

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS VÍTREOS VISANDO
A RECICLAGEM NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE-PB**

Louise Brasileiro Quirino

**CAMPINA GRANDE
OUTUBRO/2008**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA
E ENGENHARIA DE MATERIAIS**

**CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS VÍTREOS VISANDO
A RECICLAGEM NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE-PB**

Louise Brasileiro Quirino

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: Prof^a. Dr^a CRISLENE RODRIGUES DA SILVA MORAIS
Co-orientador: Prof^o. Dr. LUIZ EDUARDO CID GUIMARÃES

CAMPINA GRANDE

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

Q8c

2008 Quirino, Louise Brasileiro.

Caracterização e processamento de resíduos vítreos visando a reciclagem no município de Campina Grande - PB / Louise Brasileiro Quirino.- Campina Grande, 2008.

75 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia.

Referências.

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Crislene Rodrigues da Silva Morais, Prof. Dr. Luiz Eduardo Cid Guimarães.

1. Caracterização. 2. Processamento. 3. Reciclagem. 4. Resíduos Vítreos. 5. Sustentabilidade. I. Título.

CDU – 666.1:748(043)



OUTUBRO/2008

**CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS VÍTREOS VISANDO
A RECICLAGEM NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE-PB**

Louise Brasileiro Quirino

Dissertação aprovada em 29 de outubro de 2008, pela banca examinadora constituída dos seguintes membros:



Dr.^a. Crislene Rodrigues da Silva Moraes

Orientadora

UAEMa – UFCG



Dr. Luiz Eduardo Cid Guimarães

Co-Orientador

UADI – UFCG



Dr.^a. Laura Hecker de Carvalho

Examinador Interno

UAEMa/UFCG



Dr.^a. Luciana de Figueiredo Lopes Lucena

Examinador Externo

FACISA

CAMPINA GRANDE
OUTUBRO/2008

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha Mãe Lili Brasileiro e às minhas Irmãs Anna Rachel e Karoline pelo total apoio durante todas as etapas da minha vida, e ao meu Pai Marconi Quirino pelos momentos e oportunidades proporcionados, assim como, ao meu Amigo e Namorado Diego Fernandes pela compreensão, apoio e incentivo.

Em especial à minha orientadora Crislene Rodrigues da Silva Moraes e ao meu co-orientador Luiz Eduardo Cid Guimarães que acreditaram no meu potencial e ajudam-me a tornar este trabalho possível.

A todos meus amigos e colegas de graduação e do mestrado que me ajudaram e incentivaram durante esta pesquisa, e em especial aos amigos: Itamar, Herbert, Lêda e Vera.

CARACTERIZAÇÃO E PROCESSAMENTO DE RESÍDUOS VÍTREOS VISANDO A RECICLAGEM NO MUNICÍPIO DE CAMPINA GRANDE-PB

RESUMO

O resíduo vítreo é 100% reciclável e seu reaproveitamento, além de reduzir o impacto ambiental, pode contribuir para a diversificação da fabricação de produtos e para a diminuição dos custos finais de sua produção. Este trabalho objetivou a reciclagem em escala artesanal de resíduos vítreos oriundos das vidraçarias e do descarte urbano da cidade de Campina Grande/PB, visando a sustentabilidade de um grupo de catadores. Para tanto foram utilizados resíduos de vidros planos eocos que após caracterização através das técnicas de: análise química, termogravimetria e análise térmica diferencial, foram submetidos a diferentes programações de temperatura, visando a obtenção de novos produtos. A composição química dos vidros mostrou que os mesmos são do tipo sílica-soda-cal. A curva DTA apresentou duas pequenas bandas endotérmicas nos intervalos de 700 a 750°C e entre 800 e 1000°C características da fusão do vidro. Na curva TG observou-se uma perda de massa insignificante (<1%), o que mostra a alta estabilidade térmica do vidro plano. Percebeu-se que para fusão de esmaltes vítreos a temperatura de queima ideal foi de 700°C, já para fusão de esmaltes porcelânicos indicam-se temperaturas em torno de 750°C. Todas as amostras apresentaram melhor fusão à temperatura de queima de 800°C. A partir dos estudos realizados, foi possível transferir os conhecimentos adquiridos à equipe de catadores de resíduos da Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos através de oficinas de desenho e pintura, preparação de moldes e beneficiamento, pigmentação e queima peças desenvolvidas.

Palavras-chave: caracterização, processamento, reciclagem, resíduos vítreos, sustentabilidade.

CHARACTERIZING AND PROCESSING OF VITREOUS RESIDUES AIMING AT RECYCLING IN CAMPINA GRANDE-PB MUNICIPALITY

ABSTRACT

Glassy residues are 100% recyclable. Its reuse reduces environmental impact, contributes to the diversification of manufactured products and fall production's costs. This study aimed the recycling, on craft scale, of waste glass from vitreous residues from the urban disposal of Campina Grande/PB city, targeting the sustainability of a collectors group. Flat and hollow glasses were characterized by chemical analysis, TG and DTA, and subjected to different temperature profiles in order to obtain new products. The chemical composition of glasses employed showed that they are sodium-calcium-silicates. The DTA curve showed two small endothermic bands in the 700 - 750°C range and between 800 and 1000°C which is characteristic of glass fusion. A negligible loss of weight (<1%) was observed on TG which confirms the high thermal stability of flat glass. Tests indicate that the ideal temperature for fusion was 800°C. From the studies, it was possible to transfer the acquired knowledge to the residue collectors team of the *Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos* through workshops in drawing, painting, molds preparation, beneficiation, pigmentation and burning of the working material.

Keywords: characterization, processing, recycling, waste vitreous, sustainability.

PUBLICAÇÕES

QUIRINO, L. B., MORAIS, C. R.S., GUIMARÃES, L. E. C. **Caracterização e processamento de resíduos vítreos visando a reciclagem no município de Campina Grande-PB.** 18º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECiMat). Outubro/2008.

DANTAS L. C., GUIMARÃES, L. E. C., QUIRINO, L. B. **Desenho Industrial, artesanato e participação: a experiência do grupo artesanal Mulheres da Terra em Pilões- PB.** 2006.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	IV
RESUMO	V
PUBLICAÇÕES	VII
SUMÁRIO	VIII
ÍNDICE DE QUADROS	X
ÍNDICE DE TABELAS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS	XIV
CAPÍTULO I	1
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	1
1.1 INTRODUÇÃO	1
1.2 OBJETIVOS	2
CAPÍTULO II	3
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	3
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	3
2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
2.3 VIDRO	8
2.3.1 Histórico	9
2.3.2 Características do vidro	10
2.3.3 Composição química	12
2.3.4 Classificação dos vidros	15
2.3.5 Propriedades dos vidros	16
2.3.6 Processos de fabricação de vidro	19
2.3.6.1 Fabricação industrial de vidro.....	19
2.3.6.2 Fabricação artesanal de vidro	19
2.3.7 Tratamentos térmicos em vidros.....	24
2.3.8 Pigmentação de vidros	26
2.3.9 Desvitrificação	26
2.4 RECICLAGEM	28
2.5 PROJETO DE RECICLAGEM ARTESANAL DE VIDRO	32
CAPÍTULO III	37
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 MATERIAIS.....	37
3.1.1 Vidro.....	37

3.1.1.1	Preparação das amostras	38
3.1.2	Concreto celular	39
3.1.3	Caulim	40
3.1.4	Esmaltes vítreos e porcelânicos	40
3.2	MÉTODOS	40
3.2.1	Caracterização dos resíduos vítreos	40
3.2.1.1	Análise química	40
3.2.1.2	Análise térmica	41
3.2.2	Comportamento vítreo em função das temperaturas de queima	41
3.2.3	Capacitações	42
3.2.3.1	Curso no Ateliê Espaço Zero	42
3.2.3.2	Capacitação dos catadores	43
3.2.4	Identidade visual do grupo	46
CAPÍTULO IV		47
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS VÍTREOS	47
4.1.1	Análise química	47
4.1.2	Análise térmica diferencial e termogravimetria	47
4.2	COMPORTAMENTO VÍTREO EM FUNÇÃO DAS TEMPERATURAS DE QUEIMA	48
4.2.1	Composição 1	49
4.2.2	Composição 2	51
4.2.3	Composição 3	53
4.2.4	Composição 4	55
4.2.5	Composição 5	57
4.2.6	Composição 6	59
4.3	CAPACITAÇÕES	61
4.3.1	Curso no Ateliê Espaço Zero	61
4.3.2	Capacitação dos catadores	61
4.4	IDENTIDADE VISUAL DO GRUPO	69
CAPÍTULO V		70
5	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS	70
5.1	CONCLUSÕES	70
5.2	PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS	71
REFERÊNCIAS		72

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Composição de vidros comerciais.....	16
Quadro 2– Propriedades características dos vidros de óxidos	17
Quadro 3 – Pigmentação de vidros por meio de óxidos.....	26
Quadro 4 – Perfil do segmento de vidros planos no Brasil.....	31

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Lista das composições vítreas e temperaturas de queima.....	42
Tabela 2 – Análise Química do resíduo vítreo plano e oco	47
Tabela 3 – Resultados visuais da composição 1 à diferentes temperaturas de queima	49
Tabela 4 – Resultados visuais da composição 2 à diferentes temperaturas de queima	51
Tabela 5 - Resultados visuais da composição 3 à diferentes temperaturas de queima	53
Tabela 6 – Resultados visuais da composição 4 à diferentes temperaturas de queima	55
Tabela 7 – Resultados visuais da composição 5 à diferentes temperaturas de queima	57
Tabela 8 – Resultados visuais da composição 6 à diferentes temperaturas de queima	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Mapa da Paraíba com destaque na cidade de Campina Grande.....	5
Figura 2 – Resíduos vítreos descartados no lixão da cidade de Campina Grande...	6
Figura 3 – Destino final dos resíduos vítreos das vidraçarias de Campina Grande– PB	6
Figura 4 – Mapa dos Bairros de Campina Grande-PB, Brasil	7
Figura 5 – Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos	8
Figura 6 – Garrafas de vidro colorido	8
Figura 7 – Produção de vidro no Brasil em 2006	9
Figura 8 – Índices de reciclagem do vidro no Brasil entre 1997 e 2007	10
Figura 9 – Composição do Vidro.....	14
Figura 10 – Estrutura química do vidro sódio-cálcio.....	14
Figura 11 – Temperaturas de resistência dos moldes.....	23
Figura 12 – Posição e resultado da fusão do vidro em relação ao molde	23
Figura 13 – Ângulo de saída das peças	24
Figura 14 – Vidro temperado fragmentado em pequenos pedaços.....	25
Figura 15 – Ciclo de vida do vidro	31
Figura 16 – Peça de vidro obtida através da técnica de <i>fusing e slumping</i>	32
Figura 17 – Amostras resultantes com corpo de prova de terracota	34
Figura 18 – Resultados da queima com corpo de prova de gesso, feldspato e quartzo	34
Figura 19 – Amostras com sucatas diferentes misturadas.....	34
Figura 20 – Resultados das peças experimentais.....	35
Figura 21 – Resíduos vítreos plano (a) e oco (b) utilizados na pesquisa	37
Figura 22 – Composições vítreas antes da queima	38
Figura 23 – Concreto Celular	39
Figura 24 – Moldes em concreto celular para acomodação das amostras	39
Figura 25 – Forno Jung Blumenau MCJ-10S NICR-NI48,09mV	41
Figura 26 – Circulo cromático.....	43
Figura 27 – Ferramentas utilizadas na preparação dos moldes.....	44

Figura 28 – Cortador de vidros utilizado nesta pesquisa.....	45
Figura 29 – Passo a passo de corte de vidro.	45
Figura 30 – Esmerilhadeira utilizada no polimento das extremidades do vidro	46
Figura 31 – Curva DTA do vidro plano na razão de aquecimento de 10°C/min	48
Figura 32 – Curva TG do vidro plano na razão de aquecimento de 10°C/min	48
Figura 33 – Resultados com a técnica vistas no curso de Artesanato em Vidro.....	61
Figura 34 – Alguns dos desenhos de estrutura produzido pelo grupo	61
Figura 35 – Resultados das oficinas de desenhos de simetria e recortes.....	62
Figura 36 – Pinturas de artistas famosos apresentadas ao grupo de catadores.....	62
Figura 37 – Alguns dos desenhos elaborados pelo grupo de catadores.....	63
Figura 38 – Interface do programa Adobe Photoshop CS2.....	63
Figura 39 – Interface do Corel Draw X4 na vetorização de imagens	64
Figura 40 – Alguns dos desenhos selecionados e vetorizados	64
Figura 41 – Catadores durante oficina de desenho.....	65
Figura 42 – Alguns dos desenhos pintados com lápis madeira e giz de cera pelos catadores.....	65
Figura 43 – Alguns dos desenhos pintados em tinta guache com pincel pelos catadores.....	65
Figura 44 – Trabalho realizado durante as oficinas de desenvolvimento de moldes	66
Figura 45 – Moldes em concreto celular desenvolvidos pelo grupo	66
Figura 46 – Limpeza, trituração e corte dos resíduos vítreos.....	67
Figura 47 – Aplicação de caulim sobre os moldes de concreto celular	67
Figura 48 – Pigmentação das peças em vidro com técnicas diferenciadas	68
Figura 49 – Alguns dos resultados obtidos pela queima das peças desenvolvidas pelo grupo	68
Figura 50 – Resultados das peças geradas pelo grupo	69
Figura 51 – Identidade visual do grupo	69

LISTA DE SIMBOLOS E SIGLAS

ABIVIDRO	Associação Técnica Brasileira das Industriais Automáticas de Vidros;
ABNT	Associação Brasileira de Norma Técnicas;
CBECiMat	Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência de Materiais;
CEMPRE	Compromisso Empresarial para a Reciclagem;
COTRAMARE	Cooperativa de Trabalhadores de Materiais Recicláveis;
DTA	Análise Térmica Diferencial;
EPI's	Equipamentos de Proteção Individuais;
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
NBR	Norma Brasileira Regulamentada;
PMCG	Prefeitura Municipal de Campina Grande;
PPG-CEMat	Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais;
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande.

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 INTRODUÇÃO

Visando minimizar os problemas causados pela extração de matéria prima e pelo descarte de produtos ao meio ambiente, pode-se basear no princípio dos 3Rs, onde busca-se reduzir, reutilizar ou reciclar quase todos os resíduos sólidos. A redução do impacto ambiental pode ser atingida, principalmente, através da implantação do eco-design de produtos e da aplicação de novas tecnologias menos poluentes.

Eco-design possui como objetivo principal projetar produtos que reduzam o uso de recursos não-renováveis e/ou minimizem o impacto ambiental. É vista como uma ferramenta necessária para atingir o desenvolvimento sustentável.

O vidro é 100% reciclável, ou seja, ele pode ser usado e posteriormente utilizado como matéria-prima, na fabricação de novos vidros. Tal processo utiliza resíduos descartados como fonte de manufatura, contribuindo, portanto, para preservação dos recursos naturais e diminuição da poluição.

Embora os resíduos vítreos não sejam tóxicos, eles são lançados, de maneira aleatória, ocupando um grande volume nos lixões das cidades e podendo provocar ferimentos e doenças nas pessoas que os manipulam.

O foco deste estudo foi a caracterização físico-química e térmica de resíduos vítreos, assim como, a compreensão do comportamento das composições vítreas diante de diferentes temperaturas de queima. Em um segundo momento realizou-se a capacitação de catadores da Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos, através de oficinas que possibilitaram o aprendizado sobre técnicas de elaboração e processamento de resíduos vítreos, levando ao desenvolvimento de produtos com design inovador, do ponto de vista formal.

1.2 OBJETIVOS

Geral

Este trabalho teve como objetivo a caracterização físico-química e térmica de resíduos vítreos visando o desenvolvimento de produtos reciclados e a sustentabilidade de um grupo de catadores do município de Campina Grande – PB.

Específicos

- Caracterizar química e termicamente os resíduos vítreos planos e ocos, provenientes dos descartes de vidraçarias e da coleta seletiva do município de Campina Grande-PB;
- Estudar diversas composições entre vidros planos, vidros ocos, esmaltes porcelânicos e vítreos, visando observar o comportamento vítreo em função das temperaturas de queima;
- Beneficiar os resíduos de vidros planos e ocos;
- Capacitar, através de oficinas, os catadores da Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos para o desenvolvimento de produtos em vidro, principalmente através do aprimoramento de desenhos, desenvolvimento de moldes e beneficiamento, pigmentação e queima dos vidros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Conforme Gomez e Braun (2008), na sociedade do conhecimento é fundamental a cooperação entre as diversas especialidades das engenharias com outras áreas de conhecimento. No caso do eco-design, a parceria entre desenhistas industriais e engenheiros de materiais é crucial, tanto na fase de concepção quanto no reaproveitamento de resíduos sólidos provenientes de atividades industriais.

Segundo Niemeyer (1998), o design busca integrar os aportes de diferentes especialistas, desde a especificação de matéria-prima, produção, utilização e destino final do produto.

Segundo Gregolin (2006) a Ciência e Engenharia de Materiais representa um campo contínuo e indivisível, associando Ciência e Tecnologia. Está ligada à geração e aplicação do conhecimento, que relaciona a composição, a estrutura e o processamento dos materiais com suas propriedades e usos.

Gomez e Braum (2008) afirmam que o eco-design é o termo para uma crescente tendência nos campos da arquitetura, engenharia e design em que o objetivo principal é projetar estruturas, habitações, produtos e serviços que de alguma forma reduzam o uso de recursos não-renováveis ou minimizem o impacto ambiental. É visto como uma ferramenta necessária para atingir o desenvolvimento sustentável.

O desenvolvimento sustentável é definido como o crescimento tecnológico e social que garante a manutenção adequada das condições ambientais tanto no presente, quanto no futuro. Este conceito visa promover o equilíbrio entre a

integridade dos sistemas naturais e o suprimento das necessidades humanas, permitindo a continuidade desta inter-relação (MEDEIROS, 2006).

Schneider (2008), afirma que a grande busca pelo desenvolvimento sustentável, visando a preservação dos recursos naturais renováveis e não renováveis tem gerado um maior interesse pelas pesquisas de reciclagem e reutilização de materiais.

Segundo Santos (2007), a reciclagem é uma das alternativas de tratamento de resíduos sólidos mais vantajosas, tanto do ponto de vista ambiental quanto do social. Além de diminuir o volume de lixo e a poluição, quando há um sistema de coleta seletiva bem estruturada, a reciclagem é uma atividade econômica rentável. Pode gerar emprego e renda para as famílias de catadores de materiais recicláveis, que devem ser os parceiros prioritários na coleta seletiva.

Rocha (2002), afirma que a reciclagem de resíduos vítreos consiste em utilizar vidros que já foram descartados, como fonte de manufatura de novos produtos. Este sistema de tratamento de lixo contribui para preservar os recursos naturais e diminuir a poluição.

O reaproveitamento de resíduos vítreos, além de reduzir o impacto ambiental, pode contribuir para a diversificação da fabricação de produtos e para a diminuição dos custos finais de sua produção. Para se decompor na natureza, o vidro leva milhares de anos. Sendo 100% reciclável, o vidro não produz resíduos na hora da reciclagem e economiza 30% de energia elétrica (RECICLOTECA, 2003).

Apesar de o vidro ser 100% reciclável ele não é biodegradável o que o torna um grande problema ambiental quando é simplesmente descartado, pois há o acúmulo de grande quantidade desse material e o mesmo não é absorvido pela natureza em aterros sanitários (VASQUES et al., 2007).

Conforme Oliveira (2007) a cidade de Campina Grande, situada no estado da Paraíba não dispõe de coleta seletiva municipal. Existe uma Cooperativa de Trabalhadores de Materiais Recicláveis (COTRAMARE), fundada em novembro de

2001, localizada no lixão, que atualmente tem cerca de 30 cooperados. Todo o material que é comercializado na cooperativa é catado no próprio lixão.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Campina Grande (Figura 1) situa-se no Estado da Paraíba, na mesorregião do Agreste Paraibano, no Planalto da Serra da Borborema. “Suas coordenadas geográficas são: 7°13’50 de latitude Sul e 35°52’52 de longitude Oeste”, tendo uma altitude média de 551m em relação ao nível do mar, localizando-se a uma distância de 120 km da capital do Estado, João Pessoa (PMCG, 2006).

Campina Grande é o segundo maior município da Paraíba em população (380.000 habitantes) e exerce grande influência política e econômica sobre aproximadamente 42,5% do território estadual, pois a cidade tem 57 municípios paraibanos que ficam ao seu redor (23.960 km² e 1 milhão de habitantes). Este conjunto é denominado de Compartimento da Borborema, sendo constituído de 5 microrregiões conhecidas como Agreste da Borborema, Brejo Paraibano, Cariris Velhos, Seridó Paraibano e Curimataú (PMCG, 2006).

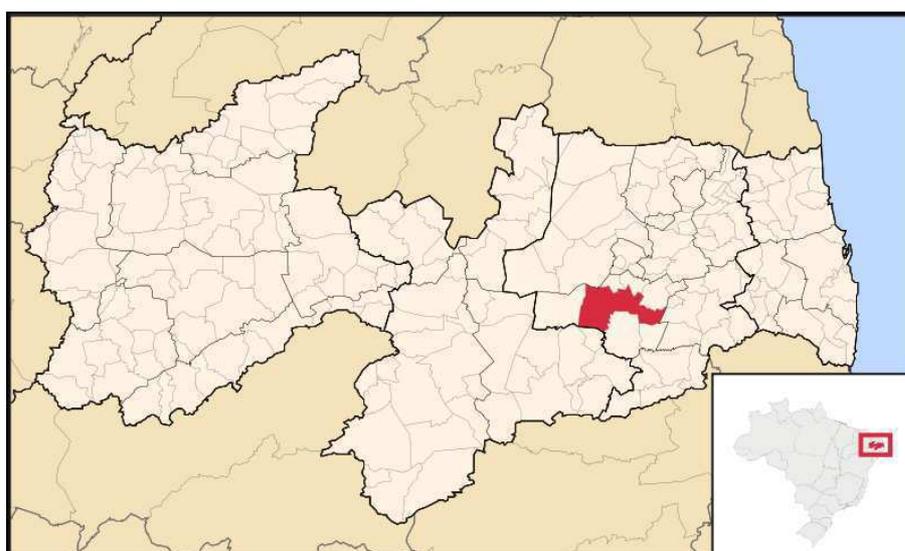


Figura 1 – Mapa da Paraíba com destaque na cidade de Campina Grande
Fonte: <http://upload.wikimedia.org>, 2008.

Segundo Oliveira (2007) Campina Grande possui uma Cooperativa de Trabalhadores de Materiais Recicláveis (COTRAMARE) onde 75% do material comercializado na cooperativa é catado no próprio lixão (Figura 2) e 25% são oriundos da coleta seletiva.



Figura 2 – Resíduos vítreos descartados no lixão da cidade de Campina Grande
Fonte: OLIVEIRA, 2007.

Oliveira (2007) afirma que os destinos finais dados aos resíduos vítreos gerados por vidraçarias do município de Campina Grande (Figura 3) são o lixão (76%), sucatas (8%), catadores (8%) e artesanatos (8%). Atualmente a cidade possui aproximadamente 40 estabelecimentos que comercializam sucatas e apenas 10% resíduo vítreo (caco), que é proveniente da quebra de peças inteiras. A maioria dos catadores do lixão cata exclusivamente peças inteiras e apenas 2% deles catam cacos de vidros.

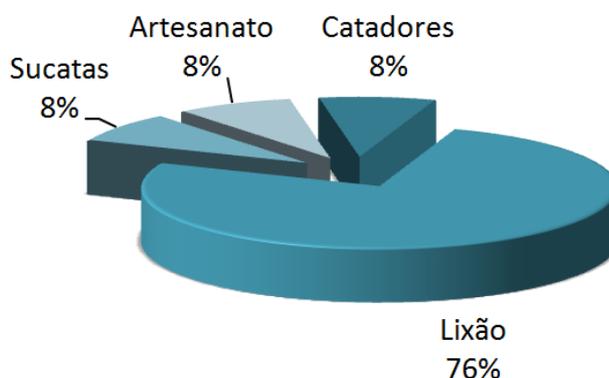


Figura 3 – Destino final dos resíduos vítreos das vidraçarias de Campina Grande–PB
Fonte: OLIVEIRA, 2007.

A Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos está localizada no bairro do Mutirão do Serrotão (Figura 4), zona oeste da cidade de Campina Grande. Segundo o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – (2007), o Mutirão do Serrotão possui cerca de 7.400 habitantes, sendo 55% destes homens e 45% mulheres. O bairro possui um índice de alfabetização de 60,7% e rendimento mensal de R\$ 195,50. É um dos bairros mais humildes da cidade e está localizado próximo ao presídio e ao lixão.



Figura 4 – Mapa dos Bairros de Campina Grande-PB, Brasil

Fonte: <http://upload.wikimedia.org>, 2008.

A organização comunitária que funciona no lixão na cidade de Campina Grande teve início no ano de 1990, por um grupo de voluntários da Paróquia de São Cristóvão, da Diocese local. Em 2001 foi fundada a Cooperativa de Trabalhadores de Materiais Recicláveis - COTRAMARE inicialmente com 23 trabalhadores, atualmente com cerca de 80 cooperados. Atualmente o número de não-cooperados exercendo a atividade de catação no lixão é cerca de 500 homens e mulheres retirando o sustento de suas famílias do lixão da cidade de Campina Grande-PB (Estatuto da COTRAMARE, 2001).

O Projeto de Instalação da Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos para os Catadores da COTRAMARE Campina Grande/PB, coordenado pela

professora Crislene Rodrigues da Silva Morais foi desenvolvido em um galpão, cedido pelo Governo do Estado da Paraíba através da Secretaria de Ação Social, Fundação de Ação Comunitária – FAC, com área de 440 m², localizado na Rua Rafaela de Souza Silva, S/N, no bairro do Serrotão do Mutirão. A unidade (Figura 5) é composta atualmente (após a reforma) de uma sala para capacitação dos catadores e a unidade de triagem e beneficiamento do vidro, além de uma área para recepção e estocagem do material adquirido e beneficiado, escritório, copa e banheiro masculino e feminino.



Figura 5 – Unidade de Beneficiamento de Materiais Vitreos

Fonte: Pesquisa direta, 2007.

2.3 VIDRO

De acordo com Reuter (1998), o vidro (Figura 6) é um material transparente ou translúcido, liso e brilhante, duro e frágil obtido pela associação e fusão de substâncias minerais que não se cristalizam na solidificação.



Figura 6 – Garrafas de vidro colorido

Fonte: <http://ambiente.hsw.uol.com.br/reciclagem3.htm>, 2008.

2.3.1 Histórico

Segundo Alves (2001), o desenvolvimento na arte de fazer vidros deu-se por volta do ano 200 a.C., quando artesãos sírios desenvolveram a técnica de sopro. A produção em massa deste material, durante a Revolução Industrial, fez com que ele assumisse um papel definitivo na história da humanidade, e hoje está presente em quase todos os momentos da vida moderna.

No Brasil, a história do vidro iniciou entre 1624 e 1635 com a invasão holandesa montada em Pernambuco pelos artesãos trazidos por Maurício de Nassau. Em 1735, o vidro passou a ser importado de alguns países da Europa. A partir do século XIX e início do século XX manufaturas de vidro foram criadas, algumas delas atuam até hoje no mercado brasileiro (ABIVIDRO, 2008).

Segundo dados do CEMPRE - Compromisso Empresarial para Reciclagem - (2006) são produzidas no Brasil 2130 toneladas de vidro por ano (Figura 7), entre embalagens (31%), vidros domésticos (12%), técnicos (28%) e os vidros planos (29%). Apesar do índice de reciclagem nacional vir aumentando a cada ano, ele ainda é baixo: cerca de 43% do total passa pelo processo de reciclagem, enquanto nos países europeus esse índice se encontra acima de 75%.



Figura 7 – Produção de vidro no Brasil em 2006
Fonte: CEMPRE, 2006.

Segundo dados da ABIVIDRO (2008), o índice de reciclagem de vidro no Brasil em 1997 era de 39%, devido ao crescimento no setor, este indicador atinge 47% em 2007 (Figura 8), obtendo assim um crescimento de cerca de 8% em dez anos.

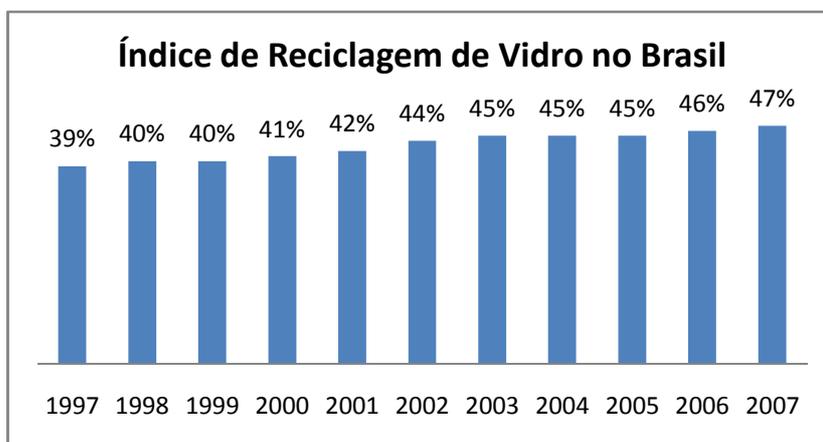


Figura 8 – Índices de reciclagem do vidro no Brasil entre 1997 e 2007
Fonte: ABIVIDRO, 2008.

2.3.2 Características do vidro

Segundo Lorenzi (2008) os materiais vítreos possuem características que provocam curiosidades e possuem também propriedades tecnológicas especiais e úteis, que decorrem de sua natureza. As substâncias vítreas em estado fundido são líquidos relativamente viscosos que, ao serem resfriados, aumentam notavelmente (ou rapidamente) esta viscosidade até que suas moléculas constitutivas percam toda mobilidade, conservando, entretanto, a mesma disposição caótica que possuíam no estado líquido. 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. Sua habilidade de passar progressiva e reversivelmente a um estado cada vez mais flúido, à medida que a temperatura aumenta é, também, uma característica muito importante.

Quando uma substância está no estado líquido ou fundido e vai sofrendo um resfriamento, seus átomos, moléculas ou íons, 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, que 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 (LORENZI, 2008).

Conforme Navarro (2005), um sólido cristalino, ao passar do estado sólido para o líquido sofre uma mudança na fase cristalina, de maneira que aumenta 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.

Van Vlack (2003) afirma que é devido principalmente à estrutura microscópica do vidro, que o mesmo é transparente, visto que, seus átomos constituintes não se arranjam em estruturas ordenadas, sua densidade microestrutural fica relativamente baixa, sendo que a radiação tem muito mais facilidade para atravessar a estrutura sem ser absorvida ou colidir.

Segundo dados da ABIVIDRO (2008), as embalagens de vidro possuem algumas qualidades que se destacam quando comparados às de outros materiais:

- Inércia - o vidro não reage quimicamente, por ser neutro, o conteúdo não sofre alteração de sabor, odor, cor ou qualidade.
- Praticidade - após o uso, a embalagem pode ser novamente fechada, caso não seja utilizado todo o conteúdo.
- Versatilidade - formas, cores e tamanhos são atributos possíveis em peças de vidro.
- Higiêne - o vidro é fabricado com elementos naturais, protegendo o conteúdo durante mais tempo e dispensando a utilização de conservantes adicionais.
- Impermeabilidade - por não ser poroso, funciona como uma barreira contra qualquer agente exterior.

- Reutilização - embalagens vazias de vidro podem ser utilizadas para armazenar qualquer outro conteúdo.
- Reciclagem - o vidro pode ser reciclado infinitamente, sem perder sua qualidade ou pureza. Uma garrafa de vidro gera outra exatamente igual, independente do número de vezes que o caco de vidro vai ao forno para ser reciclado.
- Retornável - embalagens de vidro podem ser reaproveitadas diversas vezes, como é o caso, por exemplo, das garrafas de cerveja e refrigerantes.

Apesar de ser um resíduo sólido não poluente, o vidro não é biodegradável, ou seja, é um material que não se decompõe, permanecendo no meio ambiente por tempo indeterminado, reduzindo assim a vida útil de vários lixões e aterros sanitários em função de uma ocupação volumétrica muito elevada.

O vidro é um material inorgânico e que não entra em combustão, não produz alterações biológicas ou de contaminação da atmosfera quando da sua incineração. A sua degradação química e a erosão física são muito lentas e inocuas em termos ambientais. Por outro lado, a demora da biodegradação do vidro, quando exposto ao meio ambiente, pode ser associada a um aspecto negativo deste material (LIMA & ROMEIRO FILHO, 2001).

2.3.3 Composição química

Conforme Patza et al. (2005), 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 comum a todos os tipos de vidro é a sílica, que é a base do vidro.

Azambuja (2002), afirma que o vidro é a mistura perfeitamente dosada de várias matérias-primas que consistem em silicatos não-cristalinos que também contêm outros óxidos, notavelmente o CaO, Na₂O, K₂O e Al₂O₃. 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% SiO₂, sendo o restante composto principalmente por Na₂O (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, a verdadeira base do vidro.
- **Fundentes** – têm a função de reduzir a temperatura de fusão da sílica. Ex.: carbonato de sódio (Na₂CO₃), carbonato de potássio (K₂CO₃) e óxido de chumbo (PbO).
- **Estabilizantes** – conferem a resistência química a fatores ambientais como a umidade, o calor, a luz e gases naturais. Ex.: carbonato de bário (BaCO₃), carbonato de cálcio (CaCO₃), carbonato de magnésio (MgCO₃) e óxido de alumínio (Al₂O₃).
- **Afinantes** – têm por função a formação de grandes bolhas gasosas na massa vítrea em fusão, que ao libertarem-se para a superfície, arrastam o gás retido sob a forma de minúsculas bolhas. Ex.: óxido de arsênico (As₂O₃), óxido de antimônio (Sb₂O₃) e nitrato de sódio (NaNO₂).
- **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 (Mn₂O₇) e nitrato de potássio (KNO₃).
- **Corantes** – matérias-primas que, misturadas à composição dos vidros brancos, lhes dão a coloração desejada. Ex.: óxido de prata (Ag₂O) para obtenção de vidros amarelos; cobalto (Co) para vidros azuis; manganês (Mn) para vidros ametista; óxido de ferro (FeO) para vidros verdes.

A composição percentual de vidro sílica-soda-cal típico e as propriedades que cada componente confere ao material vítreo pode ser apresentada na Figura 9.



Figura 9 – Composição do Vidro.

Fonte: PATZA, 2005.

Segundo Patza et al. (2005), o principal componente do vidro é a Sílica (SiO_2). A mistura de areia com os demais componentes do vidro é dirigida até o forno de fusão com temperatura de até 1.700°C e, nesse estágio, sua consistência é igual a caramelo. Resfriando-se rapidamente a sílica derretida, uma organização randômica do tetraedro é formada, ligada pelas pontas, originando um material amorfo conhecido como sílica vítrea.

Por razões práticas e econômicas, o ponto de fusão e a viscosidade elevadas do silício (Si) são reduzidos adicionando o óxido de sódio (Na_2O). Estes átomos (Figura 10), conhecidos como formadores da rede, incorporam a rede do silício-oxigênio, de acordo com seus estados de valência (PATZA et al., 2005).

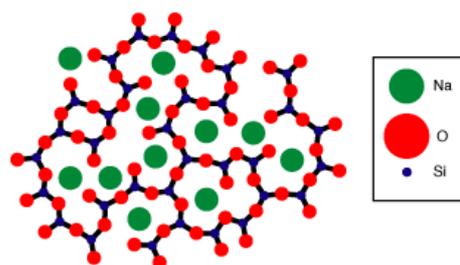


Figura 10 – Estrutura química do vidro sódio-cálcio

Fonte: <http://grandinetti.org>, 2008.

Outros constituintes principais do vidro plano são: o cálcio (Ca) e o magnésio (Mg) que se incorporam à estrutura da rede como modificadores, cuja ação é tornar as estruturas mais complexas. Deste modo, durante o processo de resfriamento

brusco, estes constituintes dificultam a acomodação dos átomos, fazendo com que aumente a viscosidade e a estrutura não se sofra a cristalização (PATZA, 2005).

2.3.4 Classificação dos vidros

Os vidros podem ser classificados principalmente pela sua utilização e composição.

a) Quanto à utilização:

Segundo dados da ABIVIDRO (2008), os vidros podem ser classificados quanto à utilização em:

- **Vidros ocios** - garrafas, potes, frascos, tigelas, travessas, copos, pratos e outros vasilhames fabricados em vidro comum nas cores branca, âmbar verde e azul.
- **Vidros planos** - Esses vidros podem ser classificados em muitas categorias, segundo diferentes critérios técnicos, como, por exemplo, o processo de produção, o acabamento, o nível de transparência, a coloração, dentre outros (PILKINGTON, 2008). Podem ser aplicados em janelas, portas, fachadas, automóveis.
- **Vidros técnicos** - lâmpadas, tubos de TV, vidros para laboratório, para ampolas, para garrafas térmicas, vidros oftálmicos e isoladores elétricos.

b) Quando à composição:

- **Silica vítrea** – é obtido pelo aquecimento da areia de sílica ou cristais de quartzo. Resulta em um vidro bastante viscoso, que possui baixo coeficiente de expansão térmica e alta pureza, utilizado principalmente para produção de fibras óticas.
- **Silicatos alcalinos** - os óxidos alcalinos são incorporados nas composições dos vidros como carbonatos. A adição de alcalinos diminui a resistência química do vidro podendo este se tornar solúvel em água.

- **Vidros sodo-cálcicos** - apresentam entre 8 e 12%, em peso, de óxido de cálcio e de 12 a 17% de óxido alcalino (principalmente óxido de sódio). Usualmente, existe uma pequena quantidade de alumina (0,6 a 2,5%) para aumentar a durabilidade química.
- **Vidros de chumbo** – este tipo de vidro apresenta óxido de chumbo na sua formulação e possui maior faixa de trabalho.
- **Vidros borossilicatos** - o óxido de boro é freqüentemente usado como fluxo em substituição aos óxidos alcalinos. Estes vidros apresentam alta resistência ao choque térmico e aos ataques químicos.
- **Vidros alumino-borossilicatos** – é adicionada a alumina (óxido de alumínio) em uma formulação de vidro silicato alcalino.

Segundo Akerman (2006), os vidros sodo-cálcicos para embalagem apresentam 71,0% de óxidos de sílica, 13,5% de óxidos de sódio e 10% de óxidos de cálcio, como pode ser observado no Quadro 1, que apresenta as composições típicas de diversos vidros comerciais.

Quadro 1 - Composição de vidros comerciais

		SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	PbO
Sodo-cálcicos	Embalagem	72,0	2,0	-	12,5	1,0	11,0	1,5	-
	Plano	71,0	1,0	-	13,5	0,5	10,0	4,0	-
	Lâmpada	73,0	1,0	-	16,5	0,5	5,0	4,0	-
Borossilicato	Pyrex	79,0	2,0	13,0	5,5	-	-	-	-
	Fibra isolamento	66,0	1,5	3,5	15,5	1,0	8,0	4,0	-
Chumbo	Cristal	56,0	-	-	4,0	12,0	2,0	2,0	24,0
	Néon	63,0	1,0	-	8,0	6,0	-	-	22,0
	Lente	32,0	-	-	1,0	2,0	-	-	65,0
Alumino-borossilicato	Farmacêutico	72,0	6,0	11,0	7,0	1,0	1,0	-	-
	Fibra reforço	55,0	15,0	7,0	-	-	19,0	4,0	-
	Tube combustão	62,0	17,0	5,0	1,0	-	8,0	7,0	-
Sílica Vítreá	Fibra ótica	99,5	-	-	-	-	-	-	-

Fonte: AKERMAN, 2006.

2.3.5 Propriedades dos vidros

Segundo Rodrigues e Zanotto (1998), a grande variabilidade quando aos tipos de vidros os torna extremamente atraentes, tanto do ponto de vista científico quanto tecnológico. Os vidros de óxidos possuem enorme variabilidade e flexibilidade de propriedades físico-químicas, aliadas à possibilidade de se testar

um número infinito de composições, devido ao tipo de estrutura desordenada que pode aceitar quaisquer elementos químicos em sua estrutura. O Quadro 2 apresenta algumas propriedades dos vidros de óxidos.

Quadro 2– Propriedades características dos vidros de óxidos

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

Fonte: RODRIGUES e ZANOTTO (1998).

a) Propriedades mecânicas

Segundo Navarro (2001), o comportamento do vidro ante os distintos tipos de esforços mecânicos aos quais 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.

A baixa deformação mecânica do vidro é decorrente de sua baixa organização estrutural. 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 composição química para se aumentar a resistência mecânica dos vidros, pois, o estado da superfície, têm participação muito superior que as ligações entre as moléculas. Então deve-se proteger a superfície contra fissuras decorrentes do manuseio. A têmpera, por exemplo, cria uma tensão de compressão em toda a superfície da peça dificultando a penetração da trinca e sua propagação (AKERMAN, 2006).

b) Propriedades químicas

Entre as principais características dos vidros destaca-se sua elevada resistência química que, com exceção de determinadas composições, como 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, 2001).

c) Propriedades térmicas

Segundo Akerman (2006), os vidros, em geral, são maus 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.

As variações de composição exercem certa influência sobre os valores da condutividade térmica nos vidros. Como esta 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, 2001).

2.3.6 Processos de fabricação de vidro

2.3.6.1 Fabricação industrial de vidro

Dentre os processos de fabricação de vidro está o industrial, onde a mistura de areia com os demais componentes do vidro é dirigida até o forno de fusão através de correias transportadoras. Com temperatura de até 1.700°C, a composição é fundida, afinada e condicionada termicamente, transformando-se numa massa vítrea pronta para ser conformada. O vidro pode ser conformado por sopro (vidros ocos), prensagem (pratos), fiação (fibra ótica) e tubos, além da laminação (vidro plano).

2.3.6.2 Fabricação artesanal de vidro

Segundo Schuartz (2002), a fabricação artesanal de vidro pode ser dividida em vidro frio e vidro quente devido à forma de trabalho e às ferramentas utilizadas.

a) Vidro frio

As técnicas de vidro frio são aquelas onde não há o aquecimento de vidro. Portanto se trabalha com o vidro já fundido, seja ele plano ou oco. Dentre as técnicas tem-se: corte, lapidação, gravação, jato de areia, corrosão e colagem.

- **Corte** – o vidro pode ser “cortado” através do risco feito pelo diamante, que possui uma dureza superior à do vidro. Ao ser riscado, o vidro cria um “defeito” na superfície que facilita o corte no local marcado. Em seguida é exercida uma pequena força no vidro e ocorre a separação.
- **Lapidação** – esta técnica visa eliminar rebarbas, cantos vivos e partes cortantes de qualquer técnica utilizada na confecção da peça.
- **Gravação** – utiliza-se uma ponta diamantada muito fina acoplada a um motor elétrico de baixa rotação. Ao entrar em contato com a peça de vidro a ponta diamantada remove uma pequena parte da superfície.

- **Jato de areia** – Consiste em jatear o vidro com areia e água, fazendo com que o mesmo fique com uma superfície fosca e desgastada; pode ser utilizado para a opacação e para o desbaste. A opacação é um recurso de desenho, enquanto o desbaste é um recurso de escultura já que produz baixo relevo.
- **Corrosão** – trata-se do ataque da superfície do vidro através do ácido fluorídrico, que possui um forte poder corrosivo. Ao atacar o vidro, o ácido deixa uma superfície fosca e desgastada, semelhante à do jato de areia.
- **Colagem** – é um recurso bastante utilizado para restauro e acabamento de peças, principalmente na área artística. Podem ser utilizados diversos adesivos, como é o caso do silicone, do epóxi e da resina UV.

b) Vidro quente

Schuartz (2002) afirma que as técnicas de vidro quente são aquelas onde há o aquecimento de vidro. Pode-se dividir em baixas temperaturas e altas temperaturas. As baixas trabalham com o vidro entre 450 e 950°C e as altas trabalham entre 950 e 1600°C. Cada uma destas técnicas utiliza um tipo de forno específico. Para trabalhos em baixas temperaturas empregou-se técnicas como a moldagem, o *fusing*, o *casting* e a tocha, enquanto para o trabalho em altas temperaturas temos o sopro em cana.

- **Moldagem** - consiste no aquecimento do vidro sobre um molde confeccionado em fibra cerâmica, manta seca ou molhada, ferro-aço, concreto celular ou gesso, onde o vidro obterá a mesma forma do molde.
- **Fusing** – segundo Fernandes (2004), *fusing* consiste no processo de fusão de uma ou mais chapas de vidro acomodadas sobre um molde e fundidas em média a 800°C. Esta técnica é muito utilizada em ateliês, por artistas e artesãos. Além dos variados formatos, os produtos obtidos pelo *fusing* podem ter inúmeras variações decorrentes do uso de chapas de vidro de diferentes espessuras, cores, e acabamentos.

- **Casting** – neste processo um ou mais pedaços de vidro perdem totalmente sua forma inicial, soldando-se um ao outro; formando assim um trabalho maciço. Dependendo da qualidade de vidro, as marcas da solda podem aparecer mais ou menos e até desaparecer.
- **Tocha (Maçarico)** - Trata-se do aquecimento de bastões de vidro, maciços ou ocos, através de um maçarico a gás.
- **Sopro em cana** – Segundo Fernandes (2004), o processo de sopro é predominantemente utilizado na produção industrial. Artesanalmente é um processo milenar de difícil execução que consiste na colocação de massa vítrea na extremidade de uma haste metálica e soprá-la na outra extremidade. Por ser de difícil execução, requer anos de treino e experiência dos operadores, necessitando assim, de mão de obra especializada.

c) **Moldes para fabricação artesanal**

Para adquirir formatos bi ou tridimensionais pode-se recorrer aos moldes. Estes, por sua vez, se comportam como fôrmas que com o aquecimento do vidro permitem a acomodação sobre os mesmos.

Segundo Schuartz (2002), os moldes para vidro podem ser, principalmente, de: biscoito de cerâmica, gesso e quartzo, *wet felt* (manta molhada), grafite, placa de fibra cerâmica, aço, ferro, concreto celular, gesso e manta de fibra cerâmica.

- **Biscoito de cerâmica** – são moldes em barro, permanentes e rígidos. Quanto mais são utilizados, mais duros e resistentes ficam. Neste tipo de molde é fundamental manter um ângulo de saída, pois qualquer reentrância irá travar o objeto no mesmo.
- **Gesso e quartzo** – trata-se de uma mistura, em partes iguais, de gesso e quartzo. É um molde descartável e se desmancha ao desenformar quando trabalhado acima de 950°C. Ideal para esculturas e trabalhos muito detalhados.

- **Wet felt** - é uma manta umedecida que pode ser moldada e ao secar endurece. É um molde permanente e rígido, um material extremamente versátil e de fácil utilização, porém dificilmente é encontrado no Brasil.
- **Grafite** – trata-se de um molde que possui maior aplicação na indústria devido ao seu alto custo. É um material extremamente resistente e permanente, adquirido em blocos que podem ser torneados.
- **Placa de fibra-cerâmica** – são placas recortáveis, ideais para formas geométricas retas. São moldes permanentes que se desgastam em aproximadamente 20 queimas.
- **Aço** - são fôrmas feitas em chapas de aço repuxadas que dão origem a um molde permanente, porém sem muitos detalhes devido à técnica de repuxo.
- **Ferro** – são moldes bastante similares aos de aço, porém indicados para temperaturas inferiores.
- **Concreto celular** - é um molde de fácil fabricação, baixo custo e fabricação artesanal. Através de ferramentas especializadas o bloco é esculpido ou escavado, porém não resiste a mais de 10 queimas.
- **Gesso** – é um molde feito em gesso comum preparado com a adição de água e em seguida ressecado. Possui as mesmas propriedades que o molde de gesso e quartzo, porém trinca a partir de 700°C.
- **Manta de fibra cerâmica** – trata-se do mesmo material da placa de fibra cerâmica, porém mais fácil de trabalhar. O resultado de um revestimento de manta é uma superfície rugosa, que pode ser suavizado polvilhando-se pó de caulim por sobre a mesma.

A escolha do molde ideal pode ajudar no processo de fabricação artesanal de peças em vidro, tendo em vista que cada molde possui uma temperatura máxima de resistência (Figura 11).

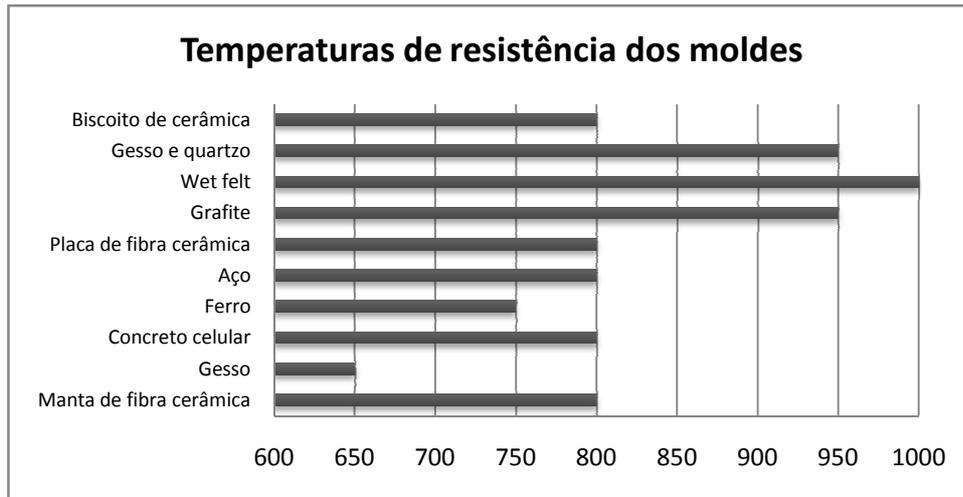


Figura 11 – Temperaturas de resistência dos moldes
 Fonte: SCHUARTZ, 2002.

O vidro pode estar posicionado sobre o molde de três maneiras principais: interno sem aba, interno com aba e externo (Figura 12).

- **Interno sem aba** – o vidro fica totalmente no interior da parte côncava do molde. Neste caso, após a fusão o vidro desce em relação à posição inicial, diminuindo a largura.
- **Interno com abas** – o vidro fica apoiado em abas laterais, de maneira que requer um mínimo de elasticidade para entrar na parte côncava do molde durante a fusão.
- **Externo** – trata-se de um molde convexo, onde o vidro é trabalhado pelo lado de fora.

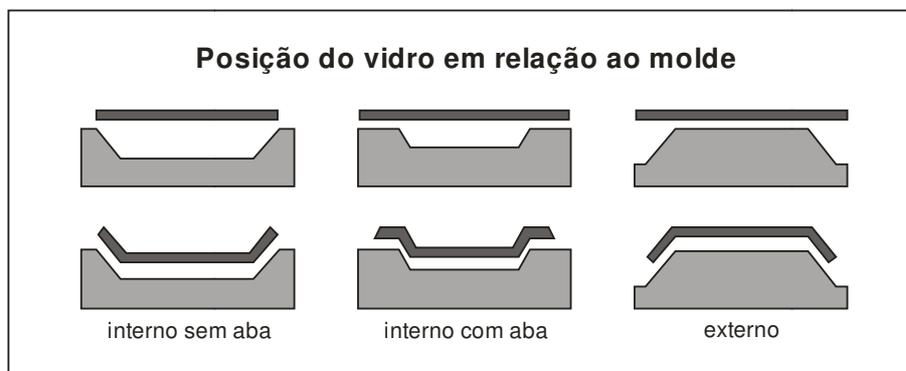


Figura 12 – Posição e resultado da fusão do vidro em relação ao molde
 Fonte: SCHUARTZ, 2002.

Conforme Schuartz (2002), os moldes precisam possuir ângulos de saída das peças, garantindo, portanto que o vidro não fique fixado ao molde. Para tal adota-se um ângulo mínimo de 110° com a base (Figura 13), onde valores inferiores poderão acarretar em perda do molde e da peça, dependendo da temperatura em que a mesma for submetida.

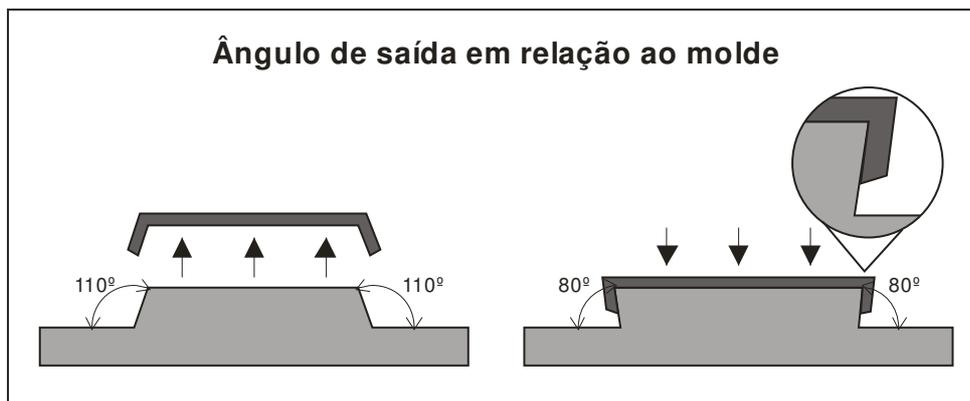


Figura 13 – Ângulo de saída das peças
Fonte: SCHUARTZ, 2002.

2.3.7 Tratamentos térmicos em vidros

Durante o processo de fabricação, o vidro deve receber um tratamento térmico, que fará com que o material obtenha melhores propriedades. Os dois principais tipos de tratamentos térmicos em vidro são a têmpera e o recozimento.

a) Processo de têmpera

No processo de têmpera, o vidro é submetido a um aquecimento controlado que eleva sua temperatura e, logo em seguida, passa por resfriamento brusco, resultando em um choque térmico responsável pelo aumento de sua resistência mecânica, preservando suas características de transmissão luminosa e composição química.

O vidro temperado é considerado um vidro de segurança, pois quando fraturado (Figura 14) se fragmenta em pequenos pedaços, com arestas menos cortantes. Tem resistência mecânica cerca de quatro a cinco vezes superior à do vidro comum. Entretanto, depois de acabado, não permite novos processamentos

de cortes, furos ou recortes, estes devem ser realizados antes do tratamento térmico. Os vidros temperados são amplamente utilizados em *box* de banheiro e vidros de carro.



Figura 14 – Vidro temperado fragmentado em pequenos pedaços
<http://www.vidraria-armando.pt/imagens/temp.jpg>

b) Processo de recozimento

Durante o processo de recozimento, o vidro é aquecido de maneira uniforme até uma determinada temperatura abaixo do seu ponto de fusão. Esta temperatura é mantida até que todas as tensões (causadas pelo processo de conformação) sejam removidas. Após o aquecimento, a peça é resfriada lentamente, até a temperatura ambiente, para que novas tensões não sejam criadas.

O recozimento alivia as tensões geradas durante a conformação e o resfriamento que possivelmente quebrariam ou pelo menos fragilizariam a peça. A presença de tensões provoca a diminuição da resistência mecânica e produz birrefringência.

Segundo Simões (1997), birrefringência é o termo utilizado para designar a refração da luz em dois raios polarizados ortogonais entre si. A diferença das velocidades de propagação dentro do meio e suas refrações acusam pontos de tensão de compressão e tração no material.

As peças submetidas ao processo de recozimento passam um ciclo térmico controlado que depende da composição do vidro, da forma e dimensões da peça e do grau de eliminação de tensões desejado.

2.3.8 Pigmentação de vidros

Os vidros podem ser coloridos na massa vítrea, para isso são produzidos com a adição de óxidos metálicos e/ou terras nobres à composição do vidro. Estas pequenas adições pigmentam o vidro de maneira homogênea, mas não afetam as propriedades básicas do mesmo exceto pelas mudanças na transmissão de energia luminosa.

A maioria dos produtos de vidro plano contém pequenas quantidades de óxido de ferro que produz um tom cinza geralmente percebido apenas quando a placa de vidro é vista pela borda.

Para se pigmentar o vidro com tom esverdeado deve-se adicionar óxidos de ferro (Quadro 3). Para resultados azulados utiliza-se óxido de cobalto. O óxido de manganês resulta no tom avermelhado e o óxido de níquel para tons amarelados.

Quadro 3 – Pigmentação de vidros por meio de óxidos

Reagente	Cor
Fe ₂ O ₃	Verde-Azulada
Fe ₂ O ₃ c/ FeS	Âmbar-marrom
CoO	Azul
CuO c/ CO ₂	Vermelha
Cr ₂ O ₃	Amarela
TiO ₂	Lilás
Se	Rósea
Pt	Azul-clara
C	Marrom-preta

A pigmentação de vidros é utilizada na área de embalagens, decorações e vidros especiais como filtros óticos. Alguns vidros são mais fáceis de colorir, como é o caso dos vidros de óxido de chumbo, sódio-cálcio e alcalinos, já os vidros borossilicatos e de sílica pura (quartzo) são mais difíceis.

2.3.9 Desvitrificação

A desvitrificação, ou cristalização ocorre quando a superfície do vidro se torna parcialmente cristalina. Pode ser um processo natural dos materiais siliciosos,

onde, conforme o vidro vai absorvendo a umidade da atmosfera ou de um ambiente submerso ocorre a cristalização da sua superfície, tornando esta hidratada no decurso dos tempos e, por isso, eventualmente, desvitrificada. Como resultado tem-se um vidro com aparência congelada ou enevoadada, e iridescente (SCHUARTZ, 2002).

A desvitrificação também pode ocorrer durante o processo de aquecimento do vidro, onde temperaturas acima de 700°C, mantidas por muito tempo (resfriamento lento), podem ocasionar a cristalização da superfície. A cristalização pode ser definida como a formação de uma fase sólida, com uma ordenação geométrica regular, a partir de uma fase estruturalmente desordenada. Esta mudança de fase requer uma diminuição da energia livre do sistema para que o processo seja espontâneo. Considerando-se que o vidro está num estado metaestável, a cristalização ocorrerá no sentido de alcançar o equilíbrio.

Segundo Schuartz (2002), durante o processo de fabricação artesanal, para evitar a desvitrificação e manter a característica amorfa do vidro quando aquecido a temperaturas acima dos 700°C, deve-se utilizar o seguinte procedimento de preparação térmica:

- Aquecer o forno até metade da temperatura desejada e manter durante 30 minutos. Portanto, se a temperatura desejada é de 800°C, deve-se manter durante 30 minutos nos 400°C para preparar o vidro para temperaturas superiores;
- Aquecer até a temperatura desejada, portanto aos 800°C, seguindo o exemplo anterior;
- Ao chegar à temperatura desejada, o forno deve ser levemente aberto por cerca de 15 segundos (choque térmico). Durante esta etapa pode-se observar a conformação do vidro. Este estará em um tom alaranjado e os esmaltes de pigmentação estarão temporariamente transparentes;
- O forno deverá ser fechado e as peças só devem ser retiradas quando chegarem à temperatura ambiente.

Schuartz (2002) afirma que este procedimento garantirá que a superfície do vidro não se torne cristalina. Não se trata de um tratamento térmico de têmpera, contudo, também garantirá um vidro mais resistente a mudanças de temperatura devido ao leve choque térmico obtido com a abertura do forno. Ao manter a estrutura desordenada, portanto um sólido amorfo, o vidro possuirá o mesmo brilho e transparência que antecedem a fusão.

2.4 RECICLAGEM

Paiva & Ribeiro (2005), definem a reciclagem como todas as ações que tenham como objetivo permitir a reutilização de materiais e/ou produtos, de modo a estender seu ciclo de vida e diminuir os problemas com a forma de disposição dos resíduos ou de emissão de poluentes.

Segundo dados do *Population Reference Bureau* (PRB, 2004), o aumento da população mundial é atualmente de mais de 79 milhões de pessoas por ano. Esse ritmo de aumento populacional põe em perigo o desenvolvimento econômico e social e repercute no meio ambiente com o aumento do lixo e a desenfreada exploração dos recursos naturais. A reversão desse processo passa pela formação de uma mentalidade que definitivamente posicione o ser humano como parte integrante e dependente dos recursos do planeta. Isto pode ser atingido por meio da adoção de políticas de desenvolvimento sustentável, atendendo às carências dos seres humanos, sem, entretanto, sacrificar o capital natural da Terra.

A reciclagem dos resíduos sólidos gerados pelas indústrias para uso como matérias-primas alternativas não é nova e tem sido efetuada com sucesso em vários países. As razões que motivam esses países, em geral, são: o esgotamento das reservas confiáveis; a conservação de fontes não renováveis; melhoria da saúde e segurança da população; a preocupação com o meio ambiente e a necessidade de compensar o desequilíbrio econômico provocado pela alta do petróleo, notadamente nos países onde há marcante escassez de matérias-primas (ENBRI, 1994).

Segundo Assad (2003), para minimizar a quantidade de resíduos sólidos e possibilitar a consecução do objetivo da sustentabilidade ambiental, é necessário aplicar a política dos 3 Rs: Reduzir, Reutilizar e Reciclar.

- **Reduzir** significa consumir menos produtos, preferir aqueles que ofereçam menor percentual de geração de resíduos e que tenha maior durabilidade;
- **Reutilizar** é usar novamente as embalagens. Exemplo; os potes plásticos de sorvetes servem para guardar alimentos ou outros materiais;
- **Reciclar** envolve a transformação dos materiais, por exemplo, fabricar um produto novo a partir de um material já usado.

Conforme Armelline (2004) embora os resíduos de vidro não sejam o lixo mais incômodo, sob o ponto de vista da toxicidade, ele assusta pelo seu volume crescente e requer soluções. Estes são lançados, de maneira aleatória e irregular na beira de estradas, em terrenos ou nos lixões da cidade podendo provocar ferimentos e doenças nas pessoas que os manipulam. Essa disposição inadequada acarreta uma série de problemas para a população que retira dos lixões e aterros o seu sustento. Os “cacos de vidro” apresentam um perigo à saúde das pessoas uma vez que podem provocar cortes profundos, ou seja, uma porta de entrada de microorganismos patogênicos presentes no local.

Segundo Lima (2005), o nível de reciclagem é determinado pela produção da matéria reciclável em proporção ao total de matéria virgem utilizada no processo industrial. O Brasil produz, em média, 800 mil toneladas de embalagens de vidro por ano. E dessas, cerca de 30% são produzidas a partir de sucata de vidro (cacos). A estimativa do nível de reciclagem do vidro no Brasil é de 47%.

Sabe-se hoje que um quilo de vidro usado pode produzir um quilo de vidro novo, tantas vezes que forem necessárias. No processo de reciclagem do vidro há economia de matérias primas naturais, de energia - temperatura necessária para fusão do vidro reciclado é mais baixa - e menor geração de poluentes. Atualmente

a maior parte da reciclagem do vidro para produção de novos produtos se dá de forma industrial.

Conforme Rocha (1997), o vidro como resíduo sólido é 100% e infinitamente reciclável. Uma tonelada de vidro reutilizado economiza cerca de 290 kg de petróleo e 1.200 kg de matéria prima que seriam gastos em fusão, enquanto na produção do vidro “virgem” são gastos 1.200 kg de matéria-prima para cada 1.000 kg de vidro. A extração da matéria-prima necessária à fabricação de vidro material agride a natureza e o meio ambiente.

A maioria das empresas que fabrica produtos utilizando vidro reciclado acrescenta matéria prima virgem e outras substâncias na composição da nova massa. Como essa adição fica entre 40% a 70% de material virgem o que se obtém são produtos em vidro semi reciclados. O acréscimo de matérias primas virgem e outros elementos químicos na massa, tem o intuito de aumentar a transparência do produto final. Já a produção utilizando 100% de vidro reciclado, apresenta um material menos transparente, esverdeado e menos valorizado no mercado sendo por isso menos comum a sua utilização (FERNANDES, 2004).

Segundo Fernandes (2004), o processo de reciclagem de vidro mais comum e mais conhecido consiste no aquecimento constantemente do vidro até que o mesmo se torne viscoso, possibilitando a produção de novos produtos.

Conforme dados da ABIVIDRO (2008), o ciclo de vida dos vidros de embalagens (Figura 15) consiste primeiramente na fabricação destas por meio das indústrias vidreiras que utilizam as matérias-primas necessárias. Em seguida elas passam pelo processo de envasamento, onde o conteúdo das embalagens é introduzido. Após esta etapa os produtos são embalados e distribuídos para os consumidores. Posteriormente há o descarte das embalagens, que são coletadas, limpas e selecionadas para poderem ser trituradas. Após trituradas as embalagens de vidro entram no processo de fabricação pelas indústrias e todo o ciclo é repetido.



Figura 15 – Ciclo de vida do vidro
 Fonte: ABIVIDRO, 2008.

Segundo Luna (2007), cada vidro possui uma composição química diferente, impossibilitando a mistura entre os de composições diferentes, devido aos distintos coeficientes de dilatação. A mistura pode acarretar no estresse na peça, ou seja, o vidro pode trincar, sem que tenha havido um choque mecânico, portanto é de suma importância a separação entre o vidro plano e oco.

Conforme dados da ABIVIDRO (2008), no ano de 2007, cerca de 37 milhões de dólares foram investidos no segmento de vidros planos no Brasil (Quadro 4), chegando a uma capacidade de produção de 1.240 mil toneladas. Este valor rendeu cerca de 1.183 milhões de reais ao país e seus índices de exportações chegaram a 141 milhões de dólares americanos.

Quadro 4 – Perfil do segmento de vidros planos no Brasil

ANO	FATURAMENTO (milhões R\$1)	CAPACIDADE DE PRODUÇÃO (mil toneladas)	INVESTIMENTO (milhões US\$)	EXPORTAÇÕES (milhões US\$)
2002	924	1.050	39	71
2003	968	1.050	66	92
2004	998	1.240	63	115
2005	1,033	1.240	21	138
2006	1,095	1.240	25	139
2007	1,183	1.240	37	141

Fonte: ABIVIDRO, 2008.

Contudo a reciclagem de vidro plano é vista como inviável devido ao montante deste ser muito inferior ao de vidros ocos, tornando sua coleta desvantajosa tanto para os catadores quanto para grandes indústrias. O vidro plano, contudo, pode ser reciclado artesanalmente, portanto, foi no processo artesanal de reciclagem de vidro que esta pesquisa se concentrou, neste método o vidro é fundido novamente para a confecção de novos produtos. Com técnicas mais baratas e simples, este estudo visa a produção em série, propondo o fomento da atividade produtiva de rápida e simples execução voltada para mão de obra pouco qualificada.

2.5 PROJETO DE RECICLAGEM ARTESANAL DE VIDRO

Na pesquisa realizada por Fernandes (2004), sistematizou-se a utilização de sucata de vidro de embalagens de bebidas visando sua aplicação em produtos, com objetivo decorativo, na produção em pequenas e médias escalas, de natureza artesanal. São apresentados os ensaios realizados com diferentes tipos de sucata de vidro com o objetivo de testar os melhores resultados para reaproveitamento e transformação do material em novos produtos.

Foi desenvolvida uma metodologia para preparação e utilização de vidros reciclados: classificação de procedência, cor, limpeza, método de moagem, classificação granulométrica, aplicação em ensaios, temperaturas de queima - bem como registro de todos os passos e resultados. Utilizou-se a técnica de *fusing* (Figura 16a) e *slumping* (16b).

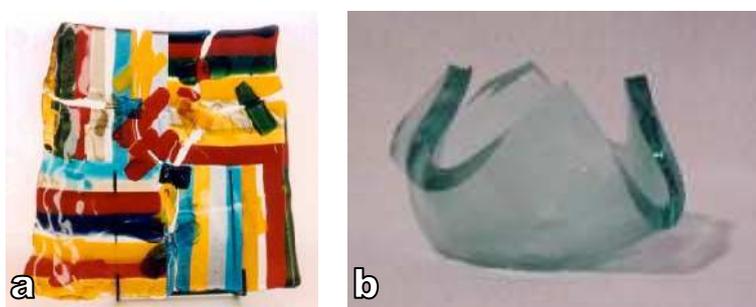


Figura 16 – Peça de vidro obtida através da técnica de *fusing* e *slumping*
Fonte: FERNANDES, 2004.

Foram coletados diferentes tipos de vidros para a realização dos primeiros testes: garrafas de vidro, potes e embalagens em geral, vidros de carro e vidros planos. Esses foram classificados de acordo com sua cor, marca, procedência (local de origem). Devido à necessidade de eliminar resíduo nos vidros coletados, estes foram submetidos à limpeza: retirada dos rótulos, tampas, restos das bebidas e outras impurezas.

Depois de limpos os vidros foram submetidos à moagem e classificados em diversas granulometrias, entre #6 e #100. O processo de trituração foi manual, podendo ser utilizado moinho de bola.

As amostras foram catalogadas e etiquetadas indicando: cor, proveniência (marca e fabricação) e granulometria. Posteriormente foram submetidas a diversas temperaturas de queima para verificar a melhor temperatura/ resultado obtido. Para essas queimas, as sucatas de vidro foram acomodadas em corpos de prova para que também fosse testado um possível material para a composição do molde dos produtos.

Durantes as queimas experimentais foram analisados: a) comportamento dos diferentes tipos de vidros quando submetidos a médias temperaturas; b) comportamento dos materiais dos corpos de provas também quando submetidos a médias temperaturas; c) comportamento entre as sucatas de vidro e os corpos de prova – desmoldabilidade, outras reações; d) análise das características dos vidros depois da queima.

As queimas foram realizadas com corpos de prova confeccionados de terracota, proveniente do município de Antonina, região metropolitana de Curitiba, e devidamente identificados, nas temperaturas: 750°C, 800°C, 850°C, 900°C, 950°C, 1000°C e 1050°C.

Verifica-se que todas as amostras de sucatas de vidro das diferentes malhas fundiram por completo a 1000°C. Também foi observado que nesta temperatura o vidro fixou-se no corpo de prova cerâmico (Figura 17).



Figura 17 – Amostras resultantes com corpo de prova de terracota
 Fonte: FERNANDES, 2004.

Na queima com os corpos de prova em gesso, feldspato e quartzo, o vidro moído também fundiu a 1000°C, e não aderiu ao corpo de prova, como pretendido, obtendo-se, portanto pequenas chapas de vidro reciclado (Figura 18).



Figura 18 – Resultados da queima com corpo de prova de gesso, feldspato e quartzo
 Fonte: FERNANDES, 2004.

As amostras que tiveram sucatas de proveniências, cores e malhas diferentes misturadas, fundiram normalmente - como as amostras “puras” - fundindo-se entre si, mas conservando o “grafismo” inicial (Figura 19).



Figura 19 – Amostras com sucatas diferentes misturadas
 Fonte: FERNANDES, 2004.

As amostras apresentaram bons resultados estéticos e mantiveram-se translúcidas, embora rústicas pela presença de pequenas bolhas e texturas.

O material do corpo de prova – mistura de gesso com feldspato e quartzo – mostrou-se muito frágil para ser submetido a diversas queimas, apesar de permitir que o vidro se soltasse facilmente depois de fundido e não interferir no formato e textura do mesmo.

Com esse mesmo material – gesso, feldspato e quartzo – nos corpo de prova, foram realizadas novas queimas experimentando diferentes formatos para observar como reagiria o vidro e o próprio material de suporte - molde. Foram feitos moldes em três formatos: um com formato de caixa; outro com base quadrada e relevo semi-esférico em uma de suas faces; e um terceiro semelhante ao segundo, mas com um vazado circular ao invés do relevo. Os moldes foram preenchidos com a sucata de vidro de automóvel de malha #06 - já que essa apresentou melhor resultado em relação às granulometrias menores - e foram submetidos a temperatura de 1000°C.

As peças resultantes apresentaram resultados positivos embora, por serem mais espessas que os primeiros corpos de prova, as peças apresentaram menor translucidez e tonalidade mais esverdeada. Na peça com formato de caixa, há a hipótese do vidro não ter fundido completamente já que este ficou opaco e áspero (Figura 20).

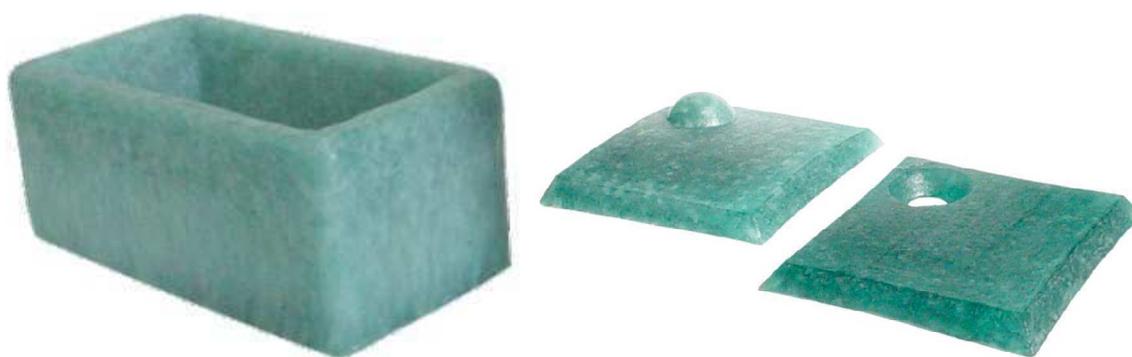


Figura 20 – Resultados das peças experimentais
Fonte: FERNANDES, 2004.

Como esperado, o material do molde não se mostrou o mais indicado, visto que não resistiu a diversas queimas, quebrando com facilidade.

Portanto, verificou-se que o trabalho apresentou avanços em relação à inserção de novas técnicas de produção com aproveitamento de sucata de vidro. Diante dos testes experimentais realizados e resultados conseguidos podem-se levantar algumas hipóteses que levarão a novos testes, ensaios e possivelmente a conclusões mais precisas. Inicialmente deverão ser testados novos materiais para a confecção do molde. Uma possibilidade seria sua confecção em material cerâmico impermeabilizado com caulim e alumina. Posteriormente deverão ser verificadas: as quantidades de matéria prima necessárias por produto, custos de procedimentos, e como se dariam as reciclagens dos produtos confeccionados, entre outros. Com relação aos procedimentos de preparação do vidro é importante verificar como estes seriam em maiores escalas produtivas: se contariam com o auxílio de máquinas ou seriam manuais; bem como definir a infra-estrutura necessária para viabilizar uma unidade produtiva.

Apesar disto o caminho percorrido demonstra a vantagem da associação da tecnologia ao design na busca de soluções que contribuam com o desenvolvimento e produção de bens sustentáveis.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão apresentados aspectos referentes aos materiais utilizados na presente pesquisa, assim como as técnicas e processamentos empregados na caracterização e reciclagem dos resíduos vítreos.

3.1 MATERIAIS

Os principais materiais utilizados nesta pesquisa foram os resíduos vítreos (plano e oco), provenientes de vidraçarias e do descarte urbano do município de Campina Grande-PB, além do concreto celular, o caulim e os esmaltes (vítreos e porcelânicos).

3.1.1 Vidro

O resíduo de vidro plano (Figura 21a) é proveniente de vidraçarias localizadas na cidade de Campina Grande. Os resíduos de vidro oco (Figura 21b) são oriundos da coleta seletiva realizada no município. Estes materiais foram beneficiados (separação por tipo e cor, lavagem e trituração) antes da caracterização e processamento.



Figura 21 – Resíduos vítreos plano (a) e oco (b) utilizados na pesquisa
Fonte: Pesquisa direta, 2008.

3.1.1.1 Preparação das amostras

Os resíduos de vidro plano de 4mm e de 10mm foram cortados em quadrados com 7,5cm (para compor a base das amostras) e quadrados de 4cm para sobreposição. Já os vidros ocós foram classificados (por cor e tipo), lavados e triturados. Além dos resíduos vítreos foram utilizados os esmaltes para composição das amostras.

Foram preparadas 6 (seis) composições envolvendo vidros planos (4mm e 10mm), ocós coloridos e esmaltes (vítreo e porcelânico), Figura 22, e para cada composição foram preparadas 18 (dezoito) amostras.

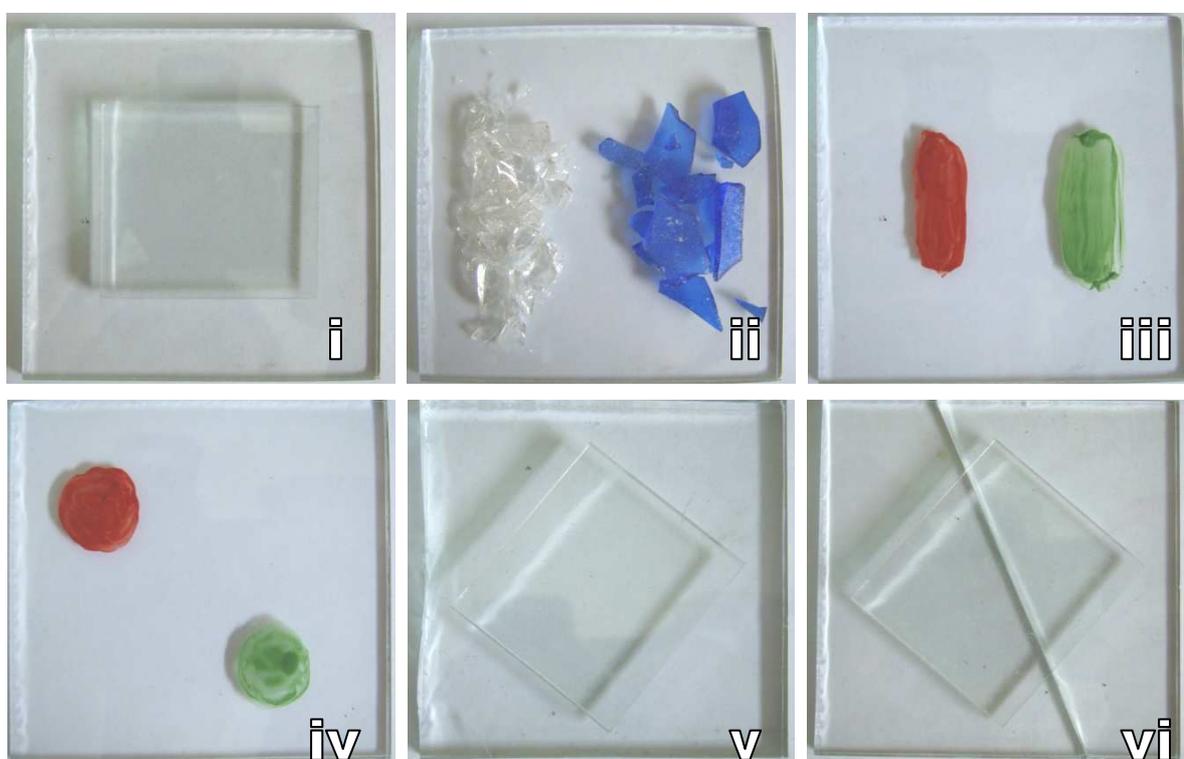


Figura 22 – Composições vítreas antes da queima

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

A composição 1 (Figura 22i) foi preparada pela sobreposição de dois quadrados de lados diferentes. A composição 2 (Figura 22ii) foi preparada utilizando sobre a base cacos de vidro ocó azuis e brancos dispostos em duas fileiras. Nas composições 3 (Figura 22iii) e 4 (Figura 22iv) foram adicionados os esmaltes porcelânicos e vítreos, respectivamente, nas cores vermelho e verde formando fileiras e círculos. A composição 5 (Figura 22v) foi preparada a partir do

sobreposição de um losango e um quadrado (base 10mm). A composição 6 (Figura 22vi) foi preparada pela sobreposição de um losango e um quadrado (base 4mm) fraturado ao meio.

3.1.2 Concreto celular

Os moldes utilizados na fabricação das peças de vidro foram confeccionados em blocos de concreto celular - produto constituído pela mistura de cal, cimento, areia, pó de alumínio e água (argamassa), que expande proporcionando o surgimento de poros, tornando-o leve - de alta resistência à compressão e ao fogo. Os blocos chegaram ao laboratório com dimensões de 70x30x10cm (Figura 22).



Figura 23 – Concreto Celular

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Foram confeccionados 6 (seis) moldes com dimensões de 15x30x10cm, com uma meia esfera (3x1,5cm) esculpida em baixo relevo. Cada um acomodou 3 (três) amostras (Figura 24).

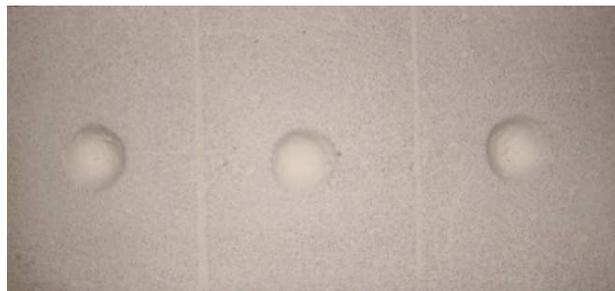


Figura 24 – Moldes em concreto celular para acomodação das amostras

Fonte: Fonte direta, 2008.

3.1.3 Caulim

O caulim utilizado nesta pesquisa foi adquirido no comércio local, tendo sido utilizado para o isolamento e recobrimento dos moldes de concreto celular. Além de facilitar o processo de desmoldagem das peças produzidas

3.1.4 Esmaltes vítreos e porcelânicos

Os esmaltes utilizados na pigmentação das amostras foram do tipo vítreo e porcelânico. Durante a aplicação do mesmo sobre o vidro foi necessária a diluição em água (proporção de 20% para água, e 80% para o esmalte em pó). Os esmaltes apresentam temperaturas de fusão diferentes, motivo pelo qual se faz necessário estudar seu comportamento a fim de otimizar seu uso.

3.2 MÉTODOS

Foram realizados ensaios quanto: a caracterização dos resíduos (análise química, análise térmica diferencial e termogravimetria); o comportamento do vidro em função das temperaturas de queima (processamento). Além dos ensaios também foram realizadas oficinas de formação dos catadores de resíduos vítreos (capacitação para a reciclagem).

3.2.1 Caracterização dos resíduos vítreos

3.2.1.1 Análise química

Os resíduos de vidros planos eocos foram submetidos à análise química, segundo técnicas clássicas e instrumentais no Laboratório de Análise Minerais do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande-PB.

3.2.1.2 Análise térmica

a) Análise térmica diferencial (DTA) / Termogravimetria (TG)

As curvas de análise térmica diferencial e termogravimétrica foram obtidas em um sistema de análise térmica SHIMADSU, modelo DTG-60, em atmosfera de nitrogênio com cadinho de alumina, fluxo de $110\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e razão de aquecimento de $10^\circ\text{C}/\text{min}$, com massa inicial de $10,1\text{mg}$ e temperatura máxima de 1000°C . Estas análises foram realizadas no Laboratório de Termoquímica e Combustíveis do Departamento de Química da Universidade Federal da Paraíba.

3.2.2 Comportamento vítreo em função das temperaturas de queima

Para analisar o comportamento das composições vítreas em função das temperaturas de queima, foi utilizado um forno da marca Jung Blumenau, modelo MCJ-10S NICR-NI48,09mV (Figura 25) com dimensões internas de $65\times 50\times 50\text{cm}$.



Figura 25 – Forno Jung Blumenau MCJ-10S NICR-NI48,09mV

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Foram estudadas 4 (quatro) temperaturas (700°C , 750°C , 800°C e 850°C) e três procedimentos para queima das composições, como apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Lista das composições vítreas e temperaturas de queima

Comp.*	Descrição	Temperatura de queima					
		a	b	c	d	e	f
1	Vidro plano 4mm + Vidro plano 4mm	700°C	750°C	800°C	850°C	800°C + T.P.** + C.T.***	800°C + C.T.***
2	Vidro plano 4mm + vidro oco colorido						
3	Vidro plano 4mm + Esmalte Porcelânico						
4	Vidro plano 4mm + Esmalte Vítreo						
5	Vidro plano 10mm + vidro plano 4mm						
6	Solda de 2 Vidros planos de 4mm						

* Comp. – composição / ** T.P – Temperatura Patamar / ***C.T – Choque térmico.
 Fonte: Pesquisa direta, 2008.

No primeiro procedimento (temperaturas de queima **a**, **b**, **c** e **d**) utilizou-se um aquecimento dinâmico com taxa de 5,0°C/min, e resfriamento de 2,0°C/min. No segundo (temperatura de queima **e**), o forno foi aquecido até metade da temperatura desejada e mantida nesta por 30min (isotérmico), em seguida, o aquecimento foi retomado até atingir a temperatura final. O resfriamento neste procedimento se deu com a abertura do forno por 15 segundos (choque térmico) e em seguida, ocorreu com taxa de 2,0°C/min. No terceiro (temperatura de queima **f**), o forno utilizou um aquecimento dinâmico com taxa de 5,0°C/min, e resfriamento através da abertura do forno por 15 segundos (choque térmico) e em seguida, fechamento do forno e resfriamento com taxa de 2,0°C/min. Em todos os procedimentos, as amostras permaneceram no forno até atingirem a temperatura ambiente.

3.2.3 Capacitações

3.2.3.1 Curso no Ateliê Espaço Zero

Almejando o domínio de técnicas artesanais de manuseio do resíduo vítreo, a equipe participou do curso de Artesanato em Vidro, com duração de 12 horas, realizado em São Paulo – SP, para o aprimoramento de técnicas de fusão, sopro em cana, vitral e acabamento.

3.2.3.2 Capacitação dos catadores

Cerca de 20 catadores de resíduos sólidos participaram, na Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreatos, de oficinas em diversas áreas, como: desenho e pintura, desenvolvimento de moldes e beneficiamento, pigmentação e queima dos vidros. Para realização das oficinas foram utilizados materiais didáticos e os necessários à produção das peças de vidro.

a) Oficina de desenho e pintura

Durante oficinas de desenho, foi estudada a técnica de análise estrutural de imagens, onde formas geométricas básicas (círculos, elipses, quadrados, retângulos, triângulos e linhas curvas e retas) são identificadas sobre os desenhos.

O estudo das cores foi introduzido através do círculo cromático (Figura 26), onde as mesmas são separadas em primárias (vermelho, azul e amarelo), as secundárias (verde, laranja e violeta), as complementares (azul e laranja; verde e vermelho; violeta e amarelo). Também foram estudados conceitos de cores quentes (tons vermelhos e amarelos) e frias (tons azuis e verdes).

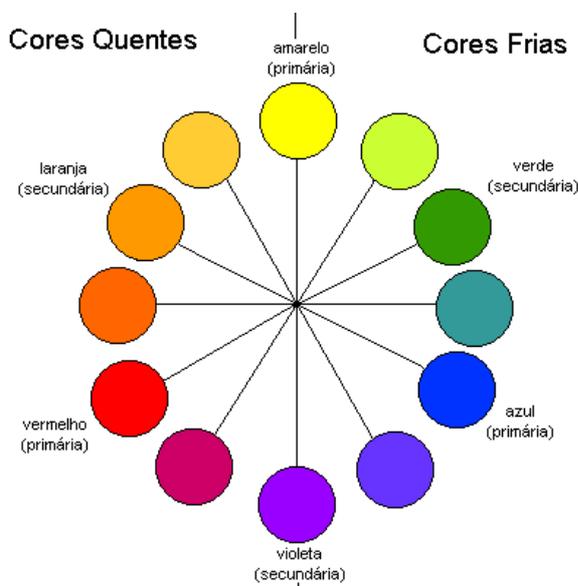


Figura 26 – Círculo cromático

Fonte: <http://www.atelier-online.com/image-files/circulo-cromatico.gif>, 2008.

Os estudos quanto à História da Arte foram introduzidos com base nos livros: Vida e Obra de Picasso; Curso de desenho e pintura; Mestres da pintura, Picasso, Gauguin e Modigliani; Vincent Van Gogh.

Os desenhos produzidos pelos catadores foram, posteriormente, catalogados selecionados e tratados graficamente, a fim de proporcionar um maior contraste e definição dos mesmos com o auxílio de um editor de imagens (Photoshop CS2). Em seguida estes foram vetorizados em programa gráfico (Corel Draw X4). As imagens vetorizadas não perdem qualidade ao serem ampliadas, já que os vetores são funções matemáticas que se adequam facilmente às escalas.

Alguns desenhos foram ampliados, reproduzidos e pintados, com lápis madeira, giz de cera coloridos e tintas guache, pelos catadores a fim de utilizar como modelo na pigmentação das peças de vidro.

b) Desenvolvimento de moldes

Através de oficinas, os catadores desenvolveram habilidades na preparação dos moldes em concreto celular, onde blocos foram diminuídos a fim de obterem tamanhos compatíveis ao do desenho. Em seguida os desenhos foram repassados para os blocos com auxílio do papel carbono e esculpido utilizando as técnicas descritas por Schuartz (2002), utilizando o ângulo de saída de 110° com a base. A ferramenta manual utilizada para esculpir o concreto celular foi o formão (Figura 27a) e a elétrica foi Dremel (Figura 27b).



Figura 27 – Ferramentas utilizadas na preparação dos moldes

Fonte: <http://lx1.letti.com.br/b2c/frutodearte/images/ferramenta%202.jpg> e <http://lifesatrip.files.wordpress.com/2007/08/dremel500.jpg>, 2008.

As posições dos vidros, em relação aos moldes foram de três tipos (interno sem abas, interno com abas e externo) e sua aplicação foi determinada através do tipo de cada desenho e grau de dificuldade.

c) Beneficiamento, pigmentação e queima dos vidros

Foram realizadas diversas oficinas, com o objetivo de proporcionar o conhecimento acerca das formas de beneficiamento de resíduos vítreos, bem como os procedimentos para pigmentação e queima das peças.

Quanto ao beneficiamento foram desenvolvidas atividades de limpeza (em água corrente e remoção de rótulos de vidros ocos), separação por tipo e cor, trituração (manual), cortes (retos e curvos) e o polimento das extremidades. Para o corte foi utilizado uma ferramenta com ponta diamantada, denominada “cortador de vidro” (Figura 28).



Figura 28 – Cortador de vidros utilizado nesta pesquisa

Fonte: http://www.hobbyceramica.com.br/img/acess_vidro/cortador_g.jpg, 2008.

Para realização do corte, deve-se riscar o vidro de uma extremidade a outra, com formas retas ou levemente curvas. O risco deve “arranhar” a superfície do vidro, que em seguida deverá sofrer um choque mecânico com a parte posterior do cortador de vidros, exatamente no risco, porém na face inferior. Este choque mecânico irá provocar um defeito que ao ser pressionado fará com que o vidro seja separado (Figura 29).

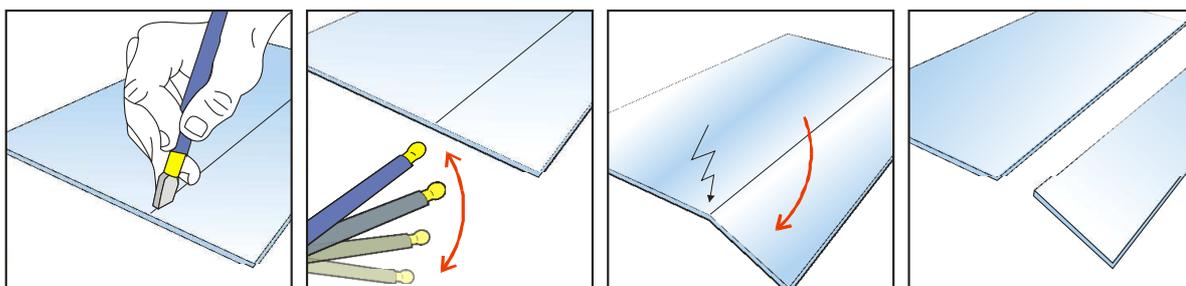


Figura 29 – Passo a passo de corte de vidro.

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Após o corte deve ser realizado o polimento das extremidades do vidro, com uso de esmerilhadeira (Figura 30), além de ferramentas manuais (lixa metálicas), utilizando um ângulo de 45° entre o vidro e a lixa, evitando assim, acidentes.



Figura 30 – Esmerilhadeira utilizada no polimento das extremidades do vidro

Fonte: <http://www.amorimferragens.com.br/imagens/makita/ga7020.jpg>, 2008.

Em seguida, os catadores participaram de oficinas sobre técnicas a serem utilizadas para pigmentação das peças. Dentre estas utilizou-se pigmentos diluídos em água (aplicado com auxílio de pincéis) e pigmentos em pó (aplicação direta sobre o vidro, com auxílio de peneira).

Para a aprendizagem, a cerca do processo de queima das peças, foram realizadas oficinas onde o grupo recebeu informações sobre operação e uso do forno da marca Jung Blumenau, modelo MCJ-10S NICR-NI48,09mV, com taxa de aquecimento de 5,0°C/min, bem como orientações sobre taxa de aquecimento e resfriamento ideal para o processo de fabricação das peças.

3.2.4 Identidade visual do grupo

No intuito de identificar os produtos desenvolvidos pelos catadores da Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos, foi necessária a escolha de um nome e o desenvolvimento de uma identidade visual para o grupo.

A metodologia utilizada foi a de criação seletiva com análise crítica da identidade visual por meio do grupo, onde buscou-se utilizar um design autêntico que valorizasse a logomarca.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo trata dos resultados obtidos através das análises químicas e térmicas dos vidros, dos resultados alcançados com os testes de composições versus queimas e também com a capacitação dos catadores de resíduos vítreos.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS VÍTREOS

4.1.1 Análise química

Para uma melhor caracterização do resíduo do Vidro plano e oco, foram realizadas análises químicas (AQ) convencionais. A Tabela 2 apresenta a composição química do resíduo vítreo plano e oco que possuem características de sílica-soda-cal de acordo com os valores percentuais dos óxidos de silício (69,76% e 67,3%), de sódio (7,90% e 11,7%) e de cálcio (5,60% e 9,8%).

Tabela 2 – Análise Química do resíduo vítreo plano e oco

Amostras	P.F. (%)	SiO₂ (%)	Al₂O₃ (%)	Fe₂O₃ (%)	K₂O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na₂O (%)	R.I. (%)
Resíduo Vítreo Plano	0,17	69,76	8,54	nd	0,02	5,60	3,43	7,90	2,94
Resíduo Vítreo Oco	nd	67,7	4,5	nd	0,7	7,8	1,2	9,2	nd

P.F. – perda ao fogo, R.I. – resíduos insolúveis, nd – não determinado

4.1.2 Análise térmica diferencial e termogravimetria

As Figuras 31 e 32 apresentam, respectivamente, a curva DTA e TG para o resíduo vítreo, obtidas à razão de aquecimento de 10°C/min e atmosfera de nitrogênio.

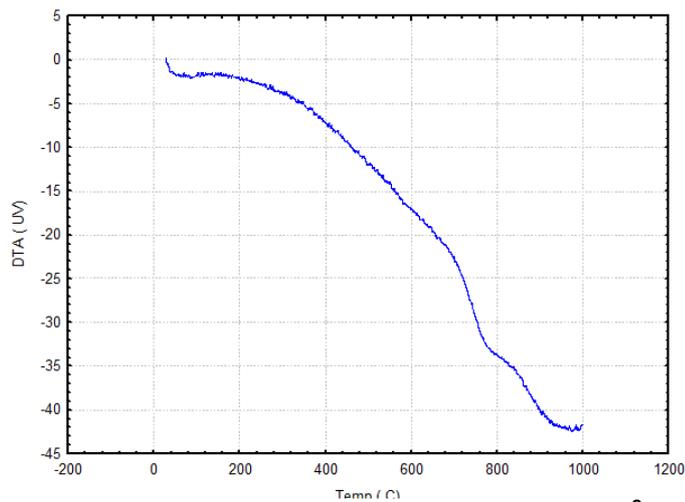


Figura 31 – Curva DTA do vidro plano na razão de aquecimento de 10°C/min
 Fonte: Pesquisa direta, 2008.

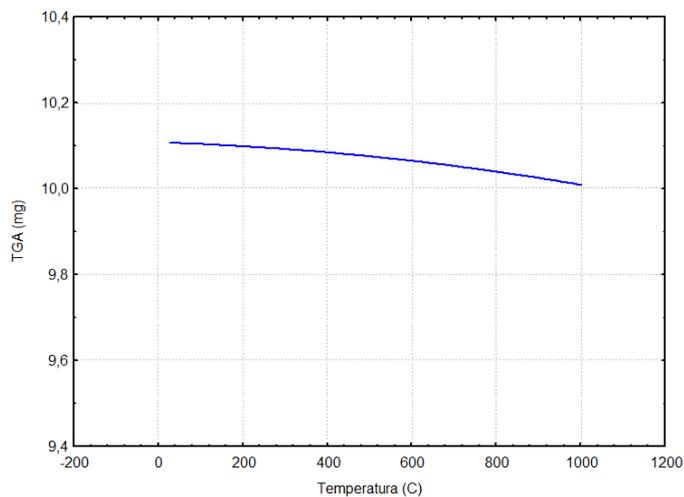


Figura 32 – Curva TG do vidro plano na razão de aquecimento de 10°C/min
 Fonte: Pesquisa direta, 2008.

A curva DTA apresenta duas pequenas bandas endotérmicas entre 700°C e 750°C e entre 800°C e 1000°C, estas características da fusão do vidro, estes valores corroboram com os obtidos por Lucena (2008). Na curva TG observou-se uma perda de massa total de apenas 0,1mg (1%) o que mostra a alta estabilidade térmica do vidro plano.

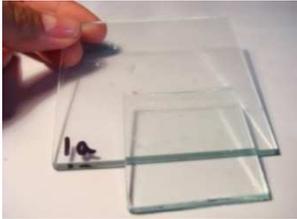
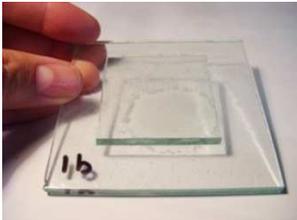
4.2 COMPORTAMENTO VÍTREO EM FUNÇÃO DAS TEMPERATURAS DE QUEIMA

Os resultados do estudo do comportamento vítreo em função das temperaturas de queima podem ser verificados a seguir.

4.2.1 Composição 1

A Tabela 3 apresenta os resultados visuais da composição 1 (Vidro plano de 4mm + vidro plano de 4mm), em função das temperaturas máximas de queima utilizadas durante a realização do processo de conformação.

Tabela 3 – Resultados visuais da composição 1 à diferentes temperaturas de queima

Item	Temp.	Vista Frontal	Vista Lateral
1a	700°C		
1b	750°C		
1c	800°C		
1d	850°C		
1e	800°C		
1f	800°C		

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Percebe-se que para a temperatura de queima de 700°C os vidros não fundiram, suas extremidades continuaram cortantes e não houve conformação dos materiais ao molde, tendo os mesmos permanecidos brilhantes e transparentes.

Para temperatura de queima de 750°C, pode-se observar que se iniciou o processo de fusão dos vidros e suas extremidades perderam o corte. Observa-se uma pequena conformação dos materiais ao molde e os mesmos se mantêm brilhosos e transparentes.

Para temperatura de queima de 800°C, pode-se observar que os vidros fundem totalmente e suas extremidades tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde. Pode-se ainda observar a perda de brilho e transparência, que podem ser explicadas pelo processo de desvitrificação (cristalização), tendo em vista que não ocorreu o resfriamento brusco da amostra.

Na temperatura de queima de 850°C, pode-se observar a fusão completa dos vidros, tendo ocorrido o escoamento da massa vítrea para o interior do molde, fazendo com que a amostra perdesse sua forma inicial. Da mesma forma que o anterior, ocorreu a perda de brilho e transparência, devido ao processo de desvitrificação.

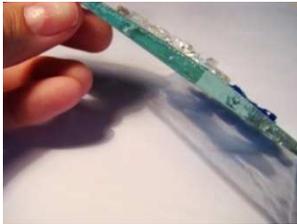
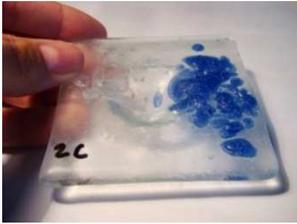
A temperatura de 800°C foi a mais adequada para fusão desta composição, porém, devido à desvitrificação, foi necessária a realização de uma nova queima que obedecesse aos procedimentos alertados por Schuartz para evitar o acabamento fosco. Durante este novo procedimento pode-se observar que os vidros fundiram totalmente e suas extremidades tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde. Pode-se ainda observar peças com brilho e transparência, característicos de materiais vítreos.

Durante o ultimo procedimento foi repetida a temperatura de 800°C com aquecimento constante e choque térmico no final. Tal experimento resultou em peças similares às obtidas anteriormente, comprovando que no procedimento de Schuartz o essencial é o choque térmico, que evita a desvitrificação, e não o processo de aquecimento até a temperatura patamar.

4.2.2 Composição 2

A Tabela 4 apresenta os resultados visuais da composição 2 (Vidro plano 4mm + vidro oco colorido), em função das temperaturas máximas de queima utilizadas durante a realização do processo de conformação.

Tabela 4 – Resultados visuais da composição 2 à diferentes temperaturas de queima

Item	Temp.	Vista Frontal	Vista Lateral
2a	700°C		
2b	750°C		
2c	800°C		
2d	850°C		
2e	800°C		
2f	800°C		

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Percebe-se que para a temperatura de queima de 700°C os vidros não fundiram, suas extremidades continuaram cortantes e não houve conformação dos materiais ao molde, tendo os mesmos permanecidos brilhantes e transparentes.

Para temperatura de queima de 750°C, pode-se observar que se iniciou o processo de fusão dos vidros e suas extremidades perderam o corte. Observa-se uma pequena conformação dos materiais ao molde e os mesmos se mantêm brilhosos e transparentes.

Para temperatura de queima de 800°C, pode-se observar que os vidros fundem totalmente e suas extremidades tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde. Podendo ainda observar a perda de brilho e transparência, que podem ser explicadas pelo processo de desvitrificação (cristalização), tendo em vista que não ocorreu o resfriamento brusco da amostra.

Na temperatura de queima de 850°C, pode-se observar a fusão completa dos vidros, onde ocorreu o escoamento da massa vítrea para o interior do molde, fazendo com que a amostra perdesse sua forma inicial. Da mesma forma que o anterior, ocorreu a perda de brilho e transparência, devido ao processo de desvitrificação.

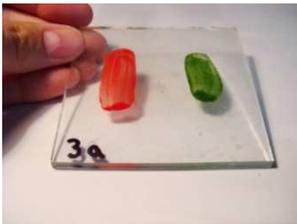
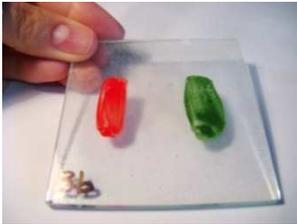
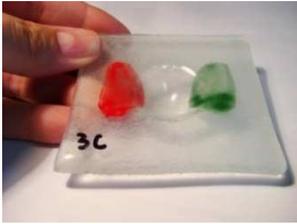
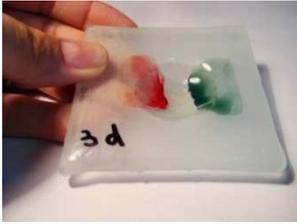
A temperatura de 800°C foi a mais adequada para fusão desta composição, porém, devido à desvitrificação, foi necessária a realização de uma nova queima que obedecesse aos procedimentos alertados por Schuartz para evitar o acabamento fosco. Durante este novo procedimento pode-se observar que os vidros fundiram totalmente e suas extremidades tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde. Pode-se ainda observar peças com brilho e transparência, característicos de materiais vítreos.

Durante o ultimo procedimento foi repetida a temperatura de 800°C com aquecimento constante e choque térmico no final. Tal experimento resultou em peças similares às obtidas anteriormente, comprovando que no procedimento de Schuartz o essencial é o choque térmico, que evita a desvitrificação, e não o processo de aquecimento até a temperatura patamar.

4.2.3 Composição 3

A Tabela 5 apresenta os resultados visuais da composição 3 (Vidro plano 4mm + esmalte porcelânico), em função das temperaturas máximas de queima utilizadas durante a realização do processo de conformação.

Tabela 5 - Resultados visuais da composição 3 à diferentes temperaturas de queima

Item	Temp.	Vista Frontal	Vista Lateral
3 ^a	700°C		
3 ^b	750°C		
3 ^c	800°C		
3 ^d	850°C		
3 ^e	800°C		
3 ^f	800°C		

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Percebe-se que para a temperatura de queima de 700°C os esmaltes porcelânicos se aderem ao vidro, porém com acabamento áspero e fosco, suas extremidades continuaram cortantes e não houve conformação do material ao molde, tendo o vidro (base) permanecido brilhante e transparente.

Para temperatura de queima de 750°C, os esmaltes porcelânicos se aderem ao vidro, com acabamento brilhante e liso. A base se mantém brilhosa e transparente, suas extremidades perdem o corte e observa-se uma pequena conformação do material ao molde.

Para temperatura de queima de 800°C, pode-se observar uma pequena perda de intensidade das cores dos esmaltes porcelânicos. As extremidades do vidro tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde. Podendo ainda observar a perda de brilho e transparência do vidro, que podem ser explicadas pelo processo de desvitrificação (cristalização), tendo em vista que não ocorreu o resfriamento brusco da amostra.

Na temperatura de queima de 850°C, pode-se observar uma maior perda de intensidade das cores dos esmaltes porcelânicos. As extremidades do vidro tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde. Houve o escoamento da massa vítrea para o interior do mesmo, fazendo com que a amostra perdesse sua forma inicial. Também ocorreu a desvitrificação.

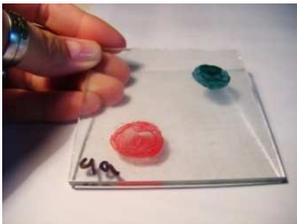
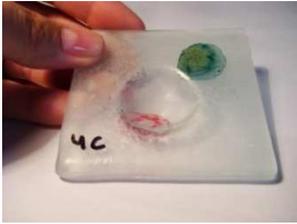
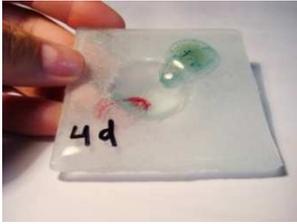
A temperatura de 800°C foi a mais adequada para fusão desta composição, porém, devido à desvitrificação, foi necessária a realização de uma nova queima que obedecesse aos procedimentos alertados por Schuartz para evitar o acabamento fosco. Durante este novo procedimento pode-se observar um resultado similar ao obtido aos 800°C, porém com brilho e transparência.

Durante o ultimo procedimento foi repetida a temperatura de 800°C com aquecimento constante e choque térmico no final. Tal experimento resultou em peças similares às obtidas anteriormente, comprovando que no procedimento de Schuartz o essencial é o choque térmico, que evita a desvitrificação, e não o processo de aquecimento até a temperatura patamar.

4.2.4 Composição 4

A Tabela 6 apresenta os resultados visuais da composição 4 (Vidro plano 4mm + esmalte vítreo), em função das temperaturas máximas de queima utilizadas durante a realização do processo de conformação.

Tabela 6 – Resultados visuais da composição 4 à diferentes temperaturas de queima

Item	Temp.	Vista Frontal	Vista Lateral
4a	700°C		
4b	750°C		
4c	800°C		
4d	850°C		
4e	800°C		
4f	800°C		

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Percebe-se que para a temperatura de queima de 700°C os esmaltes vítreos se aderem ao vidro, com acabamento brilhante e liso, suas extremidades continuaram cortantes e não houve conformação do material ao molde, tendo o vidro (base) permanecido brilhante e transparente.

Para temperatura de queima de 750°C, os esmaltes vítreos se aderem ao vidro, porém com uma pequena perda de intensidade dos pigmentos. As extremidades da base perderam o corte, observa-se uma pequena conformação do material ao molde e a mesma se mantém brilhosa e transparente.

Para temperatura de queima de 800°C, pode-se observar uma maior perda de intensidade das cores dos esmaltes vítreos. As extremidades do vidro tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde. Podendo ainda observar a perda de brilho e transparência, que podem ser explicadas pelo processo de desvitrificação (cristalização), tendo em vista que não ocorreu o resfriamento brusco da amostra.

Na temperatura de queima de 850°C, pode-se observar uma grande perda de intensidade das cores dos esmaltes vítreos. As extremidades do vidro tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde, houve o escoamento da massa vítrea para o interior do mesmo, fazendo com que a amostra perdesse sua forma inicial. Também ocorreu a desvitrificação.

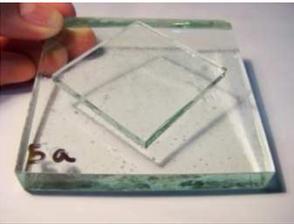
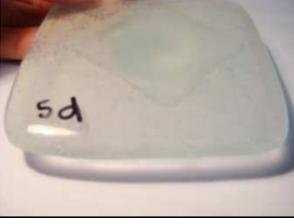
A temperatura de 800°C foi a mais adequada para fusão desta composição, porém, devido à desvitrificação, foi necessária a realização de uma nova queima que obedecesse aos procedimentos alertados por Schuartz para evitar o acabamento fosco. Durante este novo procedimento pode-se observar um resultado similar ao obtido aos 800°C, porém com brilho e transparência.

Durante o ultimo procedimento foi repetida a temperatura de 800°C com aquecimento constante e choque térmico no final. Tal experimento resultou em peças similares às obtidas anteriormente, comprovando que no procedimento de Schuartz o essencial é o choque térmico, que evita a desvitrificação, e não o processo de aquecimento até a temperatura patamar.

4.2.5 Composição 5

A Tabela 7 apresenta os resultados visuais da composição 5 (Vidro plano 10mm + vidro plano 4mm), em função das temperaturas máximas de queima utilizadas durante a realização do processo de conformação.

Tabela 7 – Resultados visuais da composição 5 à diferentes temperaturas de queima

Item	Temp.	Vista Frontal	Vista Lateral
5 ^a	700°C		
5b	750°C		
5c	800°C		
5d	850°C		
5e	800°C		
5f	800°C		

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Percebe-se que para a temperatura de queima de 700°C os vidros iniciaram a fusão, suas extremidades continuaram cortantes e não houve conformação dos materiais ao molde, tendo os mesmos permanecidos brilhantes e transparentes.

Para temperatura de queima de 750°C, pode-se observar o processo de fusão dos vidros e suas extremidades perderam o corte. Observa-se uma pequena conformação dos materiais ao molde e os mesmos se mantêm brilhosos e transparentes.

Para temperatura de queima de 800°C, pode-se observar que os vidros fundem totalmente e suas extremidades tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde. Podendo ainda observar a perda de brilho e transparência, que podem ser explicadas pelo processo de desvitrificação (cristalização), tendo em vista que não ocorreu o resfriamento brusco da amostra.

Na temperatura de queima de 850°C, pode-se observar a fusão completa dos vidros, onde ocorreu o escoamento da massa vítrea para o interior do molde, fazendo com que a amostra perdesse sua forma inicial. Também ocorreu a desvitrificação.

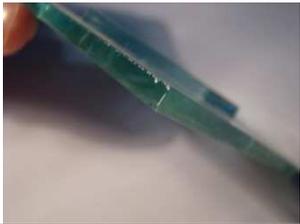
A temperatura de 800°C foi a mais adequada para fusão desta composição, porém, devido à desvitrificação, foi necessária a realização de uma nova queima que obedecesse aos procedimentos alertados por Schuartz para evitar o acabamento fosco. Durante este novo procedimento pode-se observar um resultado similar ao obtido aos 800°C, porém com brilho e transparência.

Durante o ultimo procedimento foi repetida a temperatura de 800°C com aquecimento constante e choque térmico no final. Tal experimento resultou em peças similares às obtidas anteriormente, comprovando que no procedimento de Schuartz o essencial é o choque térmico, que evita a desvitrificação, e não o processo de aquecimento até a temperatura patamar.

4.2.6 Composição 6

A Tabela 8 apresenta os resultados visuais da composição 6 (Solda de 2 vidros planos de 4mm), em função das temperaturas máximas de queima utilizadas durante a realização do processo de conformação.

Tabela 8 – Resultados visuais da composição 6 à diferentes temperaturas de queima

Item	Temp.	Vista Frontal	Vista Lateral
6 ^a	700°C		
6b	750°C		
6c	800°C		
6d	850°C		
6e	800°C		
6f	800°C		

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Percebe-se que para a temperatura de queima de 700°C os vidros iniciaram a fusão e solda, suas extremidades continuaram cortantes e não houve conformação dos materiais ao molde, tendo os mesmos permanecidos brilhantes e transparentes.

Para temperatura de queima de 750°C, pode-se observar o processo de fusão e solda entre os vidros e suas extremidades perderam o corte. Observa-se uma pequena conformação dos materiais ao molde e os mesmos se mantêm brilhosos e transparentes.

Para temperatura de queima de 800°C, pode-se observar que os vidros fundem e soltam totalmente e suas extremidades tornaram-se abauladas, além de ocorrer a conformação total do material ao molde. Podendo ainda observar a perda de brilho e transparência, que podem ser explicadas pelo processo de desvitrificação (cristalização), tendo em vista que não ocorreu o resfriamento brusco da amostra.

Na temperatura de queima de 850°C, pode-se observar a solda e fusão completa dos vidros, onde ocorreu o escoamento da massa vítrea para o interior do molde, fazendo com que a amostra perdesse sua forma inicial. Também ocorreu a desvitrificação.

A temperatura de 800°C foi a mais adequada para fusão desta composição, porém, devido à desvitrificação, foi necessária a realização de uma nova queima que obedecesse aos procedimentos alertados por Schuartz para evitar o acabamento fosco. Durante este novo procedimento pode-se observar um resultado similar ao obtido aos 800°C, porém com brilho e transparência.

Durante o ultimo procedimento foi repetida a temperatura de 800°C com aquecimento constante e choque térmico no final. Tal experimento resultou em peças similares às obtidas anteriormente, comprovando que no procedimento de Schuartz o essencial é o choque térmico, que evita a desvitrificação, e não o processo de aquecimento até a temperatura patamar.

4.3 CAPACITAÇÕES

4.3.1 Curso no Ateliê Espaço Zero

Durante a participação da equipe no curso de Artesanato em Vidro, foi possível adquirir noções básicas em: confecção de moldes em concreto celular e *wet felt* (manta molhada); fusão do vidro; sopro em cana; além de técnicas em vitral e beneficiamento. Os resultados obtidos no curso podem se vistos na Figura 33.



Figura 33 – Resultados com a técnica vistas no curso de Artesanato em Vidro

Fonte: Pesquisa direta

4.3.2 Capacitação dos catadores

a) Oficina de desenho e pintura

Com o uso da técnica de análise estrutural de imagens, foi possível a produção de diversos desenhos pelo grupo (Figura 34). Através das estruturas produzidas, pode-se observar que ocorreu a aprendizagem, no que diz respeito à estruturação de desenhos e imagens.

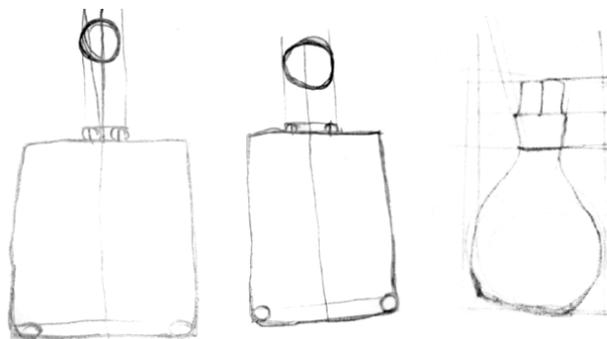


Figura 34 – Alguns dos desenhos de estrutura produzido pelo grupo

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Através da realização da oficina sobre simetria, utilizando dobras e recortes de papel (Figura 35), foi possível observar o desenvolvimento da criatividade e habilidades manuais do grupo, além da percepção da representação de imagens com partes iguais.



Figura 35 – Resultados das oficinas de desenhos de simetria e recortes

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Visando o desenvolvimento do processo criativo, a história da arte foi, brevemente, apresentada, a partir, da exibição de obras e um pouco da vida de artistas famosos como Matisse (Figura 36a), Monet (Figura 36b), Picasso (Figura 36c) e Salvador Dali.



Figura 36 – Pinturas de artistas famosos apresentadas ao grupo de catadores

Fonte: <http://galeriapablopicasso.blogspot.com>, 2008.

Durante as oficinas de desenho foram geradas várias representações pelos catadores, algumas delas podem ser visualizadas na Figura 37. Em seguida os desenhos foram catalogados e alguns selecionados, visando a produção de peças em vidro. Após a seleção estes desenhos foram editados graficamente (Photoshop CS2), como mostra a Figura 38, onde houve a separação, aumento de contraste e ampliação dos desenhos.

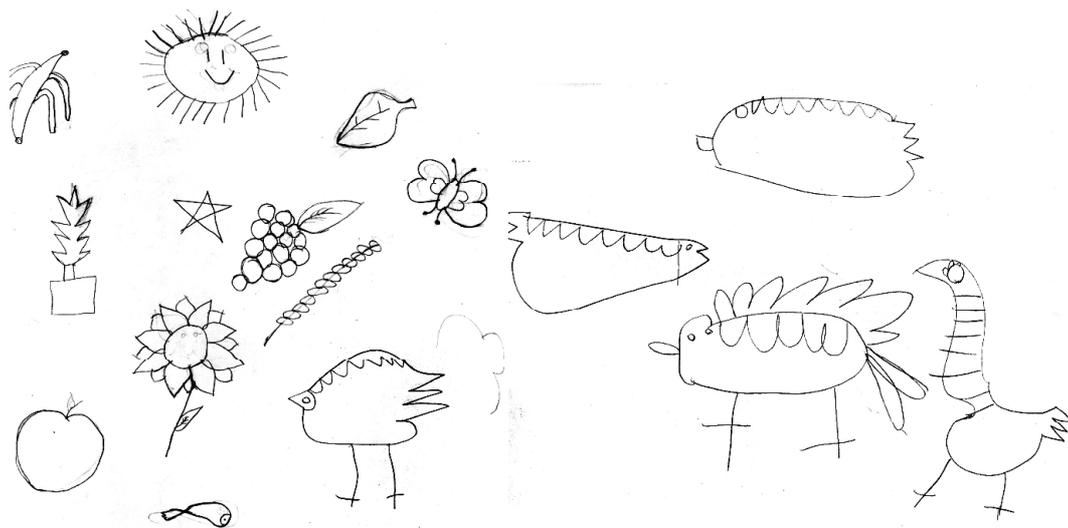


Figura 37 – Alguns dos desenhos elaborados pelo grupo de catadores
Fonte: Pesquisa direta, 2008.

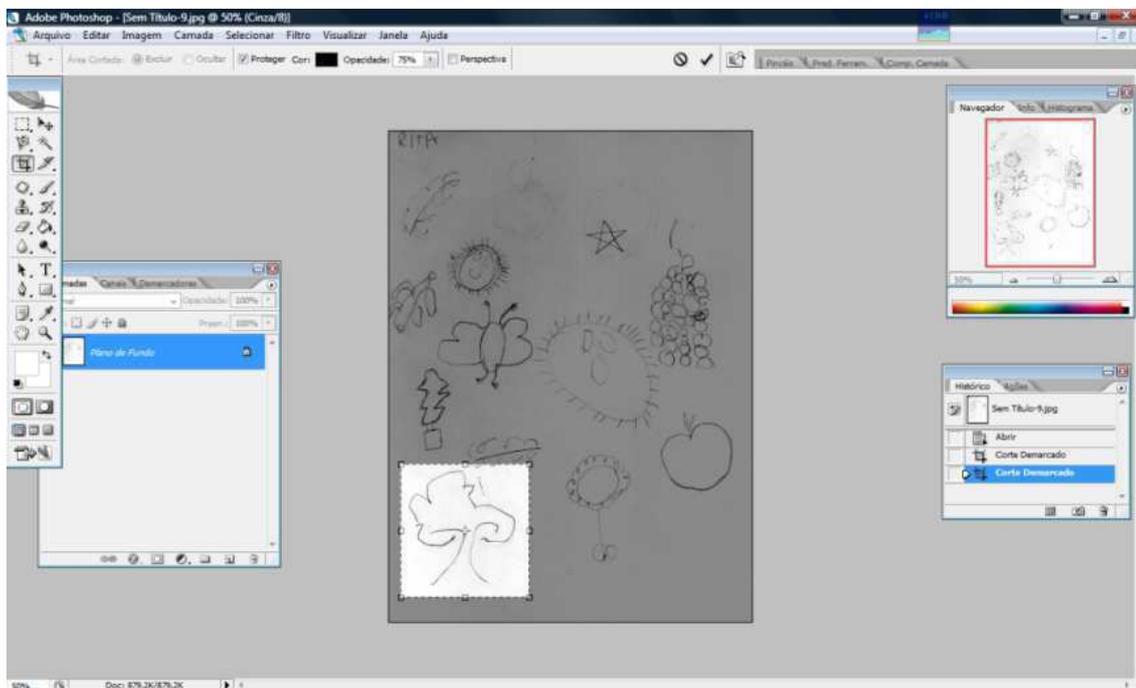


Figura 38 – Interface do programa Adobe Photoshop CS2
Fonte: Pesquisa direta, 2008.

As imagens selecionadas foram vetorizadas, a fim serem utilizadas para as aulas de pintura, bem como a produção dos moldes (Figura 39).

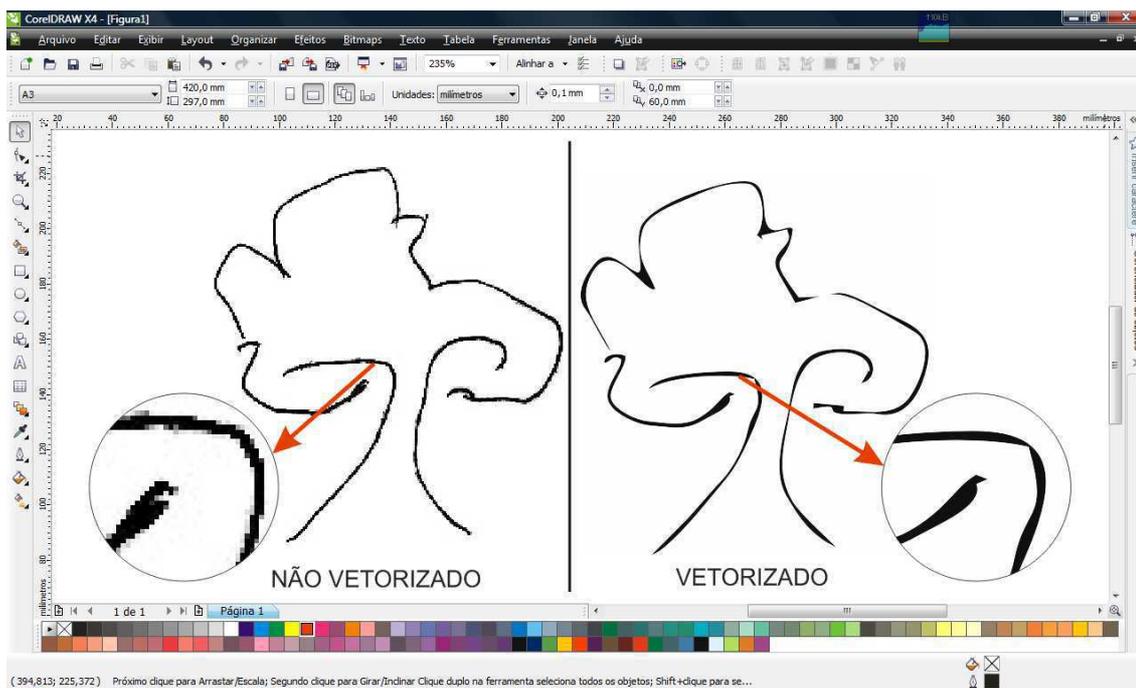


Figura 39 – Interface do Corel Draw X4 na vetorização de imagens

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Alguns dos resultados obtidos através da separação, tratamento e vetorização dos desenhos podem ser verificados na Figura 40.

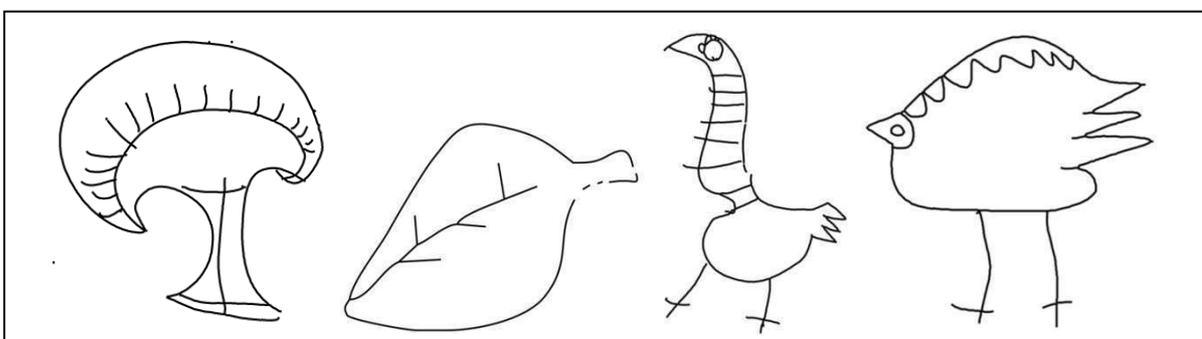


Figura 40 – Alguns dos desenhos selecionados e vetorizados

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Através oficinas de pinturas dos desenhos selecionado, os catadores utilizaram diversos materiais (lápis madeira, giz de cera coloridos e tintas guache) sobre o papel. Houve a interação do grupo, possibilitando assim um trabalho em equipe (Figura 41).



Figura 41 – Catadores durante oficina de desenho

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

A Figura 42 apresenta alguns dos resultados obtidos pelo grupo. Pode-se observar a utilização, não convencional, de diversas cores e texturas. A Figura 43 apresenta os resultados obtidos através do uso técnica de pintura em guache sobre o papel. Este aprendizado irá contribuir no processo de pigmentação dos vidros.

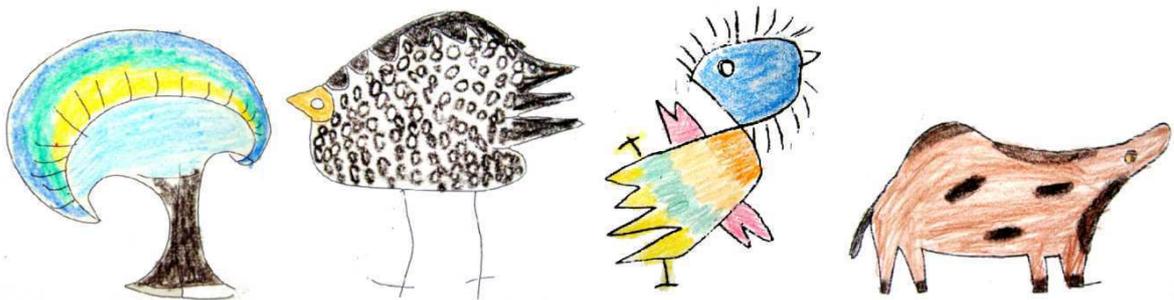


Figura 42 – Alguns dos desenhos pintados com lápis madeira e giz de cera pelos catadores

Fonte: Pesquisa direta, 2008.



Figura 43 – Alguns dos desenhos pintados em tinta guache com pincel pelos catadores

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

b) Desenvolvimento dos moldes

Nesta etapa, os catadores desenvolveram moldes em concreto celular, com o auxílio de ferramentas manuais e elétricas (Figura 44).



Figura 44 – Trabalho realizado durante as oficinas de desenvolvimento de moldes

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Como resultados foram produzidos moldes de diferentes tamanhos, formas e conformações, baseados nos desenhos elaborados pelo grupo (Figura 45).



Figura 45 – Moldes em concreto celular desenvolvidos pelo grupo

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

As posições dos vidros, em relação aos moldes foram de três tipos (interno sem abas, interno com abas e externo) e sua aplicação foi determinada através do tipo de cada desenho e grau de dificuldade.

Durante as oficinas, pôde-se observar o aprendizado de desenvolvimento dos moldes, garantindo assim o andamento do projeto.

c) Beneficiamento, pigmentação e queima dos vidros

Os resultados obtidos nesta etapa foram de fundamental importância para o processo de reciclagem dos resíduos vítreos.

Como atividades de beneficiamento dos resíduos vítreos, foram realizados procedimentos de limpeza, separação por tipo e cor, além da trituração e corte. A Figura 46 apresenta os resultados obtidos pelo grupo durante estas oficinas.



Figura 46 – Limpeza, trituração e corte dos resíduos vítreos

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Foi possível identificar algumas dificuldades durante esta etapa devido à impossibilidade de utilização de equipamentos de proteção individual (EPI's), tendo em vista que em algumas atividades, seu uso comprometeu os resultados, no que diz respeito à precisão.

Antes da pigmentação das peças, se fez necessário o recobrimento dos moldes com caulim (Figura 47), a fim de preencher os poros existentes no concreto celular, além de isolá-lo do vidro após a fusão, facilitando com isso o processo de desmoldagem das peças.



Figura 47 – Aplicação de caulim sobre os moldes de concreto celular

Fonte: Pesquisa direta, 2008

A Figura 48 apresenta alguns trabalhos em que a pigmentação dos vidros foi realizada pelos catadores, através do uso de esmaltes diluídos e em pó.

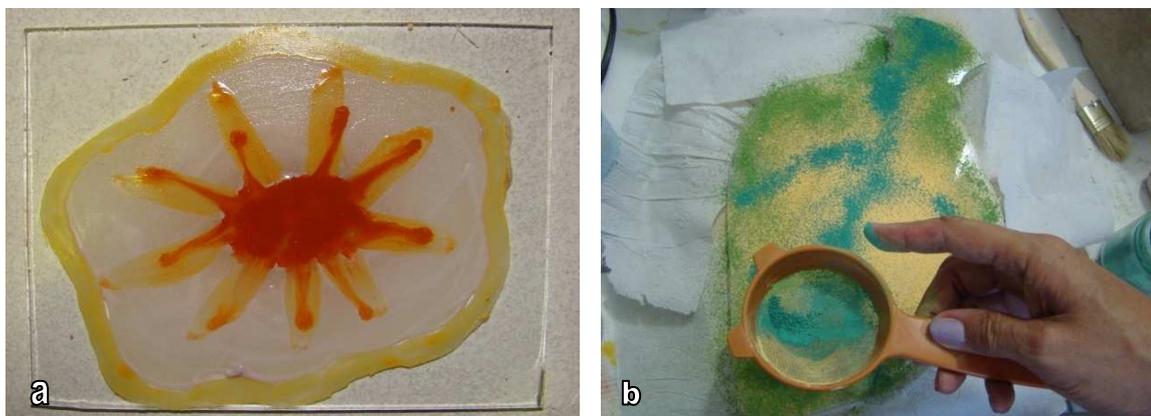


Figura 48 – Pigmentação das peças em vidro com técnicas diferenciadas

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

Os resultados obtidos após as queimas das peças das Figuras 48 podem ser verificados na Figura 49, onde pode ser observada a mudança na coloração das peças (Figura 48a e 49a).



Figura 49 – Alguns dos resultados obtidos pela queima das peças desenvolvidas pelo grupo

Fonte: Pesquisa direta, 2008.

A Figura 50 apresenta outros resultados obtidos pelos catadores após o domínio das técnicas estudadas, onde pode-se vislumbrar a possibilidade de sustentabilidade do grupo.

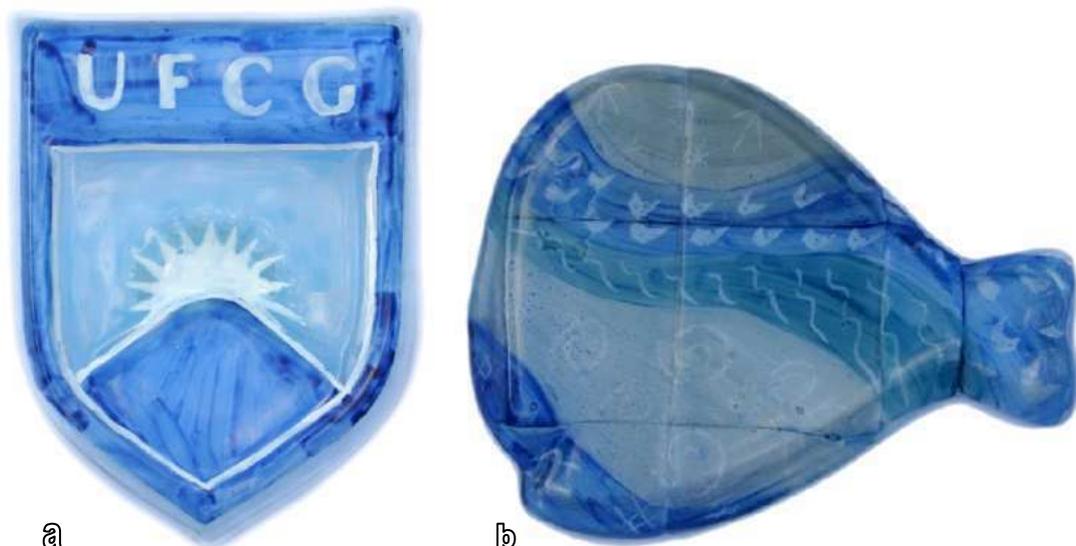


Figura 50 – Resultados das peças geradas pelo grupo
Fonte: Pesquisa direta, 2008.

4.4 IDENTIDADE VISUAL DO GRUPO

Visando a identificação visual dos produtos desenvolvidos pelo grupo de catadores da Unidade de Beneficiamento de Materiais Vítreos, foi gerado um nome fantasia denominado CAVí (Centro de Arte em Vidros) e gerada uma logomarca representativa (Figura 51).



Figura 51 – Identidade visual do grupo
Fonte: Pesquisa direta, 2008.

5 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Tendo em vista que este projeto teve como objetivo a caracterização físico-química e térmica de resíduos vítreos visando o desenvolvimento de produtos reciclados e a sustentabilidade de um grupo de catadores do município de Campina Grande – PB, pode-se concluir que:

a) **Caracterização dos resíduos**

Quanto à análise química, os resíduos de vidro plano e oco são compostos, basicamente por óxido de silício, óxido de sódio e óxidos de cálcio, sendo portanto denominado de vidro de sílica-soda-cal.

A termogravimetria possibilitou o estudo do comportamento térmico destes resíduos evidenciando sua alta sob as condições de análise. Os resultados de análise térmica diferencial evidenciaram bandas endotérmicas referentes à fusão dos resíduos. Estas informações possibilitaram a determinação das temperaturas de queima a serem estudadas no processo de reciclagem.

b) **Comportamento vítreo em função das temperaturas de queima**

Dentre as diferentes temperaturas de queima estudadas, foi possível concluir que a temperatura de 800°C mostrou-se ideal para os materiais e composições utilizados nesta pesquisa.

As diferentes composições utilizadas, entre vidro plano, oco e esmaltes apresentaram resultados satisfatórios do ponto de vista artístico, possibilitando suas aplicações em diversas áreas, como pastilhas para revestimento, peças ornamentais, louças, dentre outros.

c) Capacitação dos catadores

Os catadores envolvidos nas oficinas adquiriram conhecimentos teóricos e práticos a cerca do processo de reciclagem de materiais vítreos, além de desenvolverem suas habilidades artísticas, até então desconhecidas por eles, resultando no aumento da auto-estima e sustentabilidade do grupo.

5.2 PERSPECTIVAS DE TRABALHOS FUTUROS

Baseado nos resultados obtidos nesta pesquisa, recomenda-se:

- Estudar outras composições com diferentes resíduos vítreos (espelhos, lâmpadas, lentes ópticas, etc.), visando o reaproveitamento e a reciclagem;
- Estudar a possibilidade de composições, através da junção de materiais cristalinos e amorfos, como por exemplo cerâmicas, metais e vidros;
- Estudar diferentes processos e temperaturas de queima visando a obtenção de novas texturas, efeitos e acabamentos;
- Estudar diferentes materiais para o desenvolvimento de moldes, visando novos procedimentos de obtenção dos mesmos;
- Intensificar as capacitações, junto ao grupo de catadores, visando a utilização de outros materiais e técnicas, possibilitando assim novas perspectivas de geração de emprego e renda.

ABIVIDRO – Associação Brasileira das Industrias Automáticas de Vidro. **Anuário ABIVIDRO 2008**. ABIVIDRO, São Paulo, 2008.

AKERMAN, M. **Apostila de Natureza, Estrutura e Propriedades do vidro, 2006. Inovação Tecnológica. (s.d.). Materiais Avançados**. Acesso em 20.02.2008, Disponível em <:http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010160070110>. Acesso em 28 jul 2008.

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

ARMELLINE, C. **Utilização da sucata de vidro para preparação de Novos Produtos**. In: 48º. Congresso Brasileiro de Materiais. Anais. Curitiba-PR, 2004.

ASSAD, M. M. N. **SUSTENTABILIDADE: um estudo sobre a responsabilidade social do gerenciamento de resíduos sólidos industriais no Médio Vale do Paraíba**. Disponível em: < http://www.unitau.br/cursos/posgraduacao/mestrado/gestao-e-desenvolvimento-regional/dissertacoes/dissertacoes-2003-1/assad-marta_maria_nogueira.pdf>. Acesso em: 27 set 2007.

AZAMBUJA, J. R. **Edição Integrada nas Comemorações dos 250 anos da Indústria do vidro, 2002**.

CEMPRE, Compromisso Empresarial para a Reciclagem, 2006.

ENBRI. **"Development of a framework for environmental assessment of building materials and components"**. 1994.

FERNANDES, D. **Desenvolvimento de novas técnicas para utilização de sucata de vidro visando a produção de novos produtos**. Curitiba, UFPR, 2004.

GOMEZ, L. S. R; BRAUN, J. R. R. **Ecodesign como estratégia de valorização e divulgação de entidades ambientais: a atuação do setor gráfico.** Disponível em: <<http://www.ensus.com.br/tematica3/Ecodesign%20como%20Estrat%20E9gia%20de%20Valoriza%20E7%20E3o%20e%20Divulga%20E7%20E3o%20de%20Enti.pdf>>. Acesso em: 25 jun 2008.

GREGOLIN, J. A. R. **Desafios para o desenvolvimento regional: arranjo produtivo local de couro e calçados.** Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional, 2006.

LIMA, J.D. **Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil.** Editado por: **ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental Seção – Paraíba.** 1ª edição 2005.

LIMA, R. M. R. & ROMEIRO FILHO, **A reciclagem de materiais e suas aplicações no desenvolvimento de novos produtos: um estudo de caso.** In 3 congresso de gestão de desenvolvimento de produto, Florianópolis 2001.

LORENZI, E. S. **Vidros bactericidas no tratamento microbiológico de água.** Florianópolis. Disponível em: < <http://www2.enq.ufsc.br/teses/m118.pdf>>. Acesso em 18 jan 2008.

LUCENA, L. C. F. L. **Utilização de resíduos de vidros planos como filler em misturas asfálticas - propriedades físico-químicas e mecânicas.** Dissertação de Mestrado. Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

LUNA, A. **Asas à imaginação e o vidro ganha nova vida.** 2007. Disponível em: <http://www.andiv.com.br/downloads/rep-esp/ovidroplano_411_mar07-vidros-artisiticos.pdf> Acesso em: 12 out 2008.

MATOS, T. F. L. **Diagnóstico dos Resíduos Poliméricos Presentes nos Resíduos Sólidos Domiciliares Gerados em São Carlos, SP.** Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo-USP, São Carlos, 2006.

MEDEIROS JR, M. S. **Caracterização Mecânica de Misturas Asfálticas por Meio de Módulo Dinâmico**. Dissertação de Mestrado, PETRAN/UFC, Fortaleza, 2006.

NAVARRO, J.M.F. **El vidrio**. 2 ed. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 2005.

NAVARRO, R. F. **Materiais e ambiente** – João Pessoa; Editora universitária/UFPB, 2001.

NICOLESCU, B. **A Evolução Transdisciplinar a Universidade: Condição para o Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <<http://nicol.club.fr/ciret/bulletin/b12/b12c8por.htm>>. Acesso em 02 mai 2008.

NIEMEYER, L. **Design no Brasil: origens e instalação**. Rio de Janeiro, 2AB, 1998.

OLIVEIRA, N. M. S. **Diagnóstico e classificação dos resíduos vítreos gerados no município de Campina Grande – PB**. Dissertação de Mestrado. UFCG - Campina Grande, 2007.

PAIVA, P. A & RIBEIRO, M. **A reciclagem na construção civil: como economia de custos**. Revista Eletrônica Administração, Ano 2005, Edição 06, 2005.

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

PILKINGTON BRASIL LTDA. **A História do Vidro Plano no Brasil**. Disponível em: <http://www.pilkington.com/the+americas/brazil/portuguese/about+pilkington/history+of+float+in+brazil/default.htm>, acesso em: 28 de set de 2008.

PMCG. **Prefeitura Municipal De Campina Grande**. Disponível em: <<http://www.seplam.pmcg.pb.gov.br>>. Acesso em 16 jun 2008.

PRB. Population Reference Bureau. 2004. Disponível em: <<http://www.prb.org>>. Acesso em jan 2008.

RECICLOTECA - Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente. **Conheça sua embalagem de vidro.** 2003.

REUTER, J. **Vidros: técnicas em vidros – coleção manuais técnicos** v.10. Universidade Federal da Paraíba/UFPB – Recife-PE, 1998.

ROCHA, S. P. B.; ESTIVAL, K.; SILVA, G. G. A. **Aspectos logísticos ambientais na aquisição de insumo reciclável de uma indústria de reciclagem de vidro.** Universidade Federal de Pernambuco/UFPE. 2002.

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

SANTOS, J. E. L. **Educação ambiental: avaliação dos resíduos do lixão do município de Cuité/PB.** Disponível em: < http://www.annq.org/congresso2007/trabalhos_apresentados/T85.pdf>. Acesso em: set 2007.

SCHNEIDER, E. **Gestão Ambiental Municipal: Preservação ambiental e o desenvolvimento sustentável.** Disponível em: < http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2000_E0137.PDF>. Acesso em: 10 mai 2008.

SCHUARTZ, E. M. **Manual de vidraria artesanal.** Volume 1. São Paulo, 2002.

SIMÕES, I. A. **Modelagem e inversão de tempos de trânsito em meios heterogêneos anisotrópicos fatorados.** Rev. Bras. Geof. vol.15 no.1 São Paulo Mar. 1997.

VAN VLACK, L. **Propriedades dos Materiais Cerâmicos.** Editora Edgar Blucher. 2003.

VASQUES, R. A., ROCHA, V.C, FERNANDES, D.M.P. **Vidro Reciclado Aplicado a Revestimentos Cerâmicos.** In: 51 Congresso Brasileiro de Cerâmica, 2007. **Anais.** Bahia, Volume 1, Brasil, 2007.