

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, ESPECTROSCÓPICA E BACTERIOLÓGICA
DE RESÍDUOS VÍTREOS PROVENIENTES DA ZONA URBANA DE
CAMPINA GRANDE/PB**

Helionalda Costa Silva

Campina Grande
Julho/2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E
ENGENHARIA DE MATERIAIS

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, ESPECTROSCÓPICA E BACTERIOLÓGICA
DE RESÍDUOS VÍTREOS PROVENIENTES DA ZONA URBANA DE
CAMPINA GRANDE/PB

Helionalda Costa Silva

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Ciência e Engenharia
de Materiais como requisito parcial
à obtenção do título de **MESTRE EM**
CIÊNCIA E ENGENHARIA DE MATERIAIS

Orientadora: Dr^a.Crislene Rodrigues da Silva Morais

Co-Orientador: Dr.Valderi Duarte Leite

Campina Grande

Julho/2007

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S586c
T693a

Silva, Helionalda Costa

Caracterização química, espectroscópica e bacteriológica de resíduos vítreos provenientes da zona urbana de Campina Grande/PB / Helionalda Costa Silva. — Campina Grande, 2007.

79f. : il. color.

Referências

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande. Centro de Ciências e Tecnologia. Orientadores: Crislene Rodrigues da Silva Morais e Valderi Duarte Leite.

1. Engenharia de Materiais 2. Reciclagem de Resíduos Sólidos 3. Análise Química 4. Análise Espectroscópica 4. Sanitização I. Título.

CDU 620.1

**CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, ESPECTROSCÓPICA E BACTERIOLÓGICA DE
RESÍDUOS VÍTREOS PROVENIENTES DA ZONA URBANA DE CAMPINA
GRANDE/PB**

Helionalda Costa Silva

Dissertação aprovada em 02 de julho de 2007, pela banca examinadora
constituída dos seguintes membros:

Banca Examinadora:



Dr^a. Crislene Rodrigues da Silva Moraes

Orientadora

UAEMa - UFCG



Dr. Valderi Duarte Leite

Co-Orientador

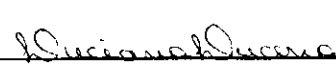
UEPB



Dr^a. Djane de Fátima Oliveira

Examinador Externo

UEPB



Dr^a. Luciana de Figueiredo Lopes Lucena

Examinador Externo

UFCG

VITAE DA CANDIDATA

Licenciatura Plena em Química pela Universidade Estadual da Paraíba
UEPB (2003).

Tecnologia Química Modalidade “Couros e Tanantes” pela Universidade
Federal da Paraíba – UFPB (1991).

AGRADECIMENTOS

Agradeço:

Ao Deus eterno criador do céu e da terra, ao qual pertence todo o princípio da sabedoria. Somente a Ele, toda a Glória, Honra, Majestade e Poder.

Aos meus queridos e mui amados filhos, Renaly e Renan, que me estimulam a correr incansavelmente até atingir o alvo.

A minha família, pai e mãe, que me acolhe na sua residência e me ajuda na criação dos meus filhos.

Em especial a minha orientadora Crislene Rodrigues da Silva Moraes, que acreditou no meu potencial e ajudou-me a tornar possível este trabalho e, com sua amizade e compreensão, fez muito mais grato à realização do mesmo.

As minhas amigas e irmãs em Cristo Jesus: Betânia e Corrinha que estão sempre presente em oração nos momentos de dificuldades.

Ao professor Valderi Leite que com seu conhecimento, carisma e coragem muito me ajudaram nas análises bacteriológicas.

Ao professores do PPG-CEMat, Tomás Jefferson, Heber Carlos, Hélio, Gelmires e Lisiane por serem solidários comigo e transmitirem com sabedoria seus conhecimentos, o que contribuiu muito para o meu aperfeiçoamento.

A todos meus amigos e colegas do mestrado e doutorado que me ajudaram e incentivaram durante esta pesquisa, e em especial aos amigos: Norma, Corrita, Luciana Lucena, Railda, Josy e Renê.

Aos funcionários da UAEMa, Márcia por sua simpatia, Violeta e Geraldo, sempre dispostos a ajudar.

Aos catadores da Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos, na pessoa de Zezinha, Guia, Dona Rita, Sula, Deuzinho, Alex, Isabel, Joselino e Lucinha entre tantos outros, por despertarem em mim, sentimentos de solidariedade, amor e companheirismo.

A Elmer, Hallysson e Brunno pelo esclarecimento de muitas questões técnicas e na área de informática.

Ao CNPq pelo financiamento do projeto e pela bolsa concedida.

CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, ESPECTROSCÓPICA E BACTERIOLÓGICA DE RESÍDUOS VÍTREOS PROVENIENTES DA ZONA URBANA DE CAMPINA GRANDE - PB

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. Sabe-se que tais resíduos apresentam grande potencial econômico na reciclagem. O vidro apresenta uma vasta aplicabilidade, sendo utilizado até como matéria-prima nas modernas fibras ópticas. Os resíduos vítreos são encontrados com facilidade, principalmente nas sucatas e nos lixões. Esses materiais são 100% recicláveis. Diante desse contexto sentiu-se a necessidade de avaliar as propriedades químicas, espectrais 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). Assim, os materiais vítreos analisados podem ser reciclados, mas deve-se evitar o manuseio destes resíduos sem o uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) ou realizar uma lavagem com água clorada tendo em vista o elevado grau de contaminação por coliformes termotolerantes.

Palavras chave: Resíduos vítreos, caracterização, sanitização e reciclagem.

**CHEMICAL, SPECTROSCOPIC AND BACTERIOLOGICAL
CHARACTERIZATION OF GLASS RESIDUES PROCEEDING FROM THE
URBAN ZONE OF CAMPINA GRANDE - PB**

ABSTRACT

The development and growth of the great cities had increased the consumption of products industrialized followed of the discarding of the containers where the same ones are conditioned, generating of this form a great volume of solid residues that launched in the environment, generally in the big garbage, cause problems as, ambient pollution, that affects the public health mainly. Amongst this sum of solid residues if they detach glasses, with characteristics as: raised density, not degradation and raised volumetric, what it still more compromises the useful life of the big garbage. One knows that, such residues present great economic potential in the recycling. The glass presents a vast applicability, being used until as raw material in modern optic staple fibers. The glass residues are found with easiness, mainly in the scrap iron and in the big garbage, these materials are 100% recycle. Ahead of this context it was felt necessity to evaluate the chemical, spectral and bacteriological properties of deriving glass residues of scrap iron and the big garbage of the urban zone of Campina Grande/PB. The chemical analysis showed that the compositions of the studied residues are of glasses of the type silica-soda water-whitewash. The vibratory specters of the glass samples had proven the presence of functional groups of Si-O-H, Si-O and Al-OH. The difratogramas had shown to the degree of amorphous and cristalline of the analyzed material. The results of the bacteriological analysis had confirmed that the residues were contaminated by thermotolerant coliformes (fecals). It can be concluded then, that the analyzed glasses can be recycled, but must be prevented the manuscript of the same ones without the had protections, in view of the raised degree of contamination for coliformes thjermotolerant (fecals).

Words key: Residues of glass, characterization, sanitation and recycling.

PUBLICAÇÕES

SILVA, H. C; MORAIS, C. R. S; OLIVEIRA N. M. S; CAVALCANTI, M. S. L; PAZ, R. A. Análise química dos resíduos vítreos do município de Campina Grande/PB. **IV SEMANA CIENTÍFICO-PEDAGÓGICA E TECNOLÓGICA DO CCT (IVSCPT) – UEPB.** Campina Grande/PB, Outubro, 2006.

SILVA, H. C; OLIVEIRA N. M. S; LUCENA, L. F. L; LEITE, V. D. Análise microbiológica dos resíduos vítreos provenientes de sucatas e do lixão do município Campina Grande/PB. **I SIMPÓSIO NORDESTINO DE SANEAMENTO AMBIENTAL (ABES).** Anais v. 1. p. 1-4. João Pessoa/PB, Novembro, 2006.

SILVA, H. C; OLIVEIRA N. M. S; MORAIS C. R. S; CAVALCANTI, M. S. L; NASCIMENTO, H. C; MESQUITA, E. U; LUCENA, L F. L. Caracterização de resíduos vítreos provenientes de sucatas e do lixão do município de Campina Grande/PB. In: **51º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA.** Anais. Salvador/BA, Junho, 2007.

OLIVEIRA, N, M, S., MORAIS, C, R, S., CAVALCANTI, M, S, L., SILVA, H, S., LUCENA, L, F, L., Estudo gravimétrico de resíduos vítreos domésticos do lixão de Campina Grande/PB, **51º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA.** Anais. Salvador/BA, Junho, 2007.

OLIVEIRA, N, M, S., MORAIS, C, R, S., CAVALCANTI, M, S, L., SILVA, H, S., PAZ, R, A., SOUZA, J. Destino final do material vítreo comercializado nas sucatas de Campina Grande/PB, **51º CONGRESSO BRASILEIRO DE CERÂMICA.** Anais. Salvador/BA, Junho, 2007.

SUMÁRIO

	Pág.
AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	ii
ABSTRACT	iii
PUBLICAÇÕES	iv
SUMÁRIO	v
ÍNDICE DE TABELAS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.1 Objetivo geral	2
1.1.2 Objetivos específicos	2
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 Histórico sobre vidros	3
2.1.1 Definição de vidros	5
2.1.2 Formação da estrutura vítrea	7
2.1.3 Composição de vidros óxidos	11
2.1.4 Classificação dos vidros	13
2.1.5 Propriedades dos vidros	18
2.1.5.1 Propriedades óticas	19
2.1.5.2 Propriedades mecânicas	19
2.1.5.3 Propriedades elétricas	20
2.1.5.4 Propriedades químicas	20
2.1.5.5 Propriedades térmicas	21
2.2 Reciclagem de vidros	22
2.3 Contaminação em resíduos vítreos	23
2.3.1 Características biológicas	24
2.3.2 Microrganismos indicadores de contaminação fecal ou higiênico-sanitária	26

2.3.2.1 Coliformes totais	26
2.3.2.2. Coliformes termotolerantes e escherichia coli	27
2.3.3 Exames bacteriológicos da água	27
2.3.4 Identificação e quantificação de microrganismos - a contagem padrão em placas	29
2.4 Características das sucatas e do lixão de Campina Grande - PB	30
3 MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1 Material	33
3.2 Métodos	34
3.2.1 Análise bacteriológica	34
3. 2.1.1 Método da membrana filtrante	36
3.2.2 Caracterização dos Resíduos Vítreos	38
3.2.2.1 Análise química	39
3.2.2.2 Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho (FTIR)	39
3.2.2.3 Difração de raios-X (DRX)	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 Caracterização bacteriológica	43
4.2 Análise química	46
4.3 Espectroscopia vibracional de absorção na região do infravermelho (IR)	47
4.4 Difração de Raios-X	52
5 CONCLUSÕES	58
6 SUGESTÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	60
7 REFERÊNCIAS	61

ÍNDICE DE TABELAS

	Pág.
Tabela 2.1 - Propriedades características dos vidros de óxidos.	18
Tabela 2.2 - Composição média dos resíduos sólidos de Campina Grande-PB.	31
Tabela 3.1 - Identificação das amostras coletadas no período de chuvas em Campina Grande/PB.	34
Tabela 3.2 - Identificação das amostras coletadas no período de estiagem em Campina Grande/PB.	34
Tabela 4.1 - Características das amostras coletadas (chuvas).	43
Tabela 4.2 - Características das amostras coletadas (estiagem).	43
Tabela 4.3 - Quantificação da análise bacteriológica no período de chuvas.	44
Tabela 4.4 - Quantificação da análise bacteriológica no período de estiagem.	45
Tabela 4.5 - Composição química dos resíduos vítreos em percentagem (%).	46
Tabela 4.6 - Principais bandas de absorção no infravermelho das amostras de resíduos vítreos.	51
Tabela 4.7 - Cálculo da distância interlamelar basal (d) segundo a Lei de Bragg, das sete amostras de resíduos vítreos.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2.1 - Variação do volume específico e calor específico com a temperatura para um vidro e um cristal.	10
Figura 2.2 - Componentes do vidro.	13
Figura 2.3 - Espelhos astronômicos principais para Telescópio F/7 aluminizado com diferentes diâmetros.	14
Figura 2.4 - Vidros de sílica-soda-cal para embalagens.	15
Figura 2.5 - Jarras finas feitas a partir de óxidos de chumbo.	16
Figura 2.6 - Acessórios de vidros usados em laboratório.	17
Figura 2.7 - Prancha feita de material vitro-cerâmico.	18
Figura 2.8 - Método das diluições para determinação da concentração de UFC.	30
Figura 2.9 - Visão panorâmica do lixão a céu aberto da cidade de Campina Grande/PB.	31
Figura 3.1 – Fluxograma do processo de desenvolvimento da pesquisa	33
Figura 3.2 - Béqueres para lavagem dos resíduos vítreos.	35
Figura 3.3 - Lavagem dos resíduos vítreos.	36
Figura 3.4 - Sistema de filtração pelo Método da Membrana Filtrante.	37
Figura 3.5 - Amostras RVS1(a); RVS3(b); RVS5(c) e RVL7(d). provenientes das sucatas e do lixão após lavagem.	38
Figura 3.6 - Amostras trituradas, prontas para caracterização..	38
Figura 3.7 - Pastilha feita a partir do resíduo vítreo com KBr.	40
Figura 3.8 - Equipamento Avatar - 380 FT-IR.	40
Figura 3.9 - Equipamento Shimadzu XDR – 6000.	42
Figura 4.1 - Espectros vibracionais na região do infravermelho das amostras RVS1, RVS2, RVS3, RSV4, RVS5, RVS6 e RVL7.	47
Figura 4.2 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS1.	48
Figura 4.3 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS2.	48

Figura 4.4 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS3.	49
Figura 4.5 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS4.	49
Figura 4.6 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS5.	50
Figura 4.7 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS6.	50
Figura 4.8 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVL7.	50
Figura 4.9 - Difração de Raios-X das amostras com varredura de $2^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.	52
Figura 4.10 - Difração de Raios-X da amostra RVS1 com varredura de $2^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.	54
Figura 4.11 - Difração de Raios-X da amostra RVS2 com varredura de $2^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.	54
Figura 4.12 - Difração de Raios-X da amostra RVS3 com varredura de $2^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.	55
Figura 4.13 - Difração de Raios-X da amostra RVS4 com varredura de $2^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.	55
Figura 4.14 - Difração de Raios-X da amostra RVS5 com varredura de $2^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.	56
Figura 4.15 - Difração de Raios-X da amostra RVS6 com varredura de $2^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.	56
Figura 4.16 - Difração de Raios-X da amostra RVL7 com varredura de $2^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.	57

LISTA DE SÍMBOLOS E SIGLAS

%	Porcentagem;
ABIVIDROS	Associação Brasileira de Vidros;
ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnicas;
CEMPRE	Compromisso Empresarial para a Reciclagem;
CPP	Contagem Padrão em Placas;
DRX	Difração de raios X;
EPI's	Equipamentos de Proteção Individuais;
EXTRABES	Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários;
pH	Potencial hidrogeniônico;
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos;
RVL	Resíduo Vítreo do Lixão;
RVS	Resíduo Vítreo da Sucata ;
T _g	Transição Vítreo;
UFC	Unidades Formadoras de Colônias.

1 INTRODUÇÃO

Uma deplorável realidade. Depósitos a céu aberto ainda é a principal forma de disposição de lixo em muitas cidades. Essa destinação inadequada acarreta uma série de problemas para a saúde humana e para a 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 às 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.

Devido às suas propriedades estéticas e funcionais, à disponibilidade das matérias-primas mais abundantes no planeta, isto é, minerais contendo os elementos químicos O, Si, Al, Ca e Na e da facilidade de reciclagem (por exemplo, algumas empresas já utilizam até 100% de cacos de vidro na fabricação de garrafas), o uso de vidros tende a aumentar significativamente (ZANOTTO, 2006).

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 (ABIVIDROS, 2005).

O emprego do caco de vidro aumenta a vida útil do forno e reduz gastos com energia para fusão. A maioria das grandes empresas terceiriza o beneficiamento do caco de vidro e podem pagar por ele valor igual ou superior ao que pagariam pela matéria prima virgem. O caco de vidro limpo é então considerado matéria prima nobre.

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 (JORNAL DA PARAÍBA, 2005). 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.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

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.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar amostras de vidros procedentes de sucatas e do lixão da zona urbana de Campina Grande/PB; nos períodos de chuva e de estiagem.
- Verificar o nível de contaminação por coliformes termotolerantes dos resíduos coletados nas diferentes fontes;
- Caracterizar os resíduos vítreos, através da análise química, da espectroscopia vibracional na região do infravermelho e da difração de raios-X.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Histórico sobre vidros

O vidro já existe na natureza desde a formação da crosta terrestre. Os chamados vidros naturais se formaram a partir de magmas, os quais, devido às condições em que se produziu seu resfriamento, não chegaram a se cristalizar destes vidros o homem pré-histórico aprendeu a se servir, muitos milênios antes da descoberta dos vidros artificiais (NAVARRO, 1991).

A rocha vítrea mais importante e mais empregada pelo homem pré-histórico foi a obsidiana. Desde o princípio ela permitiu ao homem satisfazer a dupla finalidade funcional e ornamental que este sempre buscou nos materiais, servindo-lhe na fabricação de diferentes utensílios domésticos e rudimentares instrumentos defensivos (NAVARRO, 1991).

A descoberta dos vidros tem sido objeto de muitas controvérsias, pois os historiadores não dispõem de dados precisos sobre sua origem. Dos poucos que a História registrou existe uma receita pertencente à antiga biblioteca do rei assírio Assurbanipal (669-626 AC), escrita em caracteres cuneiformes: *“Tome 60 partes de areia, 180 partes de cinzas de algas marinhas e cinco partes de cal. Assim você obterá um vidro”* (BUNDE, et al. 1998). Alguns dizem que a descoberta dos vidros artificiais ocorreu após a descarga elétrica atmosférica sobre as cinzas deixadas no chão arenoso em tempos pré-históricos (KNISS, 2001). Outros como sendo realizada pelos primeiros fundidores de metais ao tratar minerais de cobre, já que em sua obtenção se separam escórias vítreas opacas e coloridas, ou ainda pelos primeiros ceramistas, como consequência da vitrificação acidental de um de seus barros cozidos (NAVARRO, 1991).

Segundo Kniess (2001), o vidrado mais antigo que se conhece, data de 12 milênios A.C aplicado na ornamentação de colares. Produtos manufaturados vítreos têm sido descobertos na Mesopotâmia já ao redor de 4500 A.C e nas necrópoles egípcias há pelo menos 3000 A.C.

O verdadeiro início do emprego do vidrado vem do período Bisantino, nos primórdios da Era Cristã. Conheceu-se o *Closoué* ou esmaltação a seco

sobre o ouro, e o *Champlevé*, que é a esmaltação a seco sobre o cobre trabalhado (KNIESS, 2001).

Muitos apontam os Fenícios como sendo os precursores da indústria do vidro. Esta começou, então, a florescer em várias cidades, começando pelo Egito (até o séc. XXII a.C.), e depois na Síria e Mesopotâmia (até o séc. IX a.C.), na Grécia, na Península Italiana (por volta de 900 a.C.), na região ao redor de Veneza (500 a.C.) e alcançando até a China.

Segundo Navarro (1991), o método do sopro foi provavelmente inventado na Fenícia e na Síria entre 27 A.C. e 14 D.C e revolucionou as técnicas de elaboração. A atividade vidreira se estabeleceu em Roma, alcançando grande desenvolvimento e perfeição até a invasão dos bárbaros, quando a sede do Império Romano se muda para o Oriente e juntos vão artesãos hábeis nesta arte, impedindo a extinção da indústria vidreira. Esse monopólio perdurou até o século XIII, quando os venezianos começaram a introduzir artistas gregos em suas oficinas, ocasionando uma grande prosperidade nesta indústria e até o fim do século XII, Veneza predomina no mundo da vidraria.

A Europa toda estava sob domínio Veneziano e não tinha forças para romper com ele até que a Alemanha e a França começaram a promover a imigração de artistas venezianos, apesar do rigoroso controle, consolidando assim novas indústrias vidreiras.

Em 1612 foi publicado o livro “Arte Vitriaria” de Néri, que fornecia um resumo do conhecimento sobre vidros até aquela época. Pelo final do século XVIII, uma revolução industrial tomou lugar, como resultado de descobertas em Química baseada na substituição de álcalis naturais por sódio proveniente de sais marinhos.

No Brasil os primeiros artesãos imigraram com a “Invasão Holandesa”, em Olinda e Recife, produzindo com perfeição vidros para janelas, copos e frascos. Em 1810, o português Francisco Inácio de Siqueira Nobre recebeu da Corte Portuguesa a Carta Régia, autorizando-o a instalar sua fábrica de vidros na Bahia, inaugurando-a em 1812. A industrialização de vidros no país

agiganta-se no século XX, com a fundação da Companhia Industrial de São Paulo e Rio (Cisper) e da Vidraria Santa Marina.

Voltando à História do vidro no mundo, um aperfeiçoamento definitivo foi obtido ao fim do século XVIII por Guinard, na Suíça, introduzindo a agitação na manufatura do material, de forma assegurar uma boa homogeneidade. Novos vidros foram produzidos a partir de 1875 e em um período de 10 anos o progresso foi espetacular.

Logo o avanço científico foi progressivamente introduzido. O conceito de vidro, aos poucos, foi sendo generalizado e, após o termo vidro ter sido empregado para definir um sólido não cristalino, a pesquisa foi direcionada para uma compreensão dos vidros ou estado vítreo, como um estado de agregação da matéria.

Outro processo de igual importância ao método do sopro, o chamado “Processo Float”, surgiu na década de 60 e consiste em derramar o vidro ainda não solidificado sobre uma superfície lisa, que no caso era um banho de estanho fundido, adquirindo o mesmo, uma superfície plana, sem a necessidade de polimento (NAVARRO, 1991).

Apesar de algum progresso na ciência dos vidros terem sido realizados, é somente após a Segunda Guerra Mundial que é possível observar uma forte interação entre pesquisa científica e tecnologia de vidros.

Hoje em dia, além das aplicações clássicas em que os vidros são indispensáveis à nossa economia, pode-se observar novas técnicas de vidro surgindo a todo o momento, com os vidros trazendo soluções originais. Os novos vidros semicondutores, as fibras ópticas, os vidros laser e os vidros de alta tenacidade são alguns dos exemplos que podem ser citados (NAVARRO, 1991).

2.1.1 Definição de vidros

Todas as definições de vidro propostas até o momento são, mais ou menos, incompletas, devido a limitações de três tipos que, em conjunto, impossibilitam a realização de uma definição concisa e geral. Tais limitações são: i) não é possível enunciar com rigor uma definição baseada em conceitos

físicos e estruturais visto que, por seu especial comportamento e as peculiaridades de seu estado físico, se bem os proporciona certas analogias com os sólidos cristalinos, os assemelha muito mais aos líquidos; ii) não se pode defini-los atendendo a sua composição visto que são muito complexos e possuem uma natureza química muito diferente; iii) do ponto de vista utilitário (aspecto tecnológico) seus campos de aplicação são tão diversos que não se pode chegar a uma unificação por este meio (NAVARRO, 1991). Também Gutzow e Schmelzer (1995) compartilham com a opinião de serem os vidros um material de difícil conceituação por apresentarem características de diferentes estados da matéria.

De acordo com Mari (1982) a definição rigorosa do vidro hoje enfrenta várias controvérsias; não há uma definição que seja unanimidade entre os cientistas. Muitos insistem no critério de que um vidro é um material formado pelo resfriamento de um líquido que se torna relativamente rígido através do incremento progressivo da viscosidade, ou mais sucintamente, vidro é um produto inorgânico, proveniente de uma fusão, enrijecido pelo resfriamento, sem cristalização. Navarro (1985) afirma que na realidade existem duas definições, uma operacional e outra estrutural. A primeira trata o vidro como “um sólido obtido pelo resfriamento de um líquido sem cristalização” e a segunda que “o vidro é um sólido não cristalino”.

Para Zanotto (1989) “vidros são materiais de estrutura desordenada que apresentam o fenômeno de transição vítrea”. O vidro é uma substância inorgânica, homogênea e amorfa, obtida através do resfriamento de uma massa a base de sílica em fusão.

De acordo com Obladen et al. (1993), nos últimos tempos o vidro tem despertado grande interesse nos pesquisadores pelas propriedades que esboçam. No período anterior a segunda guerra mundial o vidro ainda não tinha o papel que hoje tem como material promissor sob o ponto de vista tecnológico.

Cella (2001) afirma que sólidos não cristalinos que apresentam o excesso de energia descrito correspondem a um estado da matéria classificado como metaestável ou estado de não equilíbrio. Tendo em vista essa discussão,

a seguinte definição de vidro pode ser adotada: “um vidro é um sólido não cristalino que exhibe o fenômeno da transição vítrea”.

De acordo com Neder (2005) esses materiais também podem apresentar tipos diferentes de desordem e isso não os exclui como materiais não cristalinos. Para contornar esse dilema é indispensável incluir na definição estrutural uma condição que determine a estabilidade interna do material. Os processos de obtenção dos sólidos não cristalinos acrescentam ao mesmo um excesso de energia, seja devido ao resfriamento rápido, a ação mecânica ou a outro processo qualquer.

Zarzycki (2005) diz que industrialmente pode-se restringir o conceito de vidro aos produtos resultantes da fusão, pelo calor, de óxidos ou de seus derivados e misturas, tendo em geral como constituinte principal a sílica ou o óxido de silício (SiO_2), que, pelo resfriamento, endurece sem cristalizar. Uma definição aceita em várias referências diz que um vidro é um sólido não-cristalino que apresenta o fenômeno da transição vítrea (NASCIMENTO, 2000).

Todas as definições têm seu campo de abrangência ou seus limites, mas a definição mais aceita e utilizada para vidros é a que relaciona tais materiais com o conceito de temperatura de transição vítrea.

2.1.2 Formação da estrutura vítrea

Em determinada época, pensaram em conceituar esta substância chamada vidro, como um quarto estado da matéria. Isto porque apesar de, aparentemente, apresentarem à temperatura ambiente características que poderiam defini-la como sólidos, como sua rigidez mecânica, ela não apresentava estrutura cristalina, que é o que define um sólido. Daí a idéia de alguns de incluí-las em um quarto estado da matéria, o estado vítreo, idéia que nunca chegou a encontrar uma aceitação generalizada.

Os materiais vítreos possuem características não-comuns, que provocam razoável curiosidade; possuem também propriedades tecnológicas especiais e úteis, que decorrem de sua natureza atípica (VAN VLACK, 1984).

As substâncias vítreas ou a mistura ou formulação em estado fundido que irá produzir o vidro, são líquidos relativamente viscosos que ao serem

resfriados aumentam notavelmente (ou rapidamente) sua viscosidade até que suas moléculas constitutivas perdem toda mobilidade, conservando, entretanto, a mesma disposição caótica que possuíam no estado líquido. Por isto, a temperaturas ordinárias, o vidro apresenta a mesma disposição molecular que possuía no estado de fusão e é, portanto, isotrópico. Ademais, não possui um ponto de fusão específico ou fixo, senão que, ao aquecê-lo, pouco a pouco vai diminuindo sua consistência e passa gradualmente ao estado líquido (ao contrário do gelo, por exemplo: ao aquecê-lo até zero grau Celsius, muda de estado completamente nesta temperatura e somente depois de estar completamente fundido (água) fornecendo mais calor, sua temperatura irá aumentar). Nos vidros não existe uma temperatura de fusão bem definida ou fixa como nos sólidos cristalinos onde, neste ponto, a fase sólida coexiste com a líquida. Esta é uma característica muito importante dos vidros: sua habilidade de passar progressiva e reversivelmente a um estado cada vez mais fluido, à medida que a temperatura aumenta.

Quando uma substância está no estado líquido ou fundido e dela se vai retirando calor, ou seja, se vai resfriando-a, seus átomos, moléculas ou íons constituintes pela perda de energia vão diminuindo suas velocidades, até que a força entre os mesmos é tal que pequenos núcleos de cristais com átomos fixos em posições específicas, começam a se formar. A partir de tais núcleos, se as condições permitirem, começará a surgir uma estrutura cristalina com a mesma estrutura ou fase do núcleo inicial formado, visto que os átomos que ainda estão em movimento começarão a se agrupar a tal núcleo, com seu conseqüente desenvolvimento. É a passagem do estado líquido para o sólido (VARSHENYA, 1994).

Mas nem sempre isto acontece. Isto porque os elementos formativos (átomos, moléculas) de algumas substâncias possuem um poder, chamado poder vitrificante, de quando no estado fundido se resfriados rapidamente, serem “congelados” ainda com alguma energia cinética (ou com certa velocidade), sendo que a estrutura interna de tal material fica em um estado energético maior do que se tivessem sido resfriados lentamente (NAVARRO, 1991). Nestes casos, tais materiais chamados vidros, não adquirem uma

estrutura cristalina ou ordenada a longas distâncias (como é comum ser observado nos metais, cerâmicas), visto que como o resfriamento foi realizado de maneira brusca ou rápida, seus átomos não têm tempo de se arranjam ordenadamente como desejariam (pois a natureza parece sempre buscar um estado de menor energia), e sim que seus átomos se arranjam de maneira aleatória, adquirindo o material, uma estrutura desordenada também chamada de amorfa. Fazendo uma analogia, é como se sua estrutura quando no estado líquido, tivesse sido congelada, visto que o material apresenta a estrutura interna típica dos líquidos (desordem), mas com muitas características próprias dos sólidos.

É devido principalmente à estrutura microscópica do vidro, a sua propriedade de transparência, visto que ao não se arranjam ou se empacotarem seus átomos constituintes em estruturas ordenadas, sua densidade microestrutural é relativamente baixa, sendo que a radiação tem muito mais facilidade para atravessar a estrutura sem ser absorvida ou colidir (VAN VLACK, 1984).

Um sólido cristalino ao passar do estado sólido para o líquido sofre uma mudança na fase cristalina, de maneira que aumenta em uma unidade o grau de liberdade de seus elementos. Isto não ocorre quando um vidro sofre a mesma transição. Neste caso a fase estrutural permanece a mesma, ou seja, não há mudança de fase (NAVARRO, 1991).

A transição nos vidros, do líquido fundido a líquido superesfriado, transcorre sem que apareça descontinuidade alguma na curva de volume específico-temperatura, o que é bem diferente quando um fundido é resfriado para formar um cristal, onde há uma marcada descontinuidade no volume específico, com uma brusca contração, como pode ser observado na Figura 2.1.

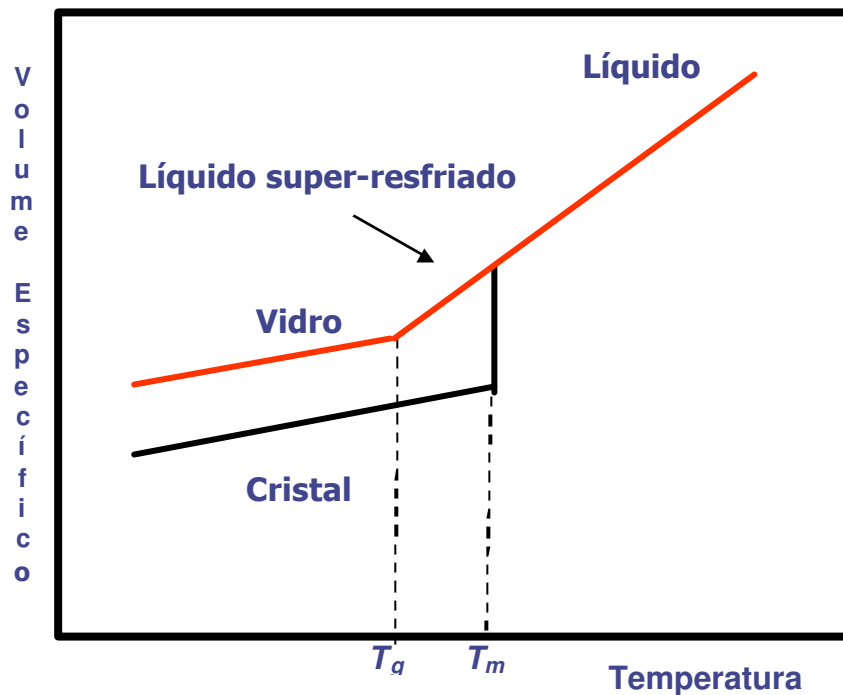


Figura 2.1 – Variação do volume específico e calor específico com a temperatura para um vidro e um cristal.

Fonte: CALLISTER (1999).

Se continuar a resfriar o material após ele estar no estado de líquido superesfriado sem que ocorra a cristalização, visto que a estabilidade de um líquido superesfriado é menor que a de sua fase cristalina e basta uma pequena perturbação para ocorrer sua cristalização súbita, sua contração continua até chegar a uma determinada temperatura onde aparece um cotovelo, que coincide com um notável aumento da viscosidade. Esta zona de temperatura mais ou menos ampla, onde tem lugar esta mudança de inclinação, se conhece como intervalo de transição vítrea. Prolongando-se as partes retas de ambas as curvas do estado vítreo e do líquido supercongelado obtém-se, na intersecção destas prolongações, a chamada temperatura de transição vítrea - T_g (NAVARRO, 1991).

Esta habilidade de passar progressivamente a um estado cada vez mais fluido à medida que a temperatura aumenta é devido às energias das ligações entre os elementos constituintes dos vidros serem muito variáveis (além de existirem vários tipos de ligações nos vidros, a distância entre os átomos é variável, o que muda também a força entre eles), ao contrário do que ocorre

nos sólidos cristalinos. Aquecendo-os a determinada temperatura, praticamente todas as ligações se rompem ao mesmo tempo e o material se funde em uma temperatura específica (VOGEL, 1985). Já nos vidros, existe uma faixa de energia que deve ser fornecida para romper as ligações atômicas e daí que se deve falar em intervalo de transição vítrea.

2.1.3 Composição de vidros óxidos

As composições individuais dos vidros são muito variadas, pois pequenas alterações são feitas para proporcionar propriedades específicas, tais como índice de refração, cor, viscosidade, etc. O que é quase comum a todos os tipos de vidro é a sílica.

Uma grande porcentagem da crosta terrestre é constituída por minerais do tipo silicatos ou argilas do grupo dos aluminossilicatos (LEE, 1980). A abundância desses minerais constitui uma condição bastante favorável às indústrias do vidro, que se baseiam nas propriedades químicas dos silicatos.

Composto basicamente por areia derretida (sílica) e componentes que aumentam sua resistência mecânica e química contra esforços e intempéries, o vidro é classificado segundo a segurança, isolamento acústico, resistência e controle solar que proporciona. Outros materiais podem substituir o vidro no que se refere à transparência, mas nunca com relação à durabilidade.

Segundo Azambuja (1998) 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_2O , K_2O e Al_2O_3 . 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_2 , sendo o restante composto principalmente por Na_2O (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.

Fundentes – tem a função de baixar o alto grau de fusão da sílica. Ex.: carbonato de sódio (Na_2CO_3), carbonato de potássio (K_2CO_3) e óxido de chumbo (PbO).

Estabilizantes – dão a resistência química a fatores do meio ambiente como a umidade, o calor, a luz e gases naturais. Ex.: carbonato de bário (BaCO_3), carbonato de cálcio (CaCO_3), carbonato de magnésio (MgCO_3) e óxido de alumínio (Al_2O_3).

Afinantes – têm por função a formação, na massa vítrea em fusão, de grandes bolhas gasosas que, ao libertarem-se para a superfície, arrastam o gás retido sob a forma de minúsculas bolhas. Ex.: óxido de arsênio (As_2O_3), óxido de antimônio (Sb_2O_3) e nitrato de sódio (NaNO_2).

Descorantes – utilizado nos vidros brancos para compensarem a cor esverdeada ou amarelo-esverdeada da massa fundida, resultante das impurezas das matérias-primas naturais como o ferro, o níquel e o cobre. Ex.: óxido de manganês (Mn_2O_7) e nitrato de potássio (KNO_3).

Corantes – matérias-primas que, misturadas à composição dos vidros brancos, lhes dão a coloração desejada. Ex.: óxido de prata (Ag_2O) para obtenção de vidros amarelos; cobalto (Co) para vidros azuis; manganês (Mn) para vidros ametista; óxido de ferro (FeO) para vidros verdes. Os vidros coloridos são produzidos acrescentando-se à composição corante para atingir as diferentes cores.

A Figura 2.2 apresenta a composição percentual de vidro sílica soda-cal típico e as propriedades que cada componente confere ao material vítreo.

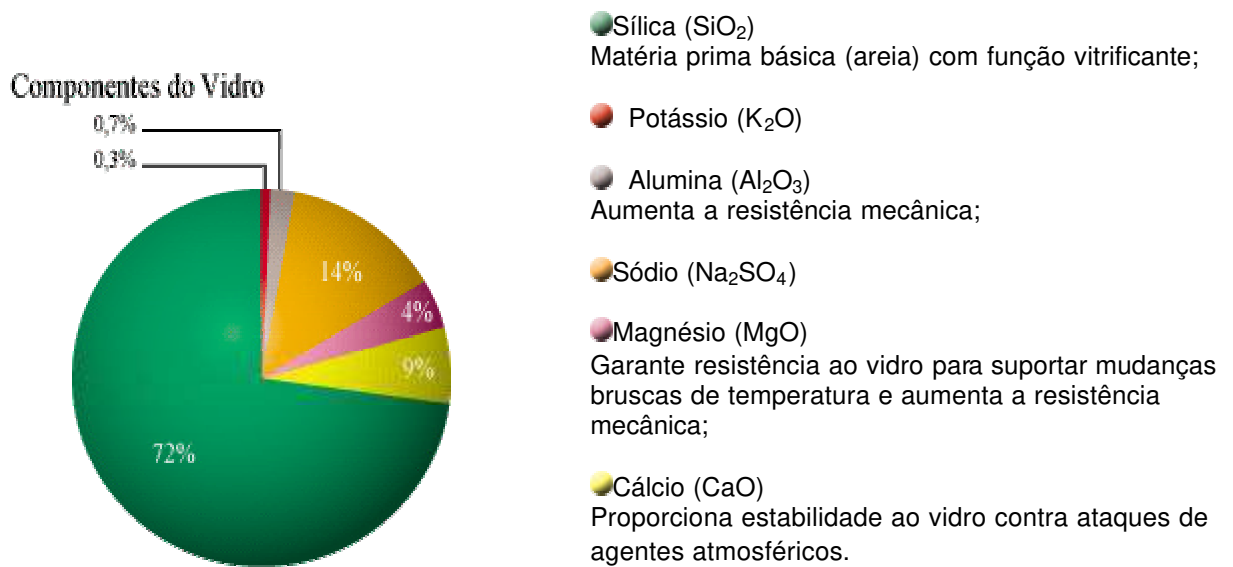


Figura 2.2 - Componentes do vidro.
Fonte: PATZA et al., (2005).

2.1.4 Classificação dos vidros

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

- **Sílica Vítre**

Este vidro pode ser preparado aquecendo-se areia de sílica ou cristais de quartzo até uma temperatura acima do ponto de fusão da sílica, 1725 °C. O vidro resultante é tão viscoso que qualquer bolha de gás formada durante o processo de fusão não se liberta, por si só, do banho.

Sílica vítrea tem um coeficiente de expansão térmica muito baixa, sendo ideal para janelas de veículos espaciais e outras aplicações aonde 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 vítrea é utilizada para produção de fibras óticas, (AKERMAN, 2006). A Figura 2.3 apresenta uma das aplicações tecnológicas do vidro.

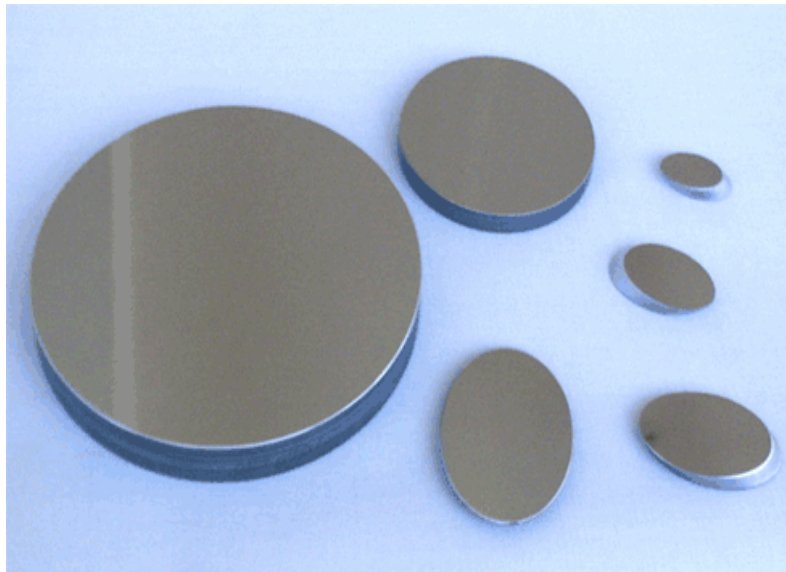


Figura 2.3 - Espelhos astronômicos principais para Telescópio F/7 aluminizado com diferentes diâmetros.

Fonte: AKERMAN (2006).

- **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.

A adição de alcalinos diminui a resistência química do vidro. Com altas concentrações de álcalis, o vidro será solúvel em água, formando a base da indústria de silicatos solúveis utilizados em adesivos, produtos de limpeza e películas protetoras, (AKERMAN, 2006).

- **Vidros sodo-cálcicos**

Para reduzir a solubilidade dos vidros de silicatos alcalinos mantendo-se a facilidade de fusão, são incluídos na composição, fluxos estabilizantes no lugar de fluxos alcalinos. 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. Vidros sodo-cálcicos foram usados pelos antigos egípcios, enquanto hoje em dia constituem a maior parte das garrafas, frascos, potes, janelas, bulbos e tubos de lâmpadas.

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 (AKERMAN, 2006). A Figura 2.4 apresenta várias embalagens produzidas com vidro de sílica-soda-cal.



Figura 2.4 - Vidros de sílica-soda-cal para embalagens.
Fonte: ALVES et al. (2001).

- **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.

Devido ao fato do óxido de chumbo ser um bom fluxo e não abaixar a resistividade elétrica, como faz os óxidos alcalinos, vidros ao chumbo são usados largamente na indústria eletro-eletrônica. Funil de tubo de televisão a

cores é um exemplo de aplicação comercial devido a essas características elétricas, assim como da propriedade de absorção dos raios X destes vidros. Vidros ao chumbo são também utilizados em ótica devido aos seus altos índices de refração (AKERMAN, 2006). A Figura 2.5 apresenta uma taça de vidro que na sua composição contém o metal chumbo.



Figura 2.5 - Jarras finas feitas a partir de óxidos de chumbo.
Fonte: LUIDARTE, (2007).

- **Vidros borossilicatos**

Em vidros silicatos com baixo teor de alcalinos a altas temperaturas, o boro mantém sua coordenação trigonal plana que diminui a coesão tridimensional da estrutura de vidros ao silicato. Devido a isso, este é frequentemente usado como fluxo em substituição aos óxidos alcalinos. Já que íons formadores de rede aumentam muito menos o coeficiente de expansão térmica do que íons modificadores de rede, o óxido de boro é frequentemente utilizado como agente fluxante em vidros comerciais, nos quais se deseja resistência do choque térmico.

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 (AKERMAN, 2006). A Figura 2.6 apresenta acessórios de vidros borossilicatos usados em laboratórios.



Figura 2.6 - Acessórios de vidros usados em laboratório.
Fonte: ALVES et al. (2001).

- **Vidros alumino-silicatos**

Quanto 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 tetravalente, 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 sodocálcicos ou à maioria dos borossilicatos (AKERMAN, 2006).

Vidros alumino-silicatos são utilizados em tubos de combustão, fibras de reforço, vidros com alta resistência química e vitro-cerâmicos (Figura 2.7).



Figura 2.7 - Prancha feita de material vitro-cerâmico.
 Fonte: AKERMAN (2006).

2.1.5 Propriedades dos vidros

Mesmo respeitando os limites impostos pela definição e focalizando somente os materiais vítreos de óxidos (vidros), observa-se uma extensa faixa de propriedades. Tal variabilidade torna os vidros extremamente atraentes, tanto do ponto de vista científico quanto do tecnológico. Possui enorme variabilidade e flexibilidade de propriedades físico-químicas, aliada a possibilidade de ainda se testar um número infinito de composições, pois esses materiais são "soluções sólidas" de estrutura desordenada que, portanto, podem aceitar monotonicamente quaisquer elementos químicos em sua estrutura. A Tabela 2.1 apresenta algumas propriedades dos vidros de óxidos.

Tabela 2.1 - Propriedades características dos vidros de óxidos

Óticas	Isotrópicos; Transparentes, opacos ou coloridos com índice de refração: 1,2 a 2,2.
Mecânicas	Duros e frágeis ($K_k < 1 \text{ MPa.m}^{1/2}$).
Elétricas	Isolantes a condutores; $\sigma(T_a) = 10^{-6}$ a $10^{-18} (\text{ohm.cm})^{-1}$
Químicas	Resistentes a ácidos até solúveis em H_2O .
Térmicas	Expansão: $0,3 \times 10^{-6}$ - $30 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$. T_g : 150 a 1.200 $^\circ\text{C}$. Metaestáveis - podem se cristalizar TM Vitro-cerâmicas
Matérias-Primas	Abundantes. Contêm principalmente O, Si, Al, Ca, Na, Mg.
Processo	Facilmente recicláveis.

Fonte: RODRIGUES e ZANOTTO (1998).

2.1.5.1 Propriedades óticas

Quando a luz passa do ar para um meio óptico mais denso como o vidro, sua velocidade é reduzida. Se o feixe de luz incide sobre a superfície do vidro não perpendicularmente, mas em outros ângulos, o feixe no vidro vai se desviar em direção à perpendicular. Para efeito de comparação de diferentes vidros, o índice de refração entre o vidro e o ar é comumente medido com luz monocromática com comprimento de onda de 598,3nm. Neste comprimento de onda, os índices de refração dos vidros ao silicato se situam entre 1,458 para sílica fundida e 2,00 para vidros ópticos muito densos (AKERMAN, 2006).

Há fatores que podem influenciar no índice de refração dos vidros, como por exemplo, a temperatura e a composição química.

- **temperatura:** quanto mais rápida for a taxa de resfriamento do vidro mais aberta será a estrutura, menor sua densidade e conseqüentemente menor será seu índice de refração.
- **composição química:** quando aumenta-se a proporção molar dos óxidos modificadores de rede, com a conseqüente criação de novos oxigênios ocorrerá também o aumento da polarização e o índice de refração (NAVARRO, 1985).

2.1.5.2 Propriedades mecânicas

O comportamento do vidro ante os distintos tipos de esforços mecânicos a que pode ser submetido durante seu uso (tração, compressão, torção, impacto) constitui em geral uma importante limitação para algumas de suas aplicações. A resistência mecânica de um material pode ser definida como a resistência que opõe a ação de forças mecânicas externas e internas (NAVARRO, 1985). A baixa resistência mecânica do vidro é decorrente de sua baixa organização estrutural, mas os cientistas descobriram novas técnicas que diminuem essa desorganização estrutural tornando os vidros mais estáveis e resistentes.

Com exceção da adição de alumina, não há muito que se possa fazer em termos de análise química para se aumentar sua resistência mecânica, pois, os fatores que determinam o estado da superfície, têm participação muito superior que as ligações entre as moléculas. Então o que se faz na prática é proteger a superfície contra fissuras decorrentes do manuseio. A têmpera, por exemplo, é a criação de tensão de compressão em toda a superfície da peça dificultando a penetração da trina e sua propagação (AKERMAN, 2006).

2.1.5.3 Propriedades elétricas

O comportamento dos vidros quando são submetidos a um campo elétrico, pode ser muito variável e depende de sua natureza, de sua composição e das condições a que são expostos. Os vidros podem apresentar desde a mais elevada rigidez dielétrica, empregada como isolantes em linhas de alta tensão, até os que apresentam propriedades semicondutoras, de grande interesse no campo da eletrônica (NAVARRO, 1985).

Quando um vidro é aquecido, por exemplo, o aumento da temperatura fará com que os íons se movam mais livremente fazendo com que a condutividade elétrica seja maior. A composição química também é muito importante pois a condutividade elétrica será maior quanto mais elevada for a mobilidade dos íons, que depende de seu tamanho e de sua carga. A condutividade elétrica também tem uma forte variação devido às condições de resfriamento a qual o vidro foi submetido. Os vidros esfriados lentamente apresentam menor condutividade se comparado a um vidro resfriado bruscamente (NAVARRO, 1985).

2.1.5.4 Propriedades químicas

Entre as principais características dos vidros destaca-se sua elevada resistência química que, com exceção de determinados tipos de composições, como a de alguns fosfatos, boratos e silicatos alcalinos, creditaram o vidro como um material insubstituível em muitas aplicações práticas. Nos vidros

binários a incorporação crescente de óxidos alcalinos produz uma progressiva abertura da rede que facilita a extração dos íons modificadores, diminuindo sua resistência química. O procedimento mais freqüente empregado para aumentar a resistência do vidro ao ataque químico é a desalcalinização de sua superfície. Outro procedimento consiste em proteger a superfície mediante recobrimento hidrófobo que pode ser obtido reagindo os grupos polares da superfície do vidro (OH^- , NH_2^- , etc.) com moléculas orgânicas (NAVARRO, 1985).

2.1.5.5 Propriedades térmicas

Os vidros em geral são mal condutores de calor, pois os elétrons mais externos de seus átomos estão firmemente ligados. Se, por exemplo, se aquece um dos lados de uma vidraça, a face do vidro deste lado esquenta, porém o calor leva certo tempo até atravessar a espessura e aquecer a outra face, pois o vidro oferece resistência à passagem de calor (AKERMAN, 2006).

As variações de composição exercem certa influência sobre os valores da condutividade térmica nos vidros. Como a condutividade depende das vibrações térmicas dos constituintes reticulares, seu valor será maior quanto maior forem suas ligações químicas. Por isso, a condutividade diminui ao relaxar a rede, ou pela substituição de íons formadores por outra de menos intensidade de campo ou pela introdução de íons modificadores, (NAVARRO, 1985).

Sintetizando, as principais características do vidro são: transparência (permeável à luz), dureza, ótimo isolador dielétrico, não absorvência e durabilidade, baixa condutividade térmica, recursos abundantes na natureza e reciclabilidade.

2.2 Reciclagem de vidros

Há um estudo realizado por Reindl denominado "Reuse/recycling of glass cullet for non-container uses" em que são tratadas mais de sessenta formas de reciclagem de vidro. Pesquisas recentes sobre o tema apontam várias alternativas tecnológicas para reciclagem do resíduo vítreo.

No Brasil várias pesquisas de Castro (2001), Gomes (2001), Bragança (2002), e Morelli (2003), têm sido realizadas com resultados satisfatórios, visando à utilização e reciclagem do resíduo vítreo em diferentes aplicações.

A Recicloteca (2005) diz que 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. Para tanto se deve fazer a escolha adequada do vidro em função das necessidades do projeto. Existe no mercado um variado leque de opções com características técnicas específicas para cada uso.

Resumindo o vidro é um material que apresenta excelentes qualidades, tais como:

- **Transparência e Elegância** - o consumidor visualiza o que pretende comprar. Os produtos ganham uma imagem nobre, sofisticada e confiável.
- **Inércia** - o vidro não reage quimicamente. Por ser neutro, o produto não sofre alteração de sabor, odor, cor ou qualidade.
- **Praticidade** - após o uso, o produto pode ser novamente fechado, caso não seja consumido em sua totalidade.
- **Dinâmico** - devido às suas propriedades permite uma possibilidade enorme de combinações na transformação do vidro original, o que

garante a possibilidade de renovação constante do design das embalagens.

- **Higiênico** - o vidro é fabricado com elementos naturais, protegendo os produtos durante mais tempo e dispensando a utilização de conservantes adicionais, atendendo a todos os requisitos exigidos para o acondicionamento de líquidos e alimentos para o consumo humano.
- **Impermeável** - por não ser poroso, funciona como uma barreira contra qualquer agente exterior, mantendo assim os produtos mais frescos, aumentando o tempo de vida em relação a outros tipos de embalagens.
- **Resistência térmica** - mudanças bruscas de temperatura, cargas verticais e umidade não é problema para as embalagens de vidro o mesmo pode ser utilizado diretamente no forno de microondas e a vantagem adicional de poder ser levado diretamente à mesa sem necessidade de transferência para outros recipientes.
- **Versátil** - formas, cores e tamanhos são detalhes que fazem diferença no ponto de venda.
- **Reutilizável** - embalagens vazias de vidro podem ser utilizadas para armazenar qualquer outro alimento ou mesmo objetos.
- **Retornável** - embalagens de vidro podem ser reaproveitadas diversas vezes, como é o caso, por exemplo, das garrafas de cerveja e refrigerantes.
- **Reciclável** - o vidro pode ser reciclado infinitamente, sem perda de qualidade ou pureza do produto. Uma garrafa de vidro gera outra exatamente igual, independente do número de vezes que o caco de vidro vai ao forno para ser reciclado.

2.3 Contaminação em resíduos vítreos

A contaminação de resíduos vítreos por microrganismos patogênicos é um assunto desconhecido ou pelo menos ainda não estudado por pesquisadores. Estes se limitam às pesquisas de contaminações por patógenos em resíduos sólidos orgânicos e produtos alimentícios.

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 (2000), 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.

2.3.1 Características biológicas

Em relação aos aspectos biológicos, os resíduos orgânicos podem ser metabolizados por vários microrganismos decompositores, como fungos e bactérias aeróbias e/ou anaeróbias, cujo desenvolvimento dependerá das condições ambientais existentes. Além desses microrganismos, os resíduos sólidos podem apresentar microrganismos patogênicos, encontrados em dejetos humanos ou de animais domésticos, ou em certos tipos de resíduos de serviço de saúde (ZANTA & FERREIRA, 2003).

Diversos autores relatam à presença de organismos potencialmente infecciosos nos resíduos sólidos. Tais substâncias incorporam-se à massa dos resíduos domiciliares por meio de lenços de papel, papel higiênico, absorventes higiênicos, camisinhas, curativos, seringas (FERREIRA, 2000).

Segundo Zanon (1991) *apud* Belei e Paiva (1998) os microrganismos encontrados nos resíduos sólidos em geral, originam-se dos seres humanos,

dos animais e vegetais em decomposição e do solo. A maioria são saprófitas do solo e patógenos oportunistas que constituem a microbiota normal do homem e dos animais, como coliformes (*Escherichia coli*, *Klebsiella sp*, *Enterobacter sp*), *Proteus sp*, *Staphylococcus sp*, *Streptococcus fecalis*, *Pseudomonas sp*, *Bacillus sp*, e *Candida sp*. Esses patógenos oportunistas tanto podem ser encontrados nos resíduos hospitalares quanto nos domiciliares. Zanon (1991) *apud* Belei e Paiva (1998) cita o estudo de Kalnonsky no qual se verificou experimentalmente que os resíduos domiciliares não apresentavam diferenças qualitativas do hospitalar, quando analisada sua carga microbiana; porém, os resíduos domiciliares apresentavam contaminação bacteriana entre 10 e 100.000 vezes maior do que os hospitalares.

Segundo Arceivala (1981), a faixa de concentração de bactérias coliformes fecais em esgotos domésticos brutos varia de 10^5 a 10^8 UFC/100mL. Pesquisas realizadas por Rocha (1987) e Branco (1979) estimam que cada indivíduo elimine em média de 10^{10} a 10^{11} células por dia e que entre 20% a 33% do peso das fezes humanas é constituído por bactérias do grupo coliforme. As médias geométricas das concentrações de coliformes fecais do esgoto bruto estiveram próximas e até superiores às mencionadas em referências.

Para os efeitos da Portaria da Água N°36 (1990) são adotadas as seguintes definições para:

4.1 - Água Potável: aquela com qualidade adequada ao consumo humano;

4.2 - Grupo Coliformes: todos os bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não formadores de esporos, oxidase-negativos, capazes de crescer na presença de sais biliares ou outros compostos ativos na superfície (surfactantes) com propriedades similares de inibição de crescimento e que fermentam a lactose com produção de aldeído, ácido e gás a 35° C (trinta e cinco graus Celsius), em 24 - 48 (vinte e quatro - quarenta e oito) horas. Quanto às técnicas de detecção, consideram-se do Grupo Coliformes aqueles organismos que na técnica dos tubos múltiplos (ensaios presuntivo e confirmatório) fermentam a lactose, com produção de gás, a 35° C (trinta e cinco graus Celsius), no caso da técnica da membrana filtrante, aqueles que produzem colônias escuras, com brilho metálico, a 35° C (trinta e cinco graus Celsius), em meios de cultura do tipo Endo, no prazo máximo de 24 (vinte e quatro horas).

4.3 - Coliformes Fecais são as bactérias do grupo coliformes que apresentam as características do grupo, porém a temperatura de incubação da 44,5° C (quarenta e quatro e meio graus Celsius), mais ou menos 0,2 (dois décimos) por 24 (vinte e quatro) horas.

O Ministério da Saúde é quem estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano, e seu padrão de potabilidade.

2.3.2 Microrganismos indicadores de contaminação fecal ou higiênico-sanitária.

Microrganismos indicadores de contaminação fecal são grupos ou espécies de microrganismos que, quando presentes em águas ou em alimentos, fornecem informações sobre a ocorrência de contaminação de origem fecal e sobre a provável presença de patógenos que venham a contaminar essa água ou alimento.

2.3.2.1 Coliformes totais

Este grupo é composto por bactérias da família *Enterobacteriaceae*, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, quando incubados a 35-37°C, por 48 horas. São bacilos gram-negativos móveis ou imóveis e não formadores de esporos (CEBALLOS, 2000).

Fazem parte deste grupo predominantemente bactérias pertencentes aos gêneros *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella*. Destes, apenas *Escherichia coli* tem como hábitat primário o trato intestinal do homem e animais de sangue quente. Os demais - *Enterobacter*, *Citrobacter* e *Klebsiella* – além de serem encontrados nas fezes, também estão presentes no ambiente e em vegetais e solo. Conseqüentemente, a presença de coliformes totais em hortaliças não indica, necessariamente, contaminação fecal ou ocorrência de enteropatógenos, devido a sua ampla distribuição e sua capacidade de se multiplicar nesses locais. Atualmente, os coliformes totais são usados para indicarem falhas no tratamento de água ou contaminação genérica nas redes de distribuição e não de contaminação fecal.

2.3.2.2. Coliformes termotolerantes e escherichia coli

Os padrões bacteriológicos internacionais de água potável, de classificação de água segundo seus usos e das águas residuárias tratadas que serão descartadas no meio ambiente se baseiam na concentração de coliformes fecais, que são denominados atualmente de termo tolerantes.

As bactérias pertencentes a este grupo correspondem a um subgrupo dos coliformes totais, que apresentam a capacidade de continuar fermentar lactose com produção de gás, quando incubadas à temperatura de 44 a 45,5°C. Nessas condições, quando são de origem fecal, ao redor de 90% das culturas de *Escherichia Coli* (*E. coli*) são positivas, enquanto entre os demais gêneros, apenas algumas cepas de *Enterobacter* e *Klebsiella* mantêm essa característica (APHA, 1998).

A pesquisa de coliformes termotolerante e de *E. coli* nos alimentos fornece, com maior segurança, informações sobre condições sanitárias do produto e melhor indicação da eventual presença de enterotógenos (FRANCO e LANDGRAFT, 1996).

Por definições, os coliformes termotolerantes não são *patogênicos*, embora haja algumas variedades de *E. coli* dos outros coliformes é a sua capacidade de produzir a enzima β -glucoronidasa, que cliva o β -glucoronido-4-metil umbeliferona (MUG), liberando o 4-metil-umbeliferona, que apresenta fluorescência azul intensa quando exposta a luz de Ultra Violeta, com comprimento de onda 365nm. É a única bactéria que satisfaz todas as condições que devem apresentar um indicador de contaminação fecal, uma vez que demais indicadores de contaminação fecal são encontrados naturalmente nesse tipo de alimento (CEBALLOS, 2000).

2.3.3 Exames bacteriológicos da água

O papel da água na transmissão de determinadas doenças infecciosas é fato bastante conhecido. Portanto, uma avaliação de potabilidade da água deve passar, necessariamente, pelo parâmetro bacteriológico. A análise bacteriológica da água tem por finalidade verificar sua qualidade sanitária e

quando feita isoladamente, não garante sua potabilidade. A classificação precisa da qualidade de uma água só é válida quando os exames físico-químicos são interpretados com os dados das características bacteriológicas.

Apesar de conhecer bem cada um dos microrganismos responsáveis pelas doenças infecto-parasitárias, sua identificação e quantificação em águas de abastecimento são impraticáveis. Além das técnicas laboratoriais serem trabalhosas, estes microrganismos patogênicos, quando presentes em águas de abastecimento, ocorrem em número reduzido, sendo necessário pesquisar grandes volumes de água (PELCZAR, 1996).

Essas dificuldades foram solucionadas com a descoberta de microrganismos indicadores. Isto é possível porque, no caso das doenças como cólera, diarreias e outras que são de nosso interesse por serem as únicas a necessitarem de medidas de desinfecção, os microrganismos patogênicos são eliminados pelas fezes do indivíduo doente. Como o intestino humano é habitado por vários outros microrganismos não patogênicos e que existem em maior número, decidiu-se pesquisar a presença destes em águas de abastecimento.

Entre os vários gêneros e espécies de microrganismos não patogênicos presentes no intestino humano, aqueles conhecidos como Grupo Coliforme, passaram a ser denominados indicadores da presença de microrganismos patogênicos em águas de abastecimento. As principais razões desta escolha são as seguintes:

- Aparecerem em grande quantidade nas fezes humanas. Cada indivíduo pode eliminar até 100 bilhões deles num único dia. Graças a isto, a possibilidade de serem encontrados na água é muito grande.
- São encontrados apenas nas fezes de animais de sangue quente ou homeotermos, classe que inclui o homem e todos os mamíferos. Essa característica é importante, pois uma vez identificada sua presença, pode-se afirmar que a água teve contato com excretas destes animais.

Do ponto de vista da resistência às condições ambientais (temperatura e outros agentes desinfetantes), são muito semelhantes aos microrganismos patogênicos intestinais. Trata-se de característica importante, pois se fossem

mais suscetíveis (sobrevivessem menos tempo que os patogênicos), não poderiam ser identificados e, portanto, não poderiam ser indicadores. Se fossem menos suscetíveis (sobrevivessem por mais tempo), poderiam aparecer em águas já livres de patogênicos.

2.3.4 Identificação e quantificação de microrganismos - a contagem padrão em placas

Um dos métodos utilizados para análises microbiológicas é a Contagem Padrão em Placas (CPP). Este é um método de medida quantitativa direta de bactérias aeróbias e anaeróbias facultativas viáveis presentes nas amostras, capazes de crescer no meio de cultura selecionado (STANDARD METHODS, 1995). O princípio do método se baseia na teoria de que cada colônia que se desenvolver no meio de cultura é originária de uma única célula bacteriana, ou seja, cada bactéria presente na amostra se multiplicará, dando origem a uma colônia visível e isolada.

O número e os tipos de bactérias que se desenvolvem são influenciadas pelo tempo, temperatura de incubação, pH do meio, o nível de oxigênio, a presença de nutrientes específicos no meio de crescimento, competição entre células por nutrientes, predação, entre outros fatores.

Além disto, existem bactérias que possuem arranjo de células como é o caso de cocos (diplococos, tetracos, estreptococos, estafilococos e sarcinas) e bacilos (paliçada, roseta e cadeia).

A relação correta é feita entre o número de colônias e o número de unidades formadoras de colônias (UFC), que pode ser tanto células individuais como agrupamentos característicos de certos microorganismos.

A Figura 2.8 apresenta placas de Petry que ilustram o crescimento (concentração) de unidades formadoras de colônias (UFC) de bactérias.

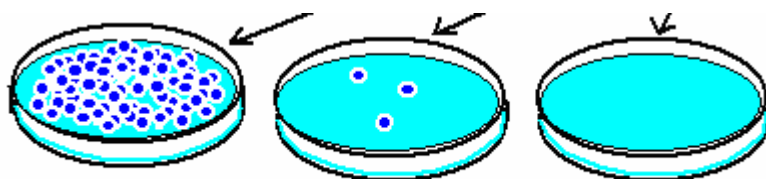


Figura 2.8 - Método das diluições para determinação da concentração de UFC.

Fonte: Direta, (2007).

A contagem padrão em placas tem sido usada como indicador da qualidade higiênica de águas e alimentos, fornecendo idéia também sobre o tempo útil de conservação destes últimos. A precisão do método pode ser limitada pela incapacidade de alguns microorganismos formarem colônias visíveis no meio e condições utilizadas, como também pela presença de substâncias inibidoras produzidas por microorganismos durante o crescimento no meio de cultura (STANDARD METHODS, 1995).

2.4 Características das sucatas e do lixão de Campina Grande - PB

Atualmente a cidade de Campina Grande tem aproximadamente 40 sucatas e apenas 10,00% comercializam o resíduo vítreo (caco), que é proveniente da quebra de peças inteiras, as quais têm como destino a retornabilidade. Já os catadores do lixão catam exclusivamente peças inteiras e apenas 2,00% 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 2.9). A composição média dos resíduos sólidos domiciliares de

Campina Grande - PB está apresentada na Tabela 2.2. Os metais e os vidros apresentam os menores percentuais, 5,00% e 1,83%, respectivamente.

Tabela 2.2 - 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: OLIVEIRA (2007).



Figura 2.9 – Visão panorâmica do lixão a céu aberto da cidade de Campina Grande/PB.

Fonte: DIRETA (2007)

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

domiciliares, o que representa uma produção per capita de 0,68 kg/hab./dia da população urbana (OLIVEIRA, 2007).

O município de Campina Grande - PB, não apresenta nenhum tipo de gerenciamento de resíduos sólidos, apontando para a existência de problemas que são comuns entre os sucateiros e catadores, no que se refere aos resíduos vítreos produzidos e comercializados por esta população. Estes resíduos, além de não passar por nenhum tipo de beneficiamento, também não é reciclado. 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.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este item descreve a metodologia usada para realização de todo o processo de coleta das amostras de resíduos vítreos, do beneficiamento das amostras e técnicas de caracterização aplicadas. A Figura 3.1 apresenta o fluxograma do processo de desenvolvimento da pesquisa.

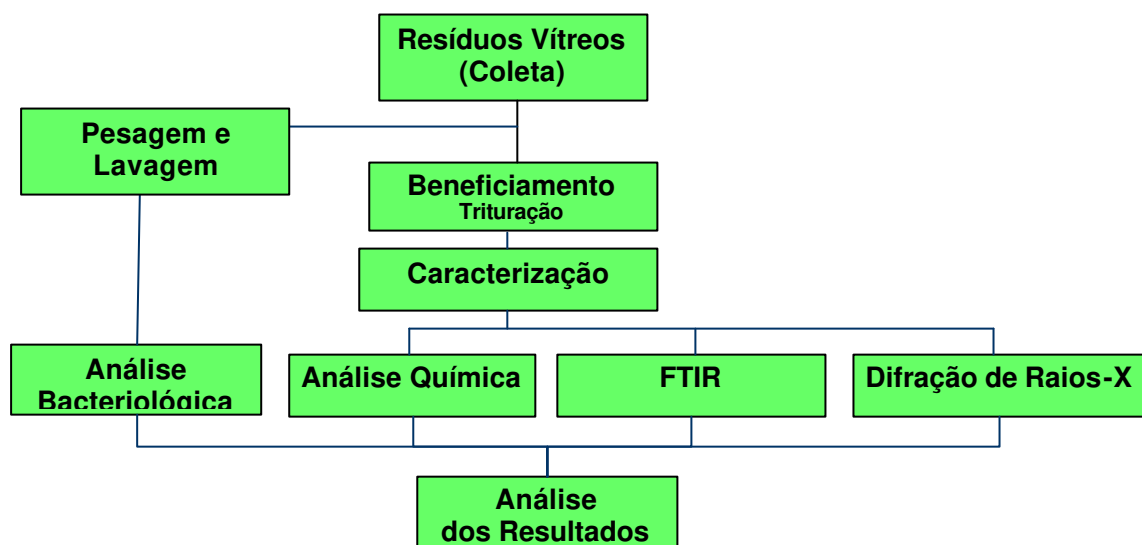


Figura 3.1 - Fluxograma do processo de desenvolvimento da pesquisa.

3.1 Material

O material utilizado neste trabalho consiste de 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, 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 3.1 e 3.2.

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

Tabela 3.1 - Identificação das amostras coletadas no período de chuvas em Campina Grande/PB.

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

Tabela 3.2 - Identificação das amostras coletadas no período de estiagem em Campina Grande/PB.

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

3.2 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.

3.2.1 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. Na Figura 3.2 apresenta-se uma ilustração dos resíduos vítreos distribuídos nos beckers para a realização do processo de lavagem. Após a transferência dos resíduos vítreos para os beckers, 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 (APHA, 1998). A Figura 3.3 apresenta a lavagem dos resíduos vítreos.

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.



Figura 3.2 - Béqueres para lavagem dos resíduos vítreos.
Fonte: Direta, (2006).



Figura 3.3 - Lavagem dos resíduos vítreos.
Fonte: Direta, (2006).

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 (APHA, 1998). No caso específico deste trabalho foi realizada apenas a quantificação de coliformes termotolerantes (fecais).

3. 2.1.1 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 (0,45um) de diâmetro. Na Figura 3.4 apresenta-se os equipamentos e reagentes utilizados. 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 °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.

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



Figura 3.4 - Sistema de filtração pelo Método da Membrana Filtrante.
Fonte: Direta, (2006).

3.2.2 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 3.5 (a), (b),(c), (d) e 3.6.

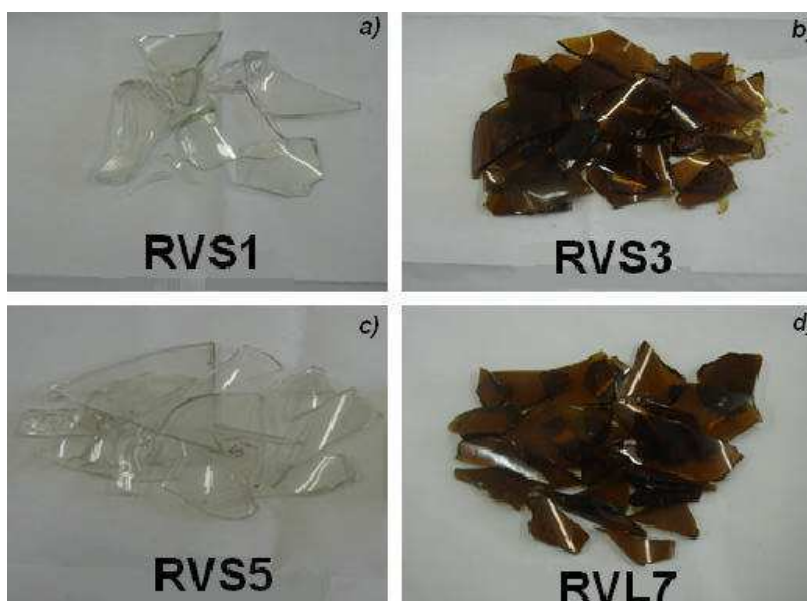


Figura 3.5 - Amostras RVS1(a); RVS3(b); RVS5(c) e RVL7(d) provenientes das sucatas e do lixão após lavagem.
Fonte Direta, (2006).



Figura 3.6 - Amostras trituradas, prontas para caracterização.
Fonte: Direta, (2006).

3.2.2.1 Análise química

É uma técnica que permite determinar quais os óxidos presentes nas amostras, bem como sua percentagem. Nesta análise foi determinada a presença dos seguintes óxidos: SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O e Fe_2O_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.

3.2.2.2 Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho (FTIR)

É uma das técnicas mais importantes para análise de materiais. 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. A Figura 3.7 apresenta uma pastilha de resíduo vítreo. Neste experimento foi utilizado um espectrofotômetro com AVATAR TM 360 ESP Nicolet, Figura 3.8, na região compreendida entre 4000 e 400 cm^{-1} , com resolução de 2 cm^{-1} . Este equipamento irradia um feixe monocromático de radiação infra-vermelho provocando vibrações entre os átomos que compõe as moléculas. Por comparação sabem-se quais moléculas estão vibrando mais intensamente que outras. Essa análise foi realizada no Laboratório de Caracterização de Materiais "Maria Cláudia Silva" da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais - UAEMA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.



Figura 3.7 - Pastilha feita a partir do resíduo vítreo com KBr.
Fonte: Direta, (2006).



Figura 3.8 - Equipamento Avatar - 380 FT-IR.
Fonte: Direta, (2006).

3.2.2.3 Difração de raios-X (DRX)

Esta técnica tem a finalidade de obter informações sobre estruturas cristalinas do material, sendo possível observar informações detalhadas sobre dimensões de partículas, presença de defeitos e orientação da rede cristalina.

Determinação dos parâmetros cristalográficos (parâmetros de rede e volume de célula unitária) dos catalisadores.

O método de DRX é descrito pela relação entre a radiação utilizada com comprimento de onda λ e o material composto de átomos com distribuição própria, cujos planos cristalinos com distância d funcionam como rede de difração produzindo máximos de interferência de ordem n para os ângulos θ que satisfaçam a Lei de Bragg (SAAVEDRA, 1995) Equação 2.

$$n\lambda = 2d \cdot \sin(\theta) \quad (2)$$

Onde:

λ = comprimento de onda.

d = distância entre os planos cristalinos.

θ = ângulo de Bragg.

$n = 1$

Essa relação considera apenas a distância interplanar entre planos da família (hkl) que fazem ângulo θ com o feixe incidente e que é igual à do feixe espalhado.

Esta equação é utilizada para calcular a distância interlamelar basal (d). Com esta técnica faz-se a identificação das espécies cristalinas através da comparação sistemática da posição e intensidade de todos os picos de difração do difratograma da espécie desconhecida com os do difratograma padrão.

A análise de difração de raios-X foi realizada em um equipamento Shimadzu XDR-6000 utilizando radiação de $\text{Cu } K\alpha$, tensão de 40 kV, corrente de 30 A e varredura de $2^\circ < 2\theta < 80^\circ$ (Figura 3.9). Essa análise foi realizada no Laboratório de Caracterização de Engenharia de Materiais da UAEMA da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG.



Figura 3.9 - Equipamento Shimadzu XDR - 6000.
Fonte: Direta, (2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este item apresenta os resultados das caracterizações realizadas através das técnicas: análise bacteriológica, análise química, espectroscopia de absorção na região do infravermelho e difração de raios-X dos resíduos vítreos provenientes de sucatas e do lixão da zona urbana da cidade de Campina Grande-PB.

4.1 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 4.1 e 4.2 apresenta-se a cor do vidro coletado e alguns dos parâmetros adotados para caracterização.

Tabela 4.1 - 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
RVL7	154,7	Âmbar	Lixão 7

Tabela 4.2 - Características das amostras coletadas (estiagem).

Amostra	Peso(g)	Cor	Procedência
RVS 8	70,8	Branca	Sucata 1
RVS 9	137,7	Branca	Sucata 2
RVS 10	100,8	Verde	Sucata 3
RVS 11	141,7	Azul	Sucata 4
RVS 12	65,3	Branca	Sucata 5
RVS 13	130,6	Branca	Sucata 6
RVL 14	170,8	Âmbar	Lixão 7

Através das Tabelas 4.1 e 4.2 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. Para que fosse possível uma padronização mais aproximada do peso de vidro tomado para o processo de lavagem, seria necessária a alteração do estado físico das amostras, o que poderia alterar o processo de quantificação da contaminação fecal. Porém, mesmo trabalhando-se com diferentes pesos de amostras, foi possível realizar a caracterização da contaminação fecal nos resíduos, tendo em vista que o ajuste executado no método foi favorável para a maioria das amostras estudadas.

O valor quantitativo de cada amostra tomada para realização da análise, propicia somente a realização de interpretação pontual, tendo em vista que cada amostra foi coletada em pontos diferentes e apresentam características físicas, químicas e microbiológicas também diferentes.

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 4.3 e 4.4 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 4.3 - Quantificação da análise bacteriológica no período de chuvas.

Amostra	UFC/mL	Cor
RVS1	0,0	Branca
RVS2	1,0. 10 ³	Branca
RVS3	<1,0. 10 ⁴	Âmbar
RVS4	< 1,0. 10 ⁴	Branca
RVS5	1,0. 10 ³	Branca
RVS6	1,0. 10 ³	Branca
RVL7	1,0. 10 ⁴	Âmbar

Tabela 4.4 - Quantificação da análise bacteriológica no período de estiagem.

Amostra	UFC/mL	Cor
RVS 8	1,0. 10 ³	Branca
RVS 9	1,0. 10 ³	Branca
RVS 10	3,0. 10 ³	Verde
RVS 11	2,0. 10 ³	Azul
RVS 12	9,5. 10 ⁴	Branca
RVS 13	1,4. 10 ⁴	Branca
RVL 14	2,0. 10 ³	Âmbar

Na Tabela 4.3 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. 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 carreado os microrganismos responsáveis pela contaminação fecal.

Nas amostras RVS3 e RVS4 a concentração de coliformes termotolerantes superou os limites adotados pelo método ($<1,0. 10^4$), não sendo possível realizar com precisão a contagem do número de colônias formadas. No geral, como não se tinha conhecimento indicativo da concentração do material submetido à análise, o ideal seria trabalhar com vários fatores de diluição. O limitante em casos desta natureza é o custo associado à análise, chegando muitas vezes a ser inviabilizado por falta de recursos.

As amostras RVS2, RVS5, RVS6, RVS8, RVS9, RVS10, RVS11 e RVL 14 apresentam índices indicativos de contaminação de 10^3 UFC, 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 ($<1,0. 10^4$), 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).

Os resíduos vítreos coloridos (âmbar, verde e azul) apresentaram contaminações em Unidade Formadora de Colônias de Bactérias (UFC), similares às amostras incolores (branca), o que pode evidenciar que, a proliferação de bactérias independe da coloração das amostras, visto que a contaminação está limitada apenas à superfície do resíduo vítreo.

4.2 Análise química

A Tabela 4.5 apresenta os resultados em percentagem da composição química das 7 (sete) amostras de resíduos vítreos analisados, no período de chuvas.

Notou-se que os valores de SiO_2 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_2O_3 de 1,7% (RVL7) até 6,2% (RVS5). Os valores de Na_2O ficaram entre 9,2% (RVS4) e 11,7% (RVS1) e os do K_2O 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_2O_3 que proporcionam essa coloração ao vidro.

Como os percentuais de sílica, sódio e cálcio encontram-se dentro da composição química de vidros de sílica-soda-cal, pode-se dizer que os resíduos vítreos analisados são desse tipo de vidro (SILVA, et al. 2006).

Tabela 4.5 - Composição química dos resíduos vítreos em percentagem(%).

Amostra	SiO_2	CaO	MgO	Al_2O_3	Na_2O	K_2O	Fe_2O_3
RVS1	67,3	9,8	Traços	4,7	11,7	0,4	-
RVS2	69,5	8,4	Traços	5,3	10,3	0,1	-
RVS3	60,4	6,2	1,0	3,1	11,1	0,5	0,3
RVS4	67,7	7,8	1,2	4,5	9,2	0,7	-
RVS5	70,5	8,1	0,6	6,2	10,9	0,9	-
RVS6	68,0	6,4	3,2	2,7	11,1	0,4	-
RVL7	70,2	7,0	0,8	1,7	11,1	0,5	0,3

4.3 Espectroscopia vibracional de absorção na região do infravermelho (IR)

O objetivo da espectroscopia de absorção no infravermelho é a determinação dos grupos funcionais presentes num dado material. Cada grupo absorve em frequência característica de radiação na região do infravermelho (HELLAM, 1973). A Figura 4.1 apresenta os espectros vibracionais de absorção no IR das amostras de resíduos vítreos analisados.

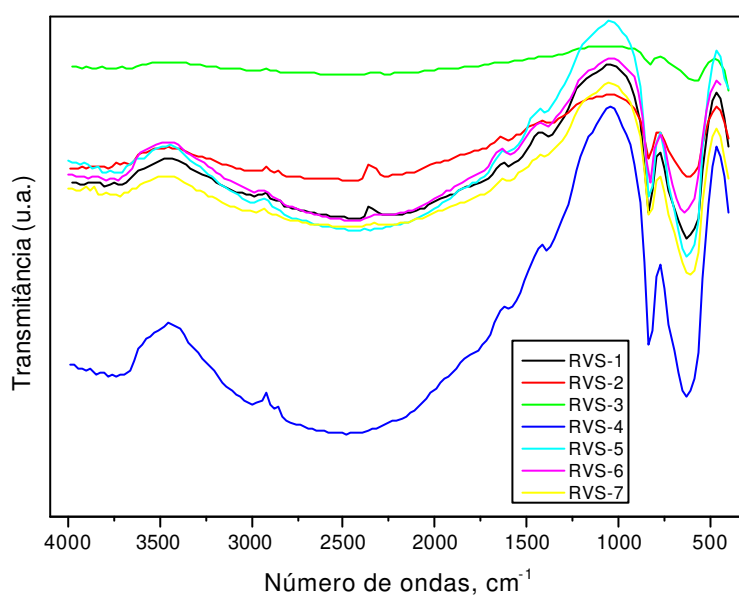


Figura 4.1 - Espectros vibracionais na região do infravermelho das amostras RVS1, RVS2, RVS3, RSV4, RVS5, RVS6 e RVL7.

Os espectros vibracionais de absorção na região do infravermelho de cada uma das amostras RVS1, RVS2, RVS3, RSV4, RVS5, RVS6 e RVL7 estão apresentados nas Figuras 4.2 a 4.8, de onde foram retirados os valores das bandas de absorção apresentados na Tabela 4.6.

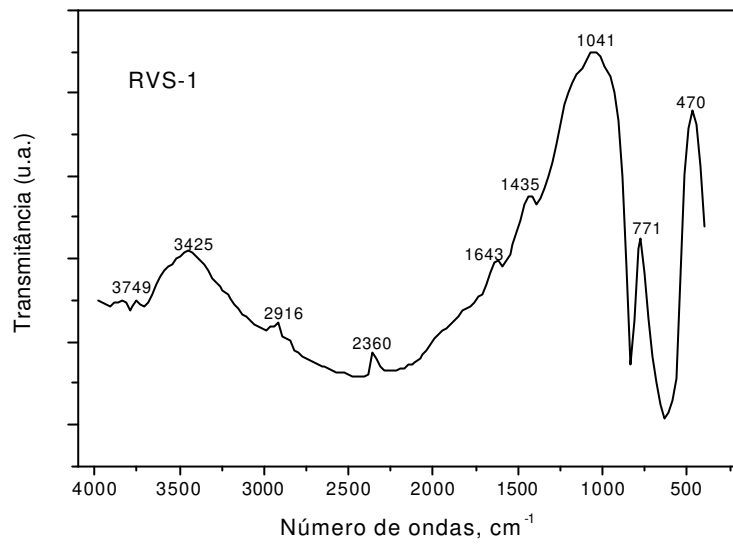


Figura 4.2 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS1.

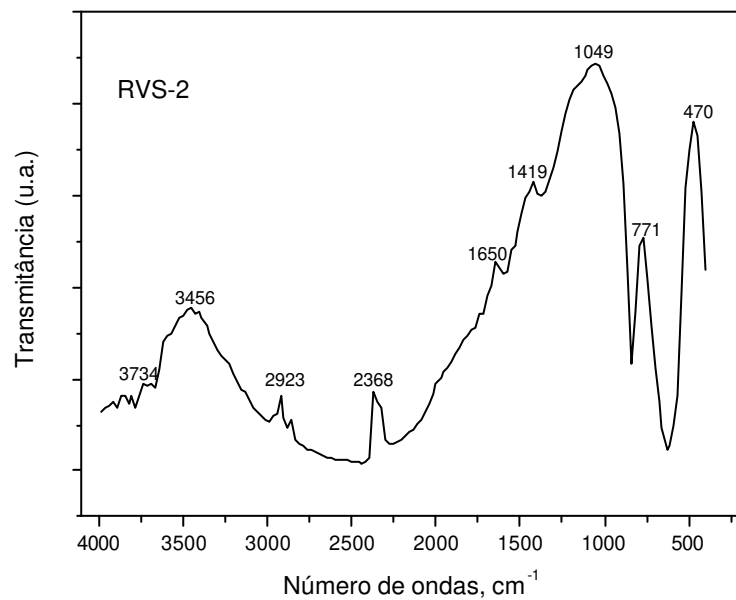


Figura 4.3 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS2.

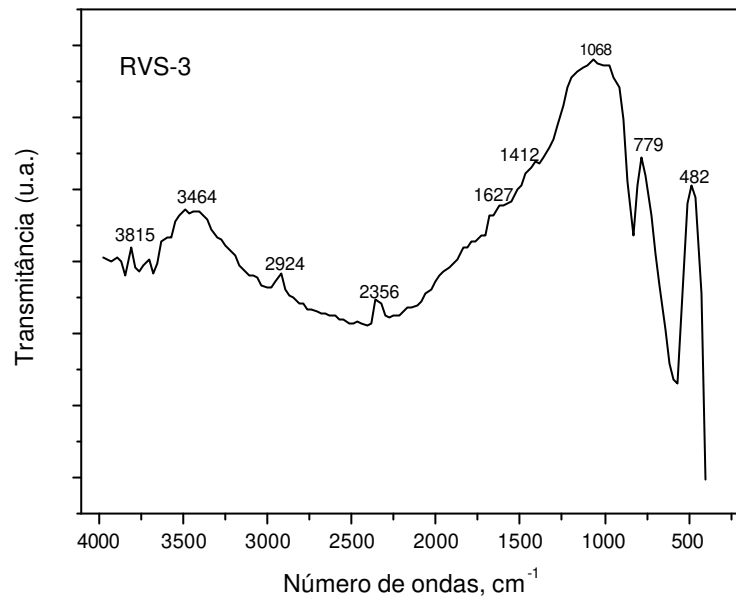


Figura 4.4 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS3.

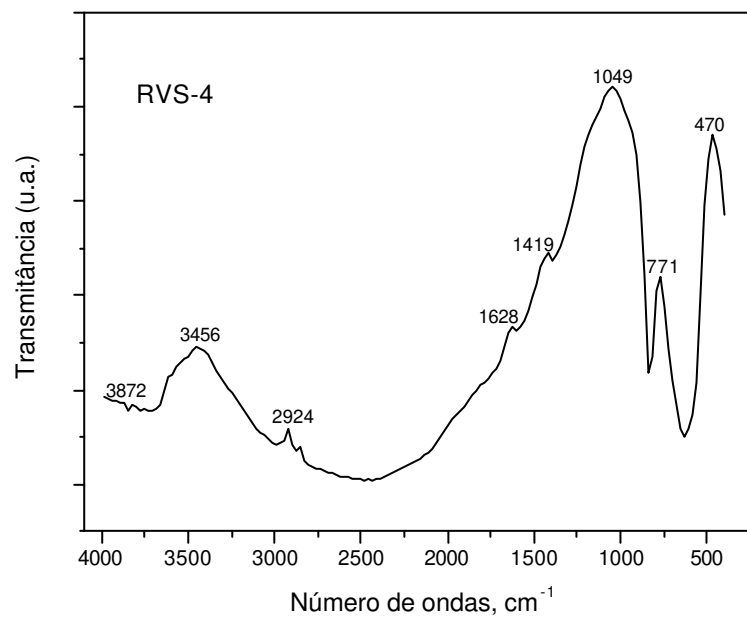


Figura 4.5 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS4.

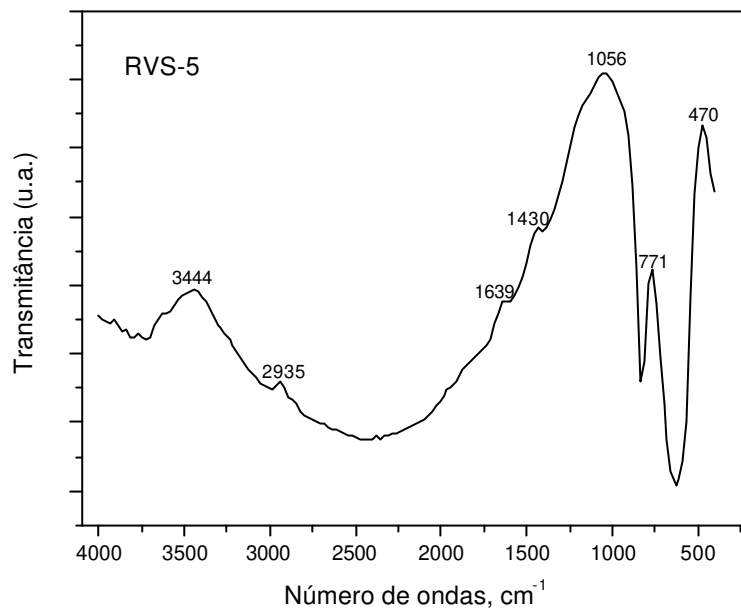


Figura 4.6 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS5.

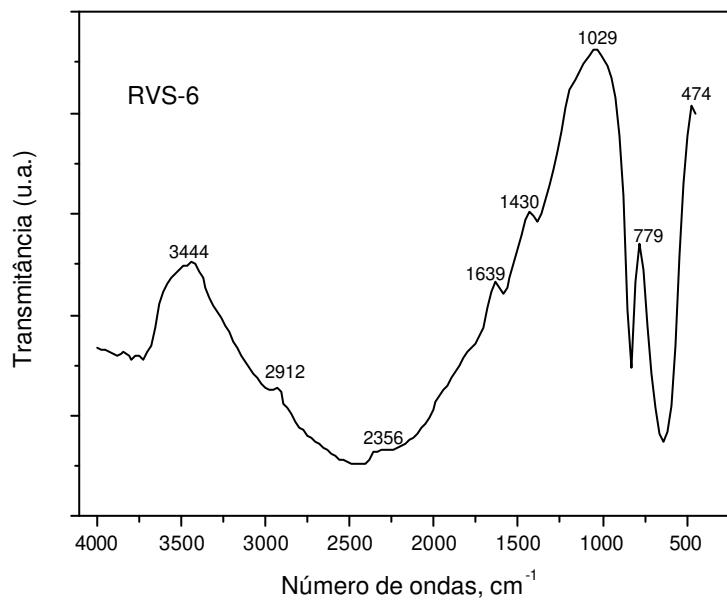


Figura 4.7 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVS6.

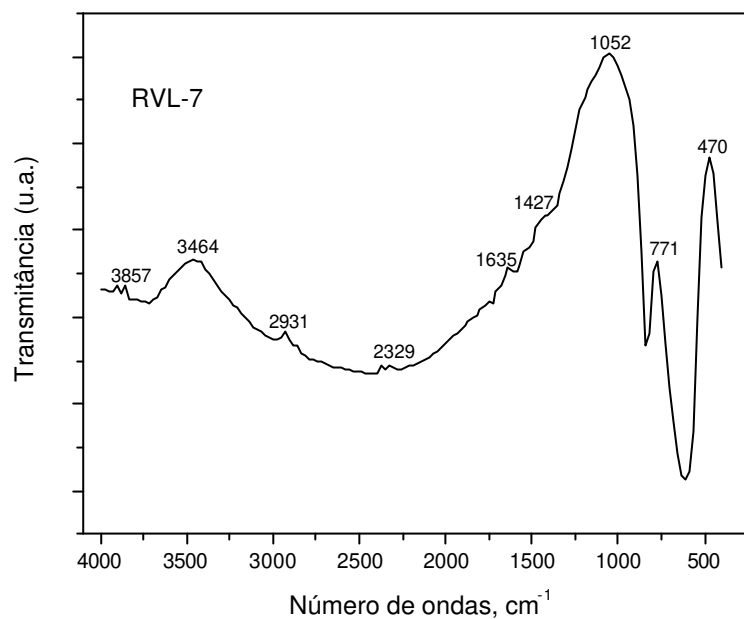


Figura 4.8 - Espectros vibracionais na região do infravermelho da amostra RVL7.

Tabela 4.6 - Principais bandas de absorção no infravermelho das amostras de resíduos vítreos.

Amostras	Atribuições (cm ⁻¹)			
	$\nu(\text{Al-OH})$	$\delta(\text{Si-O-H})$	$\delta(\text{Si-O})$	$\nu(\text{Al-O})$
RVS1	3425	2916(m)	1041	771(F)
RVS2	3456	2923(F)	1049	771(F)
RVS3	3464	2924(F)	1068	779(F)
RVS4	3456	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)

F(forte); f(fraco); m(médio).

Pode-se observar na Tabela 4.6 que todas as amostras apresentaram uma banda de absorção entre 3200 - 3470 cm⁻¹, características de vibrações de deformação (ν) relativas ao grupo Alanol (Al - OH) (ORTIZ, et al. 1985). A amostra RVS1 apresentou valor mínimo de 3425 cm⁻¹, já para as amostras RVS3 e RVL7 o valor máximo foi de 3464 cm⁻¹.

As amostras apresentaram um pico entre $2850 - 2950 \text{ cm}^{-1}$ referente a vibrações de estiramento (δ) do Si–O–H (ZEGLINSKI, et al. 1984). A amostra RVS6 apresentou valor mínimo de 2912 cm^{-1} , enquanto o valor máximo de 2935 cm^{-1} foi apresentado pela amostra RVS5. Com exceção da amostra RVS6 que apresentou uma banda de absorção de 1029 cm^{-1} , todas as demais amostras apresentaram uma banda em torno de 1060 cm^{-1} proveniente da absorção de vibrações de estiramento (δ), Si – O. Na faixa de $400 - 1000 \text{ cm}^{-1}$ todas as amostras apresentaram picos, umas até apresentaram dois bem evidentes de 779 cm^{-1} (RVS3 e RVS6) que são atribuídos à vibrações de deformação ou flexão (ν) do óxido de alumínio (ORTIZ, et al. 1985).

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 4.9 apresenta todos os difratogramas das amostras RVS1, RVS2, RVS3, RSV4, RVS5, RVS6 e RVL7.

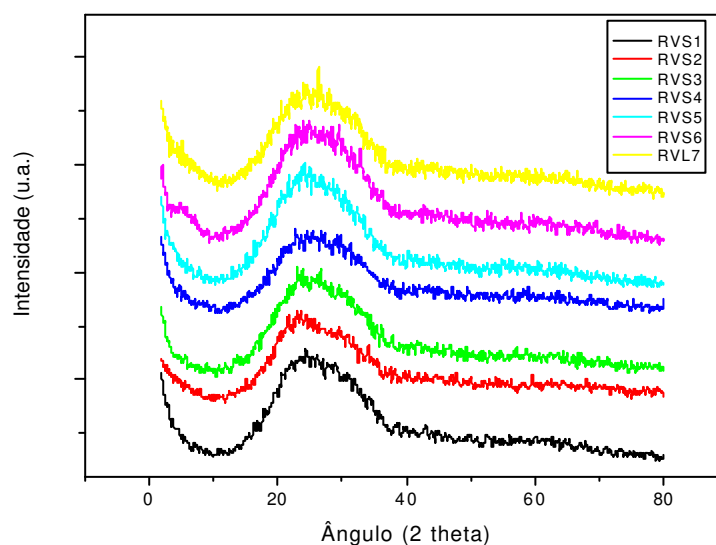


Figura 4.9 - Difração de Raios-X das amostras com varredura de $2^\circ < 2\theta < 80^\circ$.

Através dos difratogramas de raios-X apresentados na Figura 4.9 pode-se observar que as sete amostras estudadas apresentaram o mesmo perfil. Os difratogramas de raios-X de cada amostra em separado encontram-se nas Figuras 4.10 a 4.16.

O cálculo da distância interlamelar basal (d) segundo a Lei de Bragg, das sete amostras de resíduos vítreos, encontram-se na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Cálculo da distância interlamelar basal (d) segundo a Lei de Bragg, das sete amostras de resíduos vítreos.

Amostras	2θ ($^\circ$)	d (Å)
RVS1	24,56	3,62
RVS2	23,74	3,74
RVS3	23,22	3,83
RVS4	25,36	3,51
RVS5	23,74	3,74
RVS6	25,42	3,50
RVL7	26,26	3,39

Pode-se observar que as amostras apresentaram bandas com valores de máximos entre $23,22^\circ$ (RVS3) e $26,26^\circ$ (RVL7), e distâncias interplanar basal de (d_{001}) entre $3,83\text{Å}$ (RVS3) e $3,39\text{Å}$ (RVL7), que indica a presença de sílica nas mesmas.

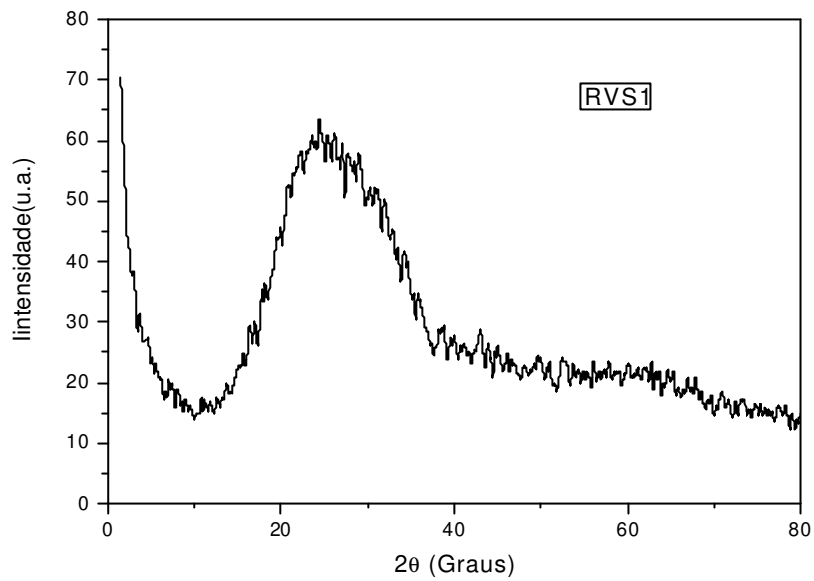


Figura 4.10 - Difração de Raios-X da amostra RVS1 com varredura de $2^{\circ}<2\theta<80^{\circ}$.

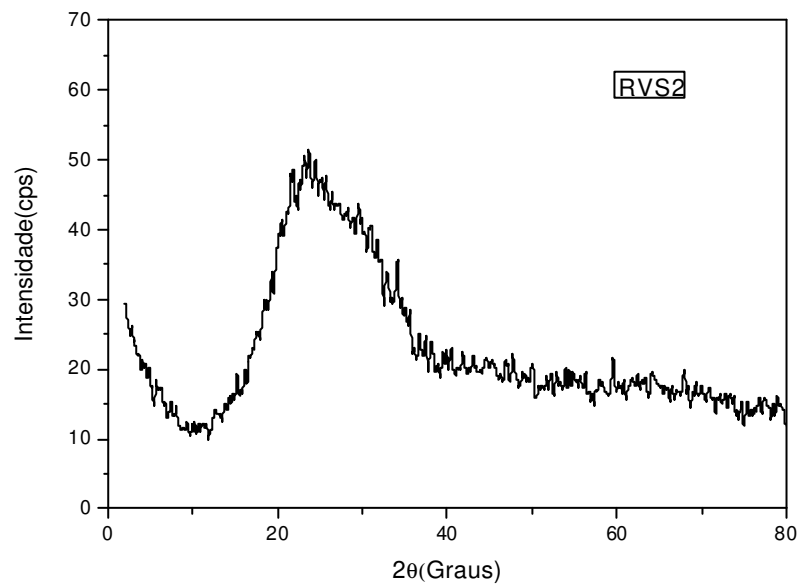


Figura 4.11 - Difração de Raios-X da amostra RVS2 com varredura de $2^{\circ}<2\theta<80^{\circ}$.

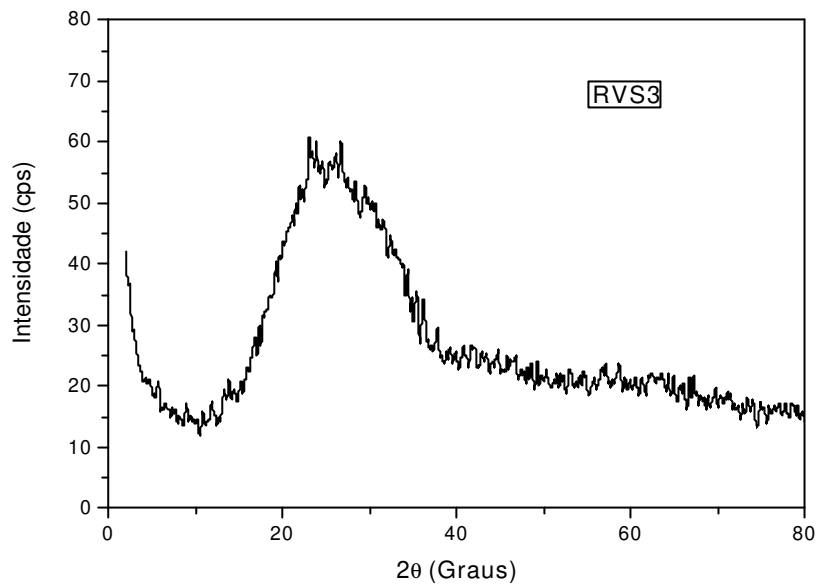


Figura 4.12 - Difração de Raios-X da amostra RVS3 com varredura de $2^\circ < 2\theta < 80^\circ$.

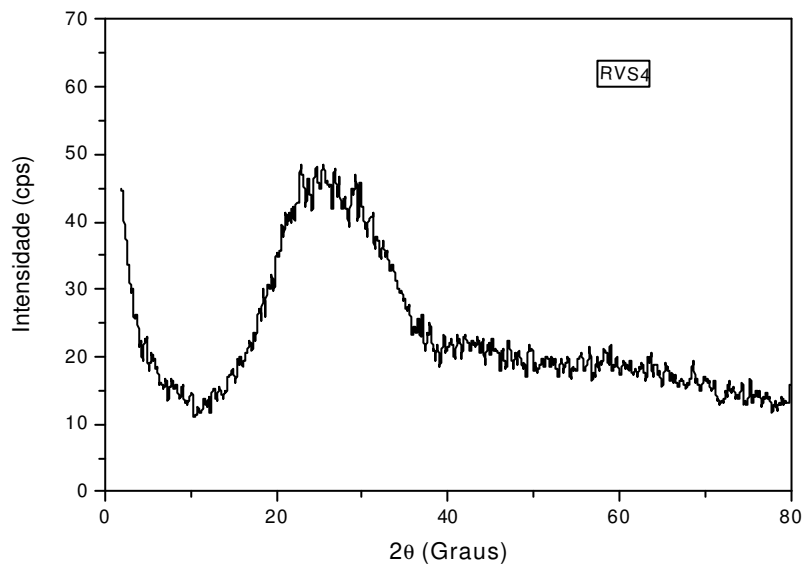


Figura 4.13 - Difração de Raios-X da amostra RVS4 com varredura de $2^\circ < 2\theta < 80^\circ$.

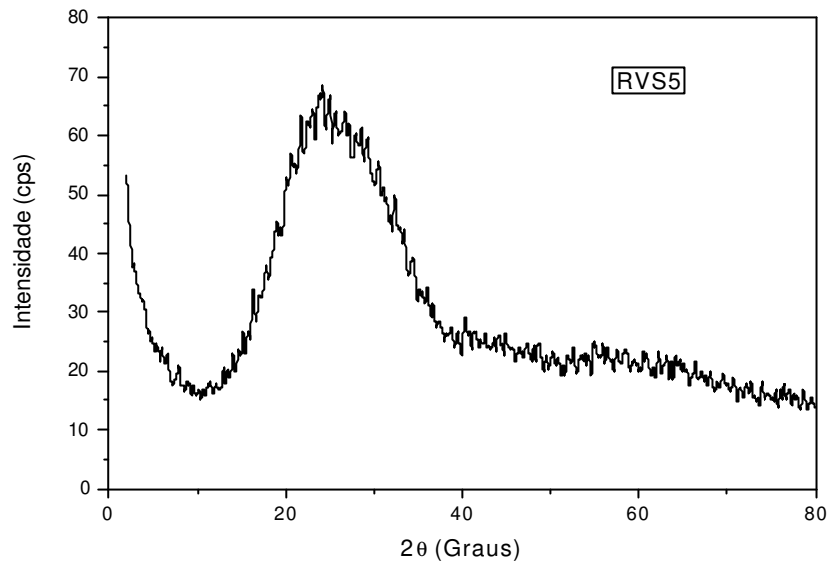


Figura 4.14 - Difração de Raios-X da amostra RVS5 com varredura de $2^\circ < 2\theta < 80^\circ$.

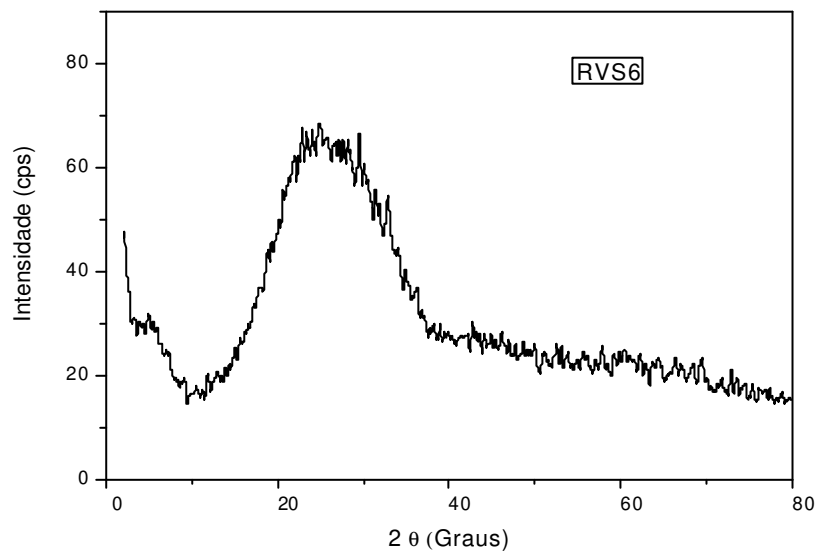


Figura 4.15 - Difração de Raios-X da amostra RVS6 com varredura de $2^\circ < 2\theta < 80^\circ$.

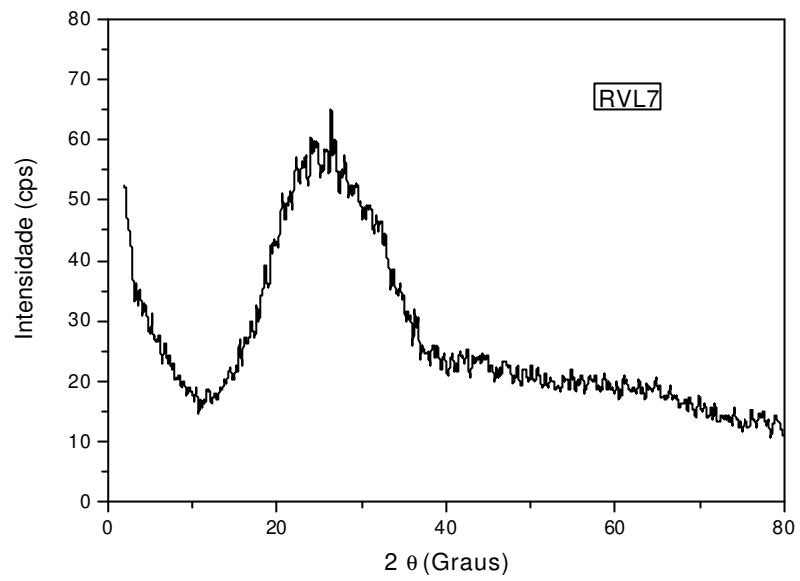


Figura 4.16 - Difração de Raios-X da amostra RVL7 com varredura de $2^{\circ} < 2\theta < 80^{\circ}$.

5 CONCLUSÕES

As considerações finais serão apresentadas conforme o objetivo deste trabalho que foi de 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 reciclagem dos mesmos. Logo, pode-se concluir que:

Análise bacteriológica:

- 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 fazem necessário uma lavagem prévia desses materiais com água corrente e clorada, o que reduzirá ao máximo o nível da contaminação verificada.

Análise química:

- 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 analisadas apresentaram valores de SiO_2 que variaram de 60,4% (RVS3) até 70,5% (RVS5), já os valores de CaO variaram de 6,2% (RVS3) até 9,8% (RVS1). Os valores de Na_2O ficaram entre 9,2% (RVS4) e 11,7% (RVS1).

- As amostras RVS3 e RVL7 de cor âmbar apresentaram 0,3% de Fe_2O_3 , que proporciona essa coloração ao vidro.

Espectroscopia vibracional de absorção no infravermelho:

- As amostras apresentaram uma banda de absorção entre 3200 - 3470 cm^{-1} , características de vibrações de deformação (ν) relativas ao grupo Alanol (Al – OH).
- As amostras apresentaram um pico entre 2850 - 2950 cm^{-1} referente a vibrações de estiramento (δ) do Si – O – H.
- Todas as amostras, com exceção da amostra RVS6 (1029 cm^{-1}), apresentaram uma banda em torno de 1060 cm^{-1} proveniente da absorção de vibrações de estiramento (δ), Si – O.
- Na faixa de 400 - 1000 cm^{-1} todas as amostras apresentaram picos, umas até apresentaram dois bem evidentes de 779 cm^{-1} (RVS3 e RVS6) que são atribuídos às vibrações de deformação ou flexão (ν) do óxido de alumínio.

Difração de raios-X

- Os difratogramas das amostras de resíduos vítreos apresentaram bandas características de materiais predominantemente amorfos.
- As amostras apresentaram bandas com valores de máximos entre 23,22° (RVS3) e 26,26° (RVL7), e distâncias interplanar basal de (d_{001}) entre 3,83Å (RVS3) e 3,39 Å (RVL7), que indicam a presença de sílica.

Os resíduos vítreos analisados por tratar-se de vidros do tipo sílica-soda-cal, se prestam à reciclagem e/ou reutilização, podendo retornar as 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 a 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.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após ter sido realizada a caracterização dos resíduos vítreos provenientes de sucatas e do lixão da zona urbana de Campina Grande, sugere-se as seguintes propostas para futuros trabalhos.

1. Realização de análise bacteriológica de outros tipos de patógenos presentes nos resíduos vítreos, como por exemplo, a escherichia coli.
2. Avaliar a possibilidade de interferência da composição dos vidros de diferentes colorações na proliferação de microorganismos.
3. Compor e desenvolver massas cerâmicas introduzindo resíduos vítreos em suas composições, visto que estes apresentam composições químicas que podem substituir parcialmente o feldspato em massas triaxiais.
4. Caracterizar os resíduos utilizando outras técnicas como: termogravimetria, análise térmica diferencial, microscopia eletrônica de varredura e UV-visível.
5. Estudar a possibilidade da introdução de cátions lantanídeos em matriz vítrea visando à produção de vitrocerâmicas com propriedades luminescentes.

7 REFERÊNCIAS

ABIVIDROS - Associação Técnica Brasileira das Indústrias Automotivas de Vidro. Boletim Informativo, 2005.

AHMED, A.A., ABDALLAH, E.W., Effect of íon Exchange and Heat Treatment Conditions on the Diffusion of Silver Into a Soda-Lime-Silica Glass, Phys. Chem. Glasses, 38 (1), p. 42-50, 1997.

AKERMAN, M. Apostila de Natureza, Estrutura e Propriedades do vidro, 2006. Inovação Tecnológica. (s.d.). Materiais Avançados. Acesso em 13.02.2007, disponível:<http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010160070110>

ALVES, O. L.; GIMINEZ, I. F.; MAZALI, I. O. VIDROS – Cardemos Temáticos de Química Nova na Escola. Maio 2001.

AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, Water Pollution Control Federation, 1155p 1998.

APHA. AWWA. WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 20 ed. Washington, D. C.: American Public Health Association. 1998.

ARCEIVALA, SJ; Wastewater Treatment and Disposal, Pollution Engineering and Technology/15, Marcel Dekker, Inc. NY – 1981.

AZAMBUJA, J. R. Edição Integrada nas Comemorações dos 250 anos da Indústria do vidro, 1998.

BELEI, R.A.; PAIVA, N.S. Lixo hospitalar: viabilidade econômica de uma fonte alternativa de recursos em um hospital universitário. In: Congresso Brasileiro de Controle de Infecção Hospitalar, 6, 1998, Campos do Jordão. Anais São Paulo: ABIH, p.19. 1998.

BRAGANÇA, S.R., BERGMANN, Anais do 46º. Congresso Brasileiro de Cerâmica, CD,2002.

BRANCO, S. M. Hidrologia Aplicada a Engenharia Sanitária. São Paulo, Ed. Acetesb 1979, 34p.

BUNDE, A.; FUNKE, K.; INGRAM, M.D. Ionic Glasses: History and Challenges. Solid State Ionic, v.105, pp. 1-13, 1998.

CALLISTER, W. Materials Science and Engineering- an Introduction. Fourth Edition. New York: John Wiley & Sons, 1999. 869p.

CASTRO, A. L. F. Reciclagem de vidro no Brasil. Ist Meeting of Latin American Metropolitan Mayors on Waste Manegement and Technologies. São Paulo, nov. 2001.

CEBALLOS, B.S.O. Microbiologia sanitária e ambiental. In: Mendonça, Sistemas de lagunas de estabilizacion. Como utilizar águas residuales tratadas em sistemas de redagio. Colômbia: Editora Mc Grawn Hill, p.68-106. 2000.

CELLA, N. Caracterização de Materiais. Instituto Politécnico/UERJ, Rio de Janeiro, 2001.

FERREIRA, S. H. Angiotensin converting enzyme: History and Relevance. Seminars In Perinatology, UK, v. 24, n. 1, p. 7-10, 2000.

FRANCO, B. D. G. M.; LANDGRAFT, M. Microbiologia dos alimentos. São Paulo. Ed. Atheneu, 1996.

GOMES, L.P. Estudo da Caracterização Física e da Biodegradabilidade dos Resíduos Sólidos Urbanos em Aterros Sanitários. Tese de Mestrado, UFSCAR, 2001.

GUTZOW, I. & SCHMELZER, J. The Vitreous State. Termodynammics, Structure, Reology and Cristalization. 1995.

HELLAM, H.E. (ed.), Vibrational Spectroscopy of Trapped Species, Wiley-Interscience, New York, 1973.

Inovação Tecnológica. (s.d.). Materiais Avançados. Acesso em 13 de 02 de 2007, disponível em: <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010160070110>

IPT/CEMPRE. Lixo Municipal: Manual de Gerenciamento Integrado. 1ª. ed. São Paulo: Instituto de Pesquisa Tecnológica/IPT 2000.

JORNAL DA PARAÍBA. O Problema do Lixo em Campina Grande, Reportagem:15/10/2005.

KNIESS, C.T. Utilização de Cinzas Pesadas de Carvão Mineral com Adição de Óxido de Lítio na Obtenção de Materiais Vitrocerâmicos. Florianópolis, S.C.,. Dissertação de Mestrado em Engenharia Química. Universidade Federal de Santa Catarina. 122p. Fev 2001.

LEE, J.D. Química inorgânica. 3.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1980. 189p.

LUVIDARTE - <http://www.luvidarte.com.br/home/portugues/index.asp> Acesso em 13 de 02 de 2007.

MARI, E.A. Los Vidros: Propiedades, Tecnologías de Fabricacion y Aplicaciones. Buenos Aires:1982.

MORELLI, A.C.,BALDO, J.B. , Um Novo Defloculante para Barbotinas do Triaxial Cerâmico,8,3, 42-46,(2003).

NASCIMENTO, M.L.F. Condutividade Elétrica de Vidros Boratos, Silicatos e Sílico-Sulfatos de Íons Alcalinos.. Dissertação de Mestrado em Física. Universidade de São Paulo. 207p. São Paulo, S.P., Dez 2000.

NAVARRO, J.M.F. El Vidro. Instituto de Cerâmica y Vidro. Madrid, 1985.

NAVARRO, J.M.F. El vidrio. 2 ed. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas,. 667 p 1991.

NEDER, L.T. C "Reciclagem de Resíduos Sólidos de Origem Domiciliar: Análise da Implantação e da Evolução de Programas institucionais de Coleta Seletiva em Alguns Municípios Brasileiros" (Dissertação de Mestrado) PROCAM USP, 115p, 2005.

OBLADEN, N. L. CHACOROWSKI JR, F. e RUCINSKI, E. J. Reciclagem dos Resíduos Sólidos Urbanos na Região Metropolitana de Curitiba. In Anais do 17º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Natal-RN, Set. 1993 Vol. 2.

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) UFCG 2007.

ORTIZ, A., ALONSO, J.C., PANKOV, V., HUANOSTA, A., ANDRADE, E. Characterization of amorphous aluminum oxide films prepared by the pyrosol process. 1985.

PATZA, F.; MARTINS, M. R.; WEIS, M. F. Vidros: Trabalho de graduação apresentado a UFPR, Curitiba, 2005.

PELCZAR, M.J.; et al. Microbiologia: Conceitos e Aplicações. 2 ed. Vol.2. São Paulo: MAKRON Books do Brasil, 1996. 517p.

PORTARIA DA ÁGUA - Portaria Nº 36 - 19 de Janeiro de 1990.

RECICLOTECA - Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente. Conheça sua embalagem de vidro. Informativo Recicloteca no. 3, p.6, 2005.

REINDL, J. Reuse/recycling of glass cullet from non-container uses. Madison: Dane County Department of Public Works, 1998, 95 p.

ROCHA, A. A. Considerações sobre doenças em represas, levantamento sanitário, curso de impacto ambiental de represas. Ministério das Minas e Energia – Itaipu Binacional 1987.

RODRIGUES, A.C.M. e ZANOTTO, E. D. Indústria e pesquisa do setor vidreiro no Brasil- em “El Vidrio en Iberoamerica: Industria, Investigacion y Formacion”- Livro do Cyted, Ed. Sociedad Espanhola de Cerâmica y Vidrio, p. 31-46, 1998.

SAAVEDRA, A. Difração de Raios-X e Microscopia Eletrônica de Varredura . 2º Iberoamericano sobre Peneira Molecular, São Carlos, 1995.

SANTOS, P. S. Ciência e Tecnologia das Argilas. 2ª edição revisada e ampliada. v.1, São Paulo: Edgard Blücher Ltda. 1989.

SILVA, H. C, MORAIS, C. R. S, OLIVEIRA N. M. S, CAVALCANTI, M. S. L, PAZ, R. A. Análise Química dos Resíduos Vítreos do Município de Campina Grande – PB. IV Semana Científico-Pedagógica e Tecnológica do CCT (IVSCPT) – UEPB. Campina Grande/PB, Outubro, 2006.

SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA, R. M. (Org.) - Resíduos sólidos, ambiente e saúde uma visão multidisciplinar. Rio de Janeiro: Fiocruz, 2000.

STANDARD METHODS - Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (15th edn.), 1995 APHA, NY.

VAN VLACK, L. Propriedades dos Materiais Cerâmicos. Editora Edgar Blucher.1984.

VARSHENYA, A.K. Fundamentals of Inorganic Glasses. Academic Press, Inc., New York, 1994.

VOGEL, W. Chemistry of Glass. Ohio: The American Ceramic Society. 1985. 325p.

ZANON, U. Etiopatogenia das infecções hospitalares. Arquivos Brasileiros de Medicina. v. 65, n. 5, p. 16-20. out 1991

ZANOTTO, E. D. Vidros de 4.000AC a 2.000DC. Engenharia de Materiais, V.1, n.1 p. 33-36, 1989.

ZANOTTO, E.D. Vidro: Ciência, Tecnologia e Emprego no Brasil no Limiar do Terceiro Milênio. Disponível em: <http://www.lamav.ufscar.br/artpdf/vct.rtf>. Acesso em 18/07/2006.

ZANTA, V.M.; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos urbanos. In: BORGES, A.C., ET AL.. (Org.). Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. 1 ed. Sao Carlos SP: Rima Artes e Textos, v. 1, p. 1-18, 2003.

ZARZYCKI J.; Glasses and Vitreous State, Cambridge University Press Cambridge, 2005.

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 de 2007.