De acordo com a Tabela 1 verificou-se que aproximadamente 83,68% em massa do resíduo de lâ de vidro é constituída  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ , sendo que a sílica representa cerca de 68,54% do peso total. A partir da composição química definiu-se a fase 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 como fase de interesse para a obtenção dos vitrocerâmicos. Considerando que o resíduo seja deficiente em alumina para a formação desta fase, a correção de composição foi necessária.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

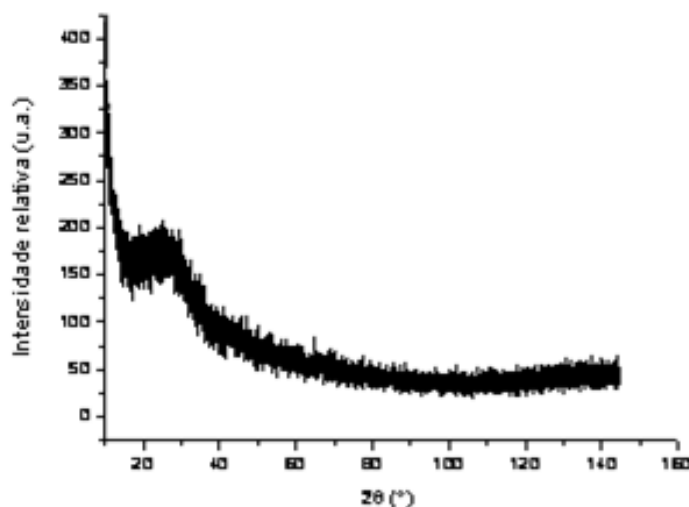




**Tabela 1 - Composição nominal, em óxidos, da lâ de vidro.**

Elementos	Teor (% em massa)	Elementos	Teor (% em massa)
	Lã de Vidro		Lã de Vidro
SiO <sub>2</sub>	68,54	BaO	0,92
Na <sub>2</sub> O	12,26	Co <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,1
CaO	9,27	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<0,1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,88	PbO	<0,1
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4	SrO	0,08
K <sub>2</sub> O	1,1	ZnO	<0,1
MgO	1,36	ZrO <sub>2</sub> +HfO <sub>2</sub>	<0,1
MnO	<0,05	TiO <sub>2</sub>	<0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,05	Perda ao Fogo	1,23

Pode-se observar através da Figura 3 que a curva exibida é formada por uma linha sem picos marcantes associados à presença de fases cristalinas, isto indica que o resíduo 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 algum ordenamento de curto alcance, tendendo a se organizar nesta fase cristalina caso haja condições. Esta tendência de organização na região da sílica ocorre devido ao elevado conteúdo deste óxido como mostrou a FRX, Tabela 1.



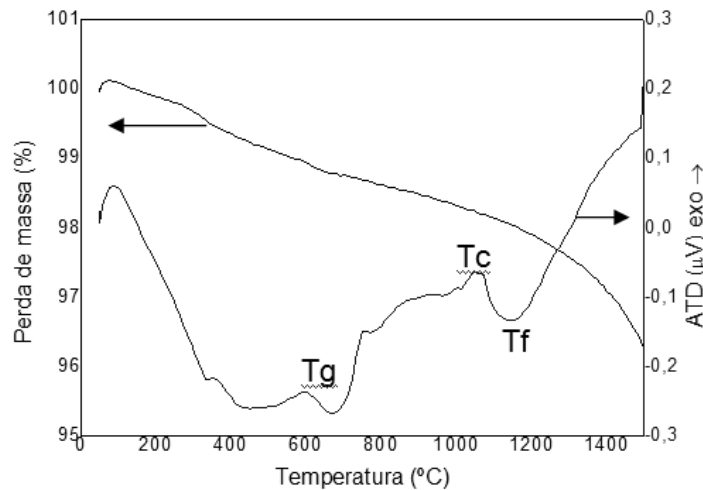
**Figura 3.** Difratograma de raios X do resíduo de lâ de vidro.

Sendo assim, através do difratograma confirmou-se 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 destas lâs minerais [8]. O fato do resíduo ser amorfo é importante para a obtenção do vidro base o qual deverá continuar no estado amorfo para que seja feito o processo de nucleação e cristalização durante o tratamento térmico posterior.

Segundo a análise da Figura 4 observa-se um pico exotérmico em aproximadamente 1000°C, o que corresponde a temperatura de cristalização do resíduo (T<sub>c</sub>), ou seja, acima desta temperatura o material iniciaria a cristalização de alguma fase cristalina.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

Em torno de 600°C observa-se a temperatura de transição vítrea ( $T_g$ ) e por volta de 1200°C a temperatura de fusão ( $T_f$ ) do resíduo. Para confirmação da  $T_g$  será necessário fazer o ensaio de dilatometria. Detectou-se também através da curva da análise termogravimétrica (TG) uma perda de massa ao longo de todo o ensaio, acentuando-se em temperaturas acima de 1000°C ligado à volatilização de alguns componentes já que a própria lâ de vidro apresenta uma perda ao fogo de 1,23%, conforme a Tabela 1.



**Figura 4.** Análise térmica diferencial do resíduo de lâ de vidro.

É de extrema importância salientar que, em geral, utiliza-se para definir o sistema a ser estudado os elementos majoritários encontrados na análise química, que no caso do resíduo em questão são,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$  e  $\text{Na}_2\text{O}$ , porém como o sistema desses três elementos não apresenta nenhuma fase vitrocerâmica de interesse escolhemos avaliar o sistema ternário  $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O}$ . Considerando os óxidos apresentados na Tabela 1, a Tabela 2 foi construída considerando-se apenas os óxidos de interesse para a obtenção da fase nefelina, com a perda ao fogo e o percentual bruto de impureza já distribuídos.

**Tabela 2.** Composição química provável do resíduo de lâ de vidro considerando apenas os óxidos majoritários.

Elementos	Teor (% em massa)
$\text{SiO}_2$	81,91
$\text{Na}_2\text{O}$	14,65
$\text{Al}_2\text{O}_3$	3,44
Total	100

Partiu-se então para a formulação de três vidros distintos, VD1, VD2 e VD3 diferenciando entre eles apenas o percentual dos óxidos majoritários de interesse para obtenção da fase nefelina. Sendo então:

VD1 = 70 % de RLV + 15%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 15%  $\text{Na}_2\text{O}$ ;

VD2 = 70% de RLV + 13%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 17%  $\text{Na}_2\text{O}$ ;

VD3 = 61% de RLV + 27,9%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  + 11,1%  $\text{Na}_2\text{O}$ .

A Tabela 3 representa as composições teóricas calculadas, para os materiais vítreos (VD1, VD2 e VD3), em relação aos óxidos majoritários, considerando as matérias-

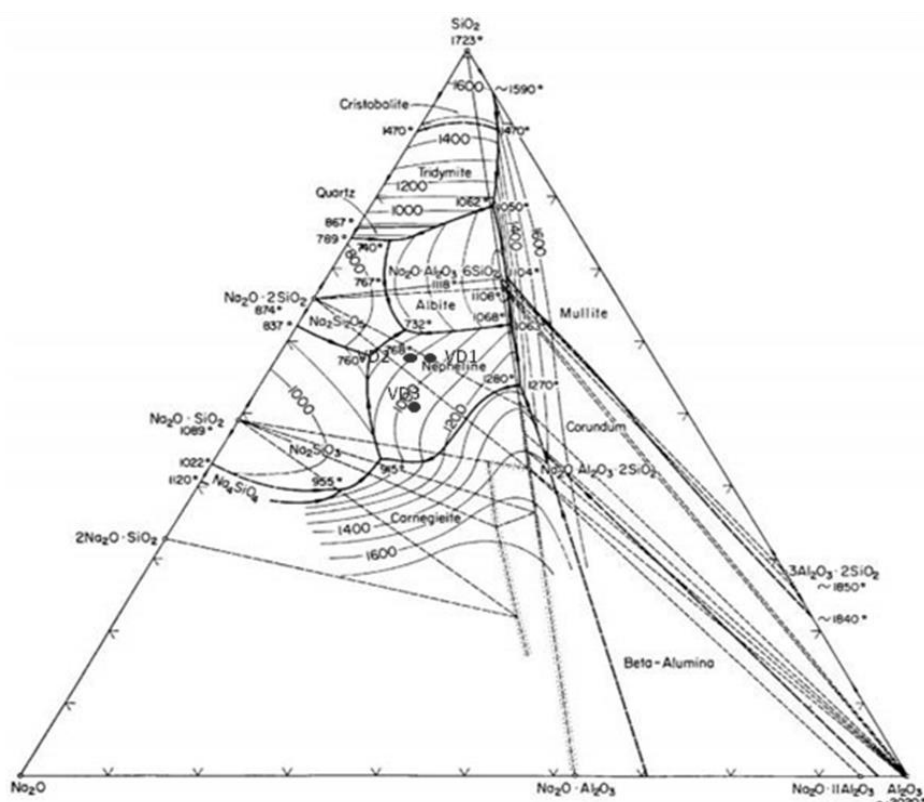
\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.

primas já adicionadas. Para a formulação dos materiais serão adicionados ao resíduo rutilo comercial com a função específica de agir como agente nucleante (na obtenção de vitrocerâmicos), alumina e carbonato de cálcio.

**Tabela 3.** Composição química dos vidros VD1, VD2 e VD3

Elementos	Teor (% em massa)		
	VD1	VD2	VD3
SiO <sub>2</sub>	57,34	57,34	50
Na <sub>2</sub> O	25,26	27,26	20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,41	15,41	30
Total	100	100	100

A partir da Tabela 3, pode-se localizar os pontos para as formulações VD1, VD2 e VD3 no diagrama ternário SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O, Figura 5, focalizando a região de trabalho na fase cristalina da nefelina.



**Figura 5.** Localização estimada dos pontos VD1, VD2 e VD3 no diagrama ternário SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Na<sub>2</sub>O.

Após a fusão da formulação VD1 a 1450°C em um patamar de 4 horas, obteve-se o vidro presente na Figura 6 resultou em um vidro de fácil envase, frágil e translúcido com coloração amarelada homogênea e no estado amorfo, porém, com a presença de bolhas resultantes da reação de conversão do Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> em NaO.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.



**Figura 6.** Vidro VD1 obtido após fusão.

## 4 CONCLUSÃO

O resíduo de lã de vidro apresenta propriedades constitucionais favoráveis para a obtenção de vitrocerâmicos uma vez que sua composição química é muito similar a dos vidros.

A partir da composição química do resíduo constatou-se que a fase vitrocerâmica mais interessante a ser estudada é a nefelina.

O vidro obtido manteve-se no estado amorfo, sem devitrificação voluntária, o que é importante para o processo de nucleação e cristalização controlada da fase nefelina. Pode-se concluir que é possível obter materiais vitrocerâmicos a partir do resíduo de lã de vidro uma vez que o vidro fundido apresenta características propícias.

## Agradecimentos

À FAPES pelo financiamento da bolsa de iniciação científica. À Revertec Manufatura Reversa Ltda-ME pelo fornecimento da lã de vidro. Ao IFES pela disponibilidade dos equipamentos utilizados

## REFERÊNCIAS

- 1 Kniess CT. 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) UFSC, Florianópolis.
- 2 Ecocasa – Tecnologias Ambientais. Lã de vidro Disponível em: <http://ecocasa.pt/userfiles/file/LA%20DE%20ROCHA.pdf>> Acesso em 16/11/2011.
- 3 Pinto KNC. 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.
- 4 Borges PR, Briddi VT, Peixoto RAF, Tenório JAS, Oliveira JR, Borlini MC. 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.

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.





- 5 Cadioli LP, Baitelo LG. Materiais Cerâmicos: Um estudo sobre vitrocerâmico. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, 2009; IV(4).
- 6 Callister WD. Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução. 5. ed. Rio de Janeiro: LCT, 2006.
- 7 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.
- 8 Ziemath EC. 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.

---

\* Contribuição técnica ao 69º Congresso Anual da ABM – Internacional e ao 14º ENEMET - Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Metalúrgica, de Materiais e de Minas, 21 a 25 de julho de 2014, São Paulo, SP, Brasil.