

# Estudo Comparativo entre Resíduos Vítreos de Diferentes Procedências - Caracterização Química, Espectroscópica e Bacteriológica

H. C. Silva<sup>1\*</sup>, C. R. S. Morais<sup>1</sup>, M. F. Silva<sup>1</sup>, R. L. Meneses<sup>1</sup>, V. S. Porto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Engenharia de Materiais – Universidade Federal de Campina Grande, Aprígio Veloso, 882, CEP 58429-900, Campina Grande – Paraíba

(Recebido em 10/11/2009; revisado em 20/03/2010; aceito em 30/04/2010)

(Todas as informações contidas neste artigo são de responsabilidade dos autores)

---

## Resumo:

O desenvolvimento e crescimento das grandes cidades aumentaram o consumo de produtos industrializados, seguido do descarte dos recipientes onde são acondicionados, gerando dessa forma um grande volume de resíduos sólidos que lançados no meio ambiente, geralmente nos lixões, ocasionam problemas como a poluição ambiental que afeta principalmente a saúde pública. Dentre este montante de resíduos sólidos se destacam os vidros, com características como: elevada densidade, não degradabilidade e volumetria elevada, o que compromete ainda mais a vida útil dos lixões. O vidro é 100% reciclável e apresenta uma vasta aplicabilidade, varias pesquisas mostram o vidro pode ser utilizados em massas cerâmicas, asfaltos entre outros, substituindo parcialmente as matérias-primas. Diante desse contexto sentiu-se a necessidade de avaliar as propriedades químicas e bacteriológicas de resíduos vítreos oriundos de sucatas e do lixão da zona urbana de Campina Grande/PB. A análise química mostrou que as composições dos resíduos estudados são de vidros do tipo sílica-soda-cal. Os espectros vibracionais das amostras de vidros comprovaram a presença de grupos funcionais do Si-O-H, Si-O e Al-OH. Os difratogramas mostraram o grau de amorficidade e cristalinidade do material analisado. Os resultados da análise bacteriológica confirmaram que os resíduos estavam contaminados por coliformes termotolerantes (fecais) com percentuais que comprometem a saúde dos catadores..

**Palavras-chave:** Resíduos vítreos; caracterização; sanitização; reciclagem.

---

## Abstract:

The development and growth of large cities have increased the consumption of manufactured goods; followed by the disposal of containers which are packaged, thus generating a large volume of solid waste released in the environment, usually in landfills, lead to problems such as environmental pollution that affects especially public health. From this amount of solid waste glass stand, with features such as high density, non-degradability and high volume, which further compromises the life of landfills. Glass is 100% recyclable and has a wide applicability, several polls show the glass can be used on ceramic, asphalt and other, partially replacing the raw materials. In this context it is needed to evaluate the chemical and biological properties of the waste and scrap of vitreous from the dump of the urban area of Campina Grande / PB. The chemical analysis showed that the compositions of the waste studied are glass type of soda-lime-silica. The vibrational spectra of glass samples confirmed the presence of functional groups Si-OH, Si-O and Al-OH. The diffractograms showed the degree of amorphous and crystalline material analyzed. The results of bacteriological analysis confirmed that the wastes were contaminated with fecal coliform (fecal) with percentages that put in danger the health of scavengers.

**Keywords:** Residues of glass; characterization; sanitation recycling.

---

\* E-mail: [helycsilva@yahoo.com.br](mailto:helycsilva@yahoo.com.br) (H. C. Silva)

## 1. Introdução

Uma deplorável realidade. Depósitos a céu aberto ainda são a principal forma de disposição de lixo em muitas cidades. Essa destinação inadequada acarreta uma série de problemas para a saúde humana e para produtividade, além dos desperdícios de recursos que poderiam ser utilizados e do comprometimento de reservatórios naturais (rios, nascentes, etc.).

A cidade de Campina Grande-PB, cuja população é estimada em cerca de 376.000 habitantes, enfrenta problemas semelhantes aos demais. O único local em funcionamento para a disposição final de resíduos sólidos gerados pela população e pelas indústrias é um lixão a céu aberto localizado a 10 km do centro da cidade na Alça Sudoeste. Nesse local o resíduo vítreo é de fácil acesso.

O vidro é um material 100% reciclável que proporciona diversas vantagens, não ocorrendo perda de material durante o processo de fusão. Para cada tonelada de caco de vidro limpo, obtém-se uma tonelada de vidro novo.

O Brasil produz em média 890 mil toneladas de embalagens de vidro por ano, usando cerca de 45% de matéria-prima reciclada na forma de cacos. Parte deles foi gerada como refugo nas fábricas e parte retornou por meio da coleta seletiva [1].

O volume de vidro reutilizado em Campina Grande-PB corresponde a cerca de 20 toneladas/mês. A quantidade recomendada para reciclagem do referido material, com base no número de habitantes deveria ser em torno de 100 a 120 toneladas mensais. Por não haver uma política de controle desses resíduos, mais de 80 toneladas de vidro são jogados no lixo de Campina Grande, todos os meses, podendo ser reaproveitados usando a reciclagem [2]. Diante dessa conjuntura, sentiu-se a necessidade de analisar e caracterizar os resíduos vítreos provenientes da zona urbana de Campina Grande/PB, como forma de propor um destino a estes resíduos.

Segundo Azambuja [3] o vidro nada mais é que a mistura perfeitamente dosada de várias matérias-primas que consistem em silicatos não-cristalinos que também contêm outros óxidos, notavelmente CaO, Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O e Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Cada substância tem uma função específica que confere uma dada propriedade ao vidro. Por exemplo, um vidro de soda-cal típico, consiste em aproximadamente 70% SiO<sub>2</sub>, sendo o

restante composto principalmente por Na<sub>2</sub>O (soda) e CaO (cal). Essas matérias-primas são divididas em cinco grupos principais: sílica (areia), fundentes, estabilizantes, afinantes e componentes secundários. Sílica (areia) – tão pura quanto possível e proveniente das areias ou das rochas de quartzo – considerada, pela sua natureza, o vitrificante, ou seja, o verdadeiro esqueleto do vidro.

### 1.1. Classificação dos vidros

Mesmo existindo infinitas formulações os vidros são divididos nas principais famílias:

#### Sílica Vítreo

Sílica vítreo tem um coeficiente de expansão térmica muito baixa, sendo ideal para janelas de veículos espaciais e outras aplicações onde são exigidas baixa expansão térmica a fim de se ter resistência a choques térmicos e estabilidade dimensional. Devido à extrema pureza obtida pelo processo de deposição de vapor, a sílica vítreo é utilizada para produção de fibras óticas. Este tipo de vidro não é frequentemente encontrado nos lixões.

#### Silicatos alcalinos

Os óxidos alcalinos são normalmente incorporados nas composições dos vidros como carbonatos. Acima de 550 °C os carbonatos reagem com a sílica formando um líquido silicoso e se a proporção de carbonato alcalino e sílica forem adequadas, formará um vidro com o resfriamento.

#### Vidros soda-cal

O óxido estabilizante mais utilizado é o de cálcio, muitas vezes junto com óxido de magnésio. Estes vidros são comumente chamados de sodo-cálcicos. Eles compreendem, de longe, a família de vidros mais antiga e largamente utilizada. As composições da maioria dos vidros sodo-cálcicos estão dentro de uma faixa estreita de composição. Eles contêm, normalmente, entre 8 e 12 por cento em peso de óxidos de cálcio e de 12 a 17 por cento de óxido alcalino (principalmente óxido de sódio). Muito cálcio faz com que o vidro tenha tendência a desvitrificar (cristalizar), durante o processo de produção. Muito pouco cálcio ou alto teor em

alcalinos resulta um vidro com baixa durabilidade química. Este tipo de vidro é o mais frequentemente encontrado nos lixões.

### **Vidros ao chumbo**

Vidros alcalinos ao chumbo têm uma longa faixa de trabalho (pequena alteração de viscosidade com diminuição de temperatura), e desta maneira têm sido usados por séculos pela produção de artigos finos de mesa e peças de arte. O chumbo também confere ao vidro um maior índice de refração, incrementando seu brilho. Vidro ao chumbo é o vidro nobre aplicado em copos e taças finas conhecidas como “cristal”, termo ambíguo, pois, o vidro não é um material cristalino. Este tipo de vidro não é encontrado frequentemente nos lixões.

### **Vidros borossilicatos**

Os vidros borossilicatos apresentam alta resistência ao choque térmico e por isso são empregados em produtos de mesa que podem ser levados ao forno. É o caso do Pyrex e do Marinex. Devido a menor quantidade de óxidos modificadores, além da resistência ao choque térmico, os vidros borossilicatos são também muito resistentes ao ataque químico e por isso são utilizados em vários equipamentos de laboratório. Este tipo de vidro não é encontrado frequentemente nos lixões.

### **Vidros alumino-silicatos**

Quando se adiciona alumina (óxido de alumínio) em uma formulação de vidro silicato alcalino, o vidro se torna mais viscoso em temperaturas elevadas. Em vidros ao silicato, a alumina é um formador de rede (embora sozinha não forme vidro em condições normais) e assume a coordenação tetraédrica similar à sílica. Sendo o alumínio trivalente, em contraste com o silício que é tetra-valente, a coordenação tetraédrica da alumina diminui o número de oxigênios não-pontantes, o que aumenta a coesão da estrutura do vidro. Como consequência, vidros alumino-silicatos comerciais podem ser aquecidos a temperaturas superiores sem deformação, comparativamente a vidros sodo-cálcicos ou à maioria dos borossilicatos.

Vidros alumino-silicatos são utilizados em tubos de combustão, fibras de reforço, vidros

com alta resistência química e vitro-cerâmicos. Este tipo de vidro não é encontrado frequentemente nos lixões.

## **1.2. Reciclagem de vidros**

Segundo o Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente [4] a aplicabilidade do vidro é a mais diversificada possível. No início foi usado como objeto de corte e armamento, pontas de flechas, passando por objetos ornamentais, utilitários domésticos, lentes e finalmente chegando à tecnologia como matéria prima das modernas fibras ópticas.

Atualmente, o vidro é parte integrante e fundamental do projeto arquitetônico. Faz parte da estética e tem forte influência no conforto, na economia e na segurança de qualquer edifício.

Com esse crescimento no uso do vidro há um aumento no acúmulo de resíduos sólidos, conduzindo a altos níveis de contaminação global, comprometendo assim, o futuro do nosso planeta. No Brasil, cerca de 30% dos resíduos sólidos gerados é constituído de materiais vítreos, podendo estes serem reutilizados e reciclados. Apesar disso, enormes quantidades de vidro são dispostos em lixões, agredindo o meio ambiente.

## **1.3. Contaminação em resíduos vítreos**

A contaminação de resíduos vítreos por microrganismos patogênicos é um assunto desconhecido ou pelo menos ainda não estudado por pesquisadores.

Destacamos neste trabalho a relevância da investigação desses microrganismos nos resíduos vítreos, visto que a população envolvida com o manuseio dos mesmos quer seja catadores, sucateiros ou operários da indústria vidreira estará exposta à contaminação por patógenos e isto é uma questão de saúde pública.

Os problemas sanitários provocados pelos resíduos sólidos à população decorrem principalmente do contato indireto, visto que os Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) servem de habitat para proliferação de macro vetores (ratos, baratas, moscas) e micro vetores (vermes, bactérias, fungos). Além disso, para Sisino & Oliveira [5], as áreas destinadas a receber toneladas de resíduos, não dispõem de infra-estrutura capaz de evitar os problemas oriundos desta atividade, logo, será responsável

pela degradação ambiental das regiões sob sua influência. Dentre os problemas ambientais causados pela disposição inadequada de grandes quantidades de resíduos sólidos, pode-se destacar a poluição do ar, das águas e do solo e como consequência desses fatores, o comprometimento da saúde humana.

#### 1.4. Características das sucatas e do lixão de Campina Grande - PB

Atualmente a cidade de Campina Grande tem aproximadamente 40 sucatas apenas 10% comercializam o resíduo vítreo (caco), que é proveniente da quebra de peças inteiras. Os catadores do lixão catam exclusivamente peças inteiras e apenas 2% é que catam cacos de vidros.

Todo material vítreo adquirido pelas sucatas é armazenado em grandes galpões, alguns sucateiros guardam os materiais em sacos, tambores, engradados ou em prateleiras. Nesse ambiente não é observado nenhum tipo de higienização e os trabalhadores não utilizam equipamentos de proteção individual – EPI's.

O município de Campina Grande - PB não dispõe de coleta seletiva de resíduos sólidos urbanos, sendo a disposição final desses materiais feita a céu aberto, sem nenhum tratamento, no lixão localizado no bairro do Mutirão (Figura 1). A composição média dos resíduos sólidos domiciliares de Campina Grande - PB está apresentada na Tabela 1. Os metais e os vidros apresentam os menores percentuais, 5,00% e 1,83%, respectivamente.

Tabela 1 - Composição média dos resíduos sólidos de Campina Grande-PB.

Resíduos Sólidos	Média
Matéria orgânica	62,83%
Papel/papelão	6,00
Metal	5,00%
Vidro	1,83%
Plástico	9,50%
Embalagem longa vida	1,17%
Outros (rejeitos)	13,67%

Fonte: [6].



Figura 1 – Visão panorâmica do lixão a céu aberto da cidade de Campina Grande/PB.

A coleta convencional é realizada em toda área urbana do município, inclusive nos distritos de Galante, São José da Mata e Catolé de Boa vista e tem recolhimento médio de aproximadamente 242 t de resíduos sólidos o que representa uma produção per capita de 0,68 kg/hab./dia da população urbana [6].

A cada mês cerca de 50 toneladas de vidros recicláveis são depositados a céu aberto, causando assim grande impacto ambiental. Este material se retirado do lixão poderia gerar emprego e renda para a população de catadores. Portanto, recomenda-se a implantação de um programa de gestão de resíduos vítreos no município, visando à retirada desses materiais recicláveis do lixão, uma vez que, pesquisas realizadas recentemente, apontam para uma série de possibilidades de uso ou incorporação dos mesmos em produtos de cunho tecnológico.

Este trabalho tem como objetivo caracterizar os resíduos vítreos oriundos de sucatas e do lixão da zona urbana da cidade de Campina Grande/PB, com intuito de poder incentivar a discussão sobre a possibilidade de sua reciclagem.

## 2. Materiais e métodos

Figura 2 apresenta o fluxograma da metodologia usada para realização de todo o processo de coleta das amostras de resíduos vítreos, do beneficiamento das amostras e as técnicas de caracterização aplicadas nesta pesquisa.

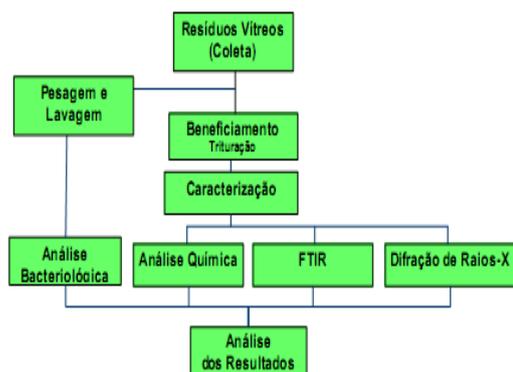


Figura 2 - Fluxograma da metodologia usada para realização desta pesquisa.

## 2.1. Materiais

O material utilizado foram resíduos vítreos coletados na zona urbana da cidade de Campina Grande/PB, de diferentes procedências como: sucatas e lixão. Foram coletadas um total de 14 (quatorze) amostras com pesos de 10kg para os resíduos vítreos não coloridos e 5kg coloridos, sendo 12(doze) provenientes de sucatas e 2(duas) do lixão. Estes resíduos foram acondicionados em sacos plásticos, devidamente identificados (data da coleta e procedência). Estas coletas foram realizadas nos períodos de chuvas e estiagem, conforme Tabelas 2 e 3.

Tabela 2 – Identificação das amostras coletadas no periodo de chuvas em Campina Grande/PB

Amostra	Identificação	Procedência/Bairro
RVS1	Resíduo Vítreo de Sucata 1	Monte Santo
RVS2	Resíduo Vítreo de Sucata 2	Prata
RVS3	Resíduo Vítreo de Sucata 3	Centro
RVS4	Resíduo Vítreo de Sucata 4	Católé
RVS5	Resíduo Vítreo de Sucata 5	Distrito dos Mecânicos
RVS6	Resíduo Vítreo de Sucata 6	Centenário
RVL7	Resíduo Vítreo do lixão 7	Mutirão

Tabela 3 – Identificação das amostras coletadas no periodo de estiagem em Campina Grande/PB

Amostra	Identificação	Procedência/Bairro
RVS8	Resíduo Vítreo de Sucata 1	Monte Santo
RVS9	Resíduo Vítreo de Sucata 2	Prata
RVS10	Resíduo Vítreo de Sucata 3	Centro
RVS11	Resíduo Vítreo de Sucata 4	Católé
RVS12	Resíduo Vítreo de Sucata 5	Distrito dos Mecânicos
RVS13	Resíduo Vítreo de Sucata 6	Centenário
RVL14	Resíduo Vítreo do lixão 7	Mutirão

Para identificação das amostras foi utilizada a simbologia: RVS (Resíduo Vítreo da Sucata) e RVL (Resíduo Vítreo do Lixão).

## 2.2. Métodos

As amostras foram submetidas à análise bacteriológica e em seguida foi realizada a trituração das mesmas até a granulometria (peneira ABNT N° 200) adequada para a realização das demais técnicas de caracterização: análise química, espectroscopia

vibracional de absorção no infravermelho e difração de raios-X.

### 2.2.1. Análise bacteriológica

As amostras de resíduos vítreos coletadas nas sucatas e no lixão foram encaminhadas separadamente ao Laboratório da EXTRABES (Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários), localizada no Bairro do Tambor na cidade de Campina Grande/PB.

Todas as amostras coletadas foram pesadas separadamente em balança analítica GT 210-

OHAUS e transferidas para os respectivos beakers previamente etiquetados (RVS1, RVS2, RVS3, RVS4, RVS5, RVS6 e RVL7) e (RVS8, RVS9, RVS10, RVS11, RVS12, RVS13 e RVL14), indicando a procedência do resíduo vítreo. Após a transferência dos resíduos vítreos para os beakers, adicionou-se 100mL de água destilada a cada becker para a lavagem do material e com o auxílio de um bastão de vidro foi realizada uma lenta agitação, objetivando o melhoramento do processo de lavagem de toda a massa de resíduos vítreos contida em cada becker [7]. Esta análise foi realizada no período de chuvas (primeira coleta) nas amostras RVS1 a RVL7 e no período de estiagem (segunda coleta) nas amostras RVS8 a RVL14.

A análise bacteriológica foi realizada em períodos distintos com o objetivo de comparar os resultados, ou seja, verificar a influência do clima na proliferação de bactérias.

A água residual advinda do processo de lavagem foi coletada e submetida à filtração em papel de filtro analítico e em seguida encaminhada para a análise bacteriológica [7]. No caso específico deste trabalho foi realizada apenas a quantificação de coliformes termotolerantes (fecais).

### 2.2.2. Método da membrana filtrante

Para determinação de coliformes termotolerantes nos resíduos vítreos pelo Método da Membrana Filtrante foi utilizada a seguinte aparelhagem:

Estufa bacteriológica a  $44.5 \pm 0.2^\circ\text{C}$ ;

Equipe de filtração Sterifil Millipore;

Placas de Petry de plástico com 5 ou 6 cm de diâmetro;

Discos absorventes de 48 mm de diâmetro (quando se usa como meio de cultura o Sulfato de Lauril Brothoxid);

Membranas filtrante com poros de  $0,45 \mu\text{m}$  de diâmetro (Millipore, Hawg 047 SO);

Pipetas bacteriológicas de 1 a 10ml;

Bico de bunsen e pinças millipore estéreis.

Os filtrados provenientes da 1ª filtração feita com papel de filtro qualitativo, foram submetidas a uma 2ª filtragem em membranas Millipore ( $0,45\mu\text{m}$ ) de diâmetro. Depois de filtradas e secas, as membranas foram removidas cuidadosamente com auxílio de uma pinça esterilizada ao calor e colocadas sobre os meios de culturas para favorecer o crescimento

das bactérias. Os meios de culturas foram preparados antecipadamente e colocados em placas de Petry.

Em seguida as amostras foram incubadas a uma temperatura de  $44,5^\circ\text{C}$  durante 24 horas. Após esse período foi realizada a contagem das unidades formadoras de colônias (UFC). A Equação 1 é aplicada para quantificação da concentração de coliformes termotolerantes.

$$\text{UFC}/100\text{ml} = \frac{\text{números de colonia}}{\text{diluição volume de amostra}} \times 100 \quad (1)$$

### 2.2.3. Caracterização dos Resíduos Vítreos

Após a lavagem dos resíduos vítreos com água destilada e o líquido residual ser analisado quanto à contaminação por coliformes termotolerantes, os resíduos foram secos a temperatura ambiente e beneficiados através de trituração até granulometria malha #200 para realizar as demais caracterizações, Figura 3(a), (b),(c), (d) e Figura 4.



Figura 3 - Amostras RVS1(a); RVS3(b); RVS5(c) e RVL7(d) provenientes das sucatas e do lixão após lavagem.

### Análise química

Nesta análise foi determinada a presença dos seguintes óxidos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  e  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

A análise química foi realizada segundo o método número 88 do Ministério do Interior-Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste - DRN/Divisão de Geologia/SAN, no Laboratório de Análises Mineraias - LAM da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.



Figura 4 - Amostras trituradas, prontas para caracterização.

### Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho (FTIR)

Os espectros foram obtidos em pastilhas de KBr, prensadas sob vácuo. Os espectros de absorção na região do infravermelho dos resíduos vítreos foram obtidos em pastilhas de 0,007 g de resíduos e 0,1 g de KBr, prensadas a 5 toneladas por 30 segundos. Neste experimento foi utilizado um espectrofotômetro com AVATAR TM 360 ESP Nicolet, na região

compreendida entre 4000 e 400  $\text{cm}^{-1}$ , com resolução de  $2\text{cm}^{-1}$ .

### Difração de raios-X (DRX)

A análise de difração de raios-X foi realizada em um equipamento Shimadzu XDR-6000 utilizando radiação de Cu  $\text{ka}$ , tensão de 40 kV, corrente de 30 A e varredura de  $2^\circ < 2\theta < 80^\circ$ .

## 3. Resultados e Discussão

### 3.1. Caracterização bacteriológica

A preocupação principal em se estudar a contaminação bacteriológica dos resíduos vítreos é propiciar ações de controle sanitário para os trabalhadores envolvidos com a manipulação deste material em suas diferentes fases de beneficiamento e processamento. Nas Tabelas 4 e 5 apresenta-se a cor do vidro coletado e alguns dos parâmetros adotados para caracterização.

Tabela 4 – Características das amostras coletadas (chuvas).

Amostra	Peso(g)	Cor	Procedência
RVS1	65,8	Branca	Sucata 1
RVS2	125,7	Branca	Sucata 2
RVS3	107,3	Âmbar	Sucata 3
RVS4	127,5	Branca	Sucata 4
RVS5	44,4	Branca	Sucata 5
RVS6	143,5	Branca	Sucata 6
RVS7	154,7	Âmbar	Lixão 7

Tabela 5 – Características das amostras coletadas (estiagem).

Amostra	Peso(g)	Cor	Procedência
RVS8	70,8	Branca	Sucata 1
RVS9	137,7	Branca	Sucata 2
RVS10	100,8	Verde	Sucata 3
RVS11	141,7	Azul	Sucata 4
RVS12	65,3	Branca	Sucata 5
RVS13	130,6	Branca	Sucata 6
RVS14	170,8	Âmbar	Lixão 7

Por meio das Tabelas 4 e 5 observa-se que o peso das amostras de vidro utilizadas para lavagem em água destilada, variou de 44,4g (RVS5) a 170,8g (RVL 14) e está associado

diretamente ao tamanho dos cacos de vidro coletados.

Das quatorze amostras coletadas, a cor branca foi predominante, representando um

percentual de 64,3%, enquanto a cor âmbar corresponde a 21,4%.

As Tabelas 6 e 7 apresentam as quantificações da contaminação por coliformes termotolerantes (fecais) em Unidade Formadora de Colônias de Bactérias (UFC), das amostras

coletadas nos períodos de chuvas e estiagem, respectivamente, para cada 5mL de volume do filtrado pipetado, proveniente da lavagem das amostras.

Tabela 6 – Quantificação da análise bacteriológica no período de chuvas.

Amostra	UFC/mL	Cor
RVS1	0,0	Branca
RVS2	$1.0 \times 10^3$	Branca
RVS3	$<1.0 \times 10^4$	Âmbar
RVS4	$<1.0 \times 10^4$	Branca
RVS5	$1.0 \times 10^3$	Branca
RVS6	$1.0 \times 10^3$	Branca
RVL7	$1.0 \times 10^4$	Âmbar

Tabela 7 – Quantificação da análise bacteriológica no período de estiagem

Amostra	UFC/mL	Cor
RVS8	$1.0 \times 10^3$	Branca
RVS9	$1.0 \times 10^3$	Branca
RVS10	$3.0 \times 10^3$	Verde
RVS11	$2.0 \times 10^3$	Azul
RVS12	$9.5 \times 10^4$	Branca
RVS13	$1.4 \times 10^4$	Branca
RVL14	$2.0 \times 10^3$	Âmbar

Na Tabela 6 verifica-se que a amostra RVS1 não apresenta contaminação por coliformes dentro dos limites da diluição adotada, o que denota uma baixa ou mesmo ausência de concentração de coliformes termotolerantes. Para se entender melhor esse valor de contaminação, nos esgotos sanitários da cidade após tratamento, a redução é na ordem de  $10^7$  UFC para  $10^3$  UFC. Isto se justifica pelo grau de higienização estabelecido no processo de coleta e armazenamento dos vidros, ou por outro lado que a água lançada na massa de vidro tenha carregado os microrganismos responsáveis pela contaminação fecal.

Nas amostras RVS3 e RVS4 a concentração de coliformes termotolerantes superou os limites adotados pelo método ( $<1,0 \cdot 10^4$ ), não sendo possível realizar com precisão a contagem do número de colônias formadas.

As amostras RVS2, RVS5, RVS6, RVS8, RVS9, RVS10, RVS11 e RVL 14 apresentam índices indicativos de contaminação de 103UFC, enquanto que as amostras RVL7, RVS12 e RVS13 esse índice elevou-se a  $10^4$  UFC - Unidade Formadora de Colônias de Bactérias.

No período de chuvas os resultados foram de extremos, tendo RVS1 como amostra não contaminada por bactérias, e as amostras RVS3 e RVS4 com uma contaminação elevada ( $<1,0 \cdot 10^4$ ), impossibilitando a aplicação do método. Nos resultados obtidos para as amostras no período da estiagem, observa-se uma contaminação na ordem de  $10^3$  UFC para a maioria das amostras e apenas RVS12 e RVS13 apresentando uma contaminação de  $10^4$  Unidades Formadora de Colônias de Bactérias (UFC).

### 3.2. Análise química

A Tabela 8 apresenta os resultados em percentagem da composição química das 7 (sete) amostras de resíduos vítreos analisados, no período de chuvas. Observou-se que os valores de SiO<sub>2</sub> variaram de 60,4% (RVS3) até 70,5% (RVS5), já os valores de CaO variaram de 6,2% (RVS3) até 9,8% (RVS1). No caso do MgO o valor máximo de 3,2% (RVS6), sendo a variação do Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> de 1,7% (RVL7) até 6,2% (RVS5). Os valores de Na<sub>2</sub>O ficaram entre 9,2% (RVS4) e 11,7% (RVS1) e os do K<sub>2</sub>O entre

0,1% (RVS2) e 0,9% (RVS5). Pode-se ainda constatar que as amostras RVS3 e RVL7 de cores âmbar apresentam 0,3% de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que proporcionam essa coloração ao vidro.

A composição química dos resíduos em percentuais de óxidos indicam que trata-se de vidros de sílica-soda-cal. Poderia ter sido encontrado resíduos de janelas, carros etc, como a demanda de resíduos de sílica-soda-cal nos lixões é bem maior, já era esperado que o resíduo coletado tratava-se desse tipo de resíduo.

Tabela 8 – Composição química dos resíduos em percentagem (%).

Amostras	RVS1	RVS2	RVS3	RVS4	RVS5	RVS6	RVL7
SiO <sub>2</sub>	67,3	69,5	60,4	67,7	70,5	68	70,2
CaO	9,8	8,4	6,2	7,8	8,1	6,4	7
MgO	Traços	Traços	1	1,2	0,6	3,2	0,8
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,7	5,3	3,1	4,5	6,2	2,7	1,7
Na <sub>2</sub> O	11,7	10,3	11,1	9,2	10,9	11,1	11,1
K <sub>2</sub> O	0,4	0,1	0,5	0,7	0,9	0,4	0,5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	-	0,3	-	-	-	0,3

### 3.3. Espectroscopia vibracional de absorção na região do infravermelho (IR)

A Figura 5 apresenta os espectros vibracionais de absorção no IR das amostras de resíduos vítreos analisados.

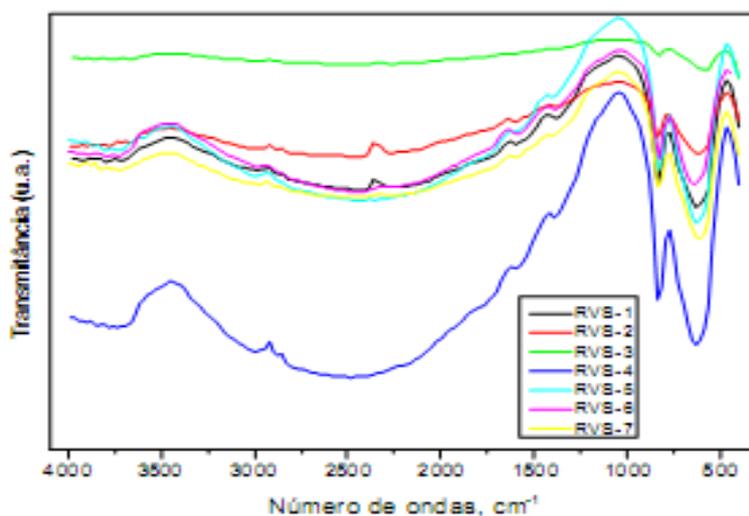


Figura 5 - Espectros vibracionais na região do infravermelho das amostras RVS1, RVS2, RVS3, RSV4, RVS5, RVS6 e RVL7

Os espectros vibracionais de absorção na região do infravermelho de cada uma das amostras RVS1, RVS2, RVS3, RSV4, RVS5, RVS6 e RVL7 estão apresentados na Figura 5,

de onde foram retirados os valores das bandas de absorção apresentados na Tabela 9.

Pode-se observar na Tabela 9 que todas as amostras apresentaram uma banda de absorção

entre 3200 - 3470  $\text{cm}^{-1}$ , características de vibrações de deformação (n) relativas ao grupo

Alanol (Al – OH).

Tabela 9 – Principais bandas de absorção no infravermelho dos resíduos vítreos.

Amostras	Atribuições			
	$\nu$ (Al-OH)	$\delta$ (Si-O-H) (m)	$\delta$ (Si-O)	$\nu$ (Al-O)
RVS1	3425	2916 (m)	1041	771(F)
RVS2	3456	2923 (F)	1049	771(F)
RVS3	3464	2924 (F)	1068	779(F)
RVS4	3465	2924 (F)	1049	771(F)
RVS5	3444	2935 (F)	1056	771(F)
RVS6	3444	2912 (f)	1029	779(F)
RVL7	3464	2931 (m)	1052	771(F)

A amostra RVS1 apresentou valor mínimo de 3425  $\text{cm}^{-1}$ , já para as amostras RVS3 e RVL7 o valor máximo foi de 3464  $\text{cm}^{-1}$ .

As amostras apresentaram um pico entre 2850 - 2950  $\text{cm}^{-1}$  referente a vibrações de estiramento (d) do Si–O–H [8].

A amostra RVS6 apresentou valor mínimo de 2912  $\text{cm}^{-1}$ , enquanto o valor máximo de 2935  $\text{cm}^{-1}$  foi apresentado pela amostra RVS5. Com exceção da amostra RVS6 que apresentou uma banda de absorção de 1029  $\text{cm}^{-1}$ , todas as demais amostras apresentaram uma banda em torno de 1060  $\text{cm}^{-1}$  proveniente da absorção de vibrações de estiramento (d), Si –O. Na faixa de 400 - 1000  $\text{cm}^{-1}$  todas as amostras apresentaram

picos, umas até apresentaram dois bem evidentes de 779  $\text{cm}^{-1}$  (RVS3 e RVS6) que são atribuídos à vibrações de deformação ou flexão (n) do óxido de alumínio.

#### 4.4 Difração de Raios-X

Os difratogramas não apresentaram picos bem definidos, que seriam característicos de uma amostra cristalina, no entanto apresentaram bandas entre 10° a 40°, características de materiais predominantemente amorfos (SANTOS, 1989). A Figura 6 apresenta todos os difratogramas das amostras RVS1, RVS2, RVS3, RSV4, RVS5, RVS6 e RVL7.

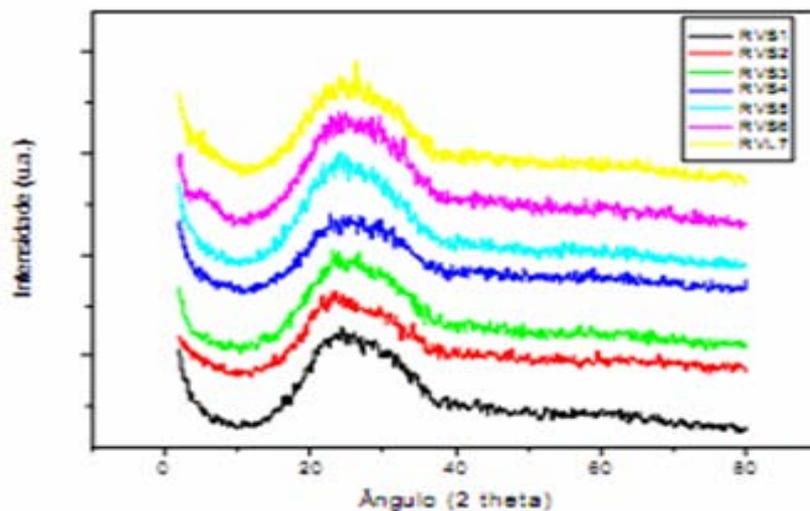


Figura 6 – Difração de Raios-X das amostras com varredura de  $2^\circ < 2\theta < 80^\circ$ .

#### 4. Conclusões

As amostras apresentaram valores da contaminação por coliformes termotolerantes nos dois períodos (chuvas e estiagem) na ordem de  $10^3$ ,  $10^4$  e  $<10^4$  UFC. Para se entender melhor esse valor de contaminação, nos esgotos sanitários da cidade após tratamento, à redução é na ordem de  $10^7$  UFC para  $10^3$  UFC. Com esse nível de contaminação se possibilita a utilização dessa água apenas na irrigação e algumas atividades humanas sem prejuízos para saúde.

A amostra RVS1 que não apresentou contaminação pela bactéria pode ter sido beneficiada pelo período das chuvas, quando a água lançada na massa de vidro tenha carregado os microrganismos responsáveis pela contaminação fecal.

Em ambos os períodos de coleta dos resíduos vítreos, se faz necessário uma lavagem prévia desses materiais com água corrente e clorada, o que reduzirá ao máximo o nível da contaminação verificada, podendo também ser utilizados EPI's que irá prevenir os catadores de serem contaminados por essas bactérias.

Os resíduos vítreos analisados apresentaram na composição química percentuais mais elevados dos óxidos de silício, sódio e cálcio, o que indica tratar-se de vidros do tipo sílica-soda-cal.

As amostras apresentaram uma banda de absorção entre  $3200 - 3470 \text{ cm}^{-1}$ , características de vibrações de deformação ( $\nu$ ) relativas ao grupo Alanol (Al – OH). Contatou-se um pico entre  $2850 - 2950 \text{ cm}^{-1}$  referente a vibrações de estiramento do Si – O – H.

Todas as amostras, com exceção da amostra RVS6 ( $1029 \text{ cm}^{-1}$ ), apresentaram banda em torno de  $1060 \text{ cm}^{-1}$  proveniente da absorção de vibrações de estiramento ( $\delta$ ), Si – O.

Na faixa de  $400 - 1000 \text{ cm}^{-1}$  todas as amostras apresentaram picos, umas até apresentaram dois evidentes de  $779 \text{ cm}^{-1}$  (RVS3 e RVS6) que são atribuídos às vibrações de deformação ou flexão ( $\nu$ ) do óxido de alumínio.

Os difratogramas das amostras de resíduos vítreos apresentaram bandas características de materiais predominantemente amorfos.

Os resíduos vítreos analisados por tratar-se de vidros do tipo sílica-soda-cal, se prestam à reciclagem e/ou reutilização, podendo retornar às indústrias como matéria-prima nobre; serem inseridos em massas cerâmicas, em pavimentações, em hidroponia, entre outras aplicações, minimizando assim a exploração das matérias-primas naturais necessárias à fabricação destes materiais. Deve-se ressaltar a importância na higienização desses materiais antes do manuseio ou da manipulação dos mesmos, tendo em vista o risco que correm os trabalhadores envolvidos na cadeia produtiva do vidro.

#### Referencias

- [1] ABIVIDROS - Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automotivas de Vidro. Boletim Informativo, 2005.
- [2] Jornal da Paraíba. O Problema do Lixo em Campina Grande, Reportagem:15/10/2005.
- [3] Azambuja, J. R. Edição Integrada nas Comemorações dos 250 anos da Indústria do vidro, 1998.
- [4] Recicloteca - Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente. Conheça sua embalagem de vidro. Informativo Recicloteca no. 3, p.6, 2005.
- [5] Sisino, C. L. S.; Oliveira, R. M. (Org.) - Resíduos sólidos, ambiente e saúde uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.
- [6] Oliveira, N.M.S. Caracterização Gravimétrica dos Resíduos Sólidos, Classificação e Diagnóstico dos Resíduos Vítreos gerados no município de Campina Grande-PB. (Dissertação de Mestrado) 2007.
- [7] APHA. AWWA. WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washington, D. C.: American Public Health Association. 1998.
- [8] Zeglinski, J., Piotrowski, G. P., Piekos, R. A study of interaction between hydrogen peroxide and silica gel by FTIR spectroscopy and quantum chemistry. 1984. Fonte: www.luvidarte.com.br, acesso em 15 de junho, 2007.