



UFOP

Universidade Federal
de Ouro Preto

UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MINAS



VIDRO A PARTIR DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO

KEROLLAN DA SILVA RAMOS

OURO PRETO / MG

2021

KEROLLAN DA SILVA RAMOS

VIDRO A PARTIR DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO

Monografia submetida à apreciação da banca examinadora de graduação em Engenharia de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto, como parte dos requisitos necessários para a obtenção de grau de bacharel em Engenharia de Minas.

Orientador: Prof. José Aurélio Medeiros da Luz

OURO PRETO / MG

2021

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

R175v Ramos, Kerollan da Silva.
Vidro a partir de resíduos de mineração. [manuscrito] / Kerollan da
Silva Ramos. - 2021.
55 f.: il.: color., tab..

Orientador: Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto.
Escola de Minas. Graduação em Engenharia de Minas .

1. Mineração - Meio ambiente. 2. Sustentabilidade. 3. Resíduos
industriais. 4. Vidro - Processos de fabricação. I. Luz, José Aurélio
Medeiros da. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 622.85

Bibliotecário(a) Responsável: Sione Galvão Rodrigues - CRB6 / 2526



ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos vinte e três dias do mês de abril de 2021, às 20h00min, foi instalada a sessão pública remota para a defesa de Trabalho de Conclusão de Curso do discente **Kerollan da Silva Ramos**, matrícula 16.2.9741, intitulado: **VIDRO A PARTIR DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO**, perante comissão avaliadora constituída pelo orientador do trabalho, Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz, Eng.^a de Minas Bruna de Oliveira Gomes e Dr. Felipe de Orquiza Milhomem. A sessão foi realizada com a participação de todos os membros por meio de videoconferência, com base no regulamento do curso e nas normas que regem as sessões de defesa de TCC. Inicialmente, o presidente da comissão examinadora concedeu ao discente 20 (vinte) minutos para apresentação do seu trabalho. Terminada a exposição, o presidente concedeu, a cada membro, um tempo máximo de 20 (vinte) minutos para perguntas e respostas ao candidato sobre o conteúdo do trabalho, na seguinte ordem: primeiro a Eng.^a de Minas Bruna de Oliveira Gomes, segundo, Dr. Felipe de Orquiza Milhomem e em último, o Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz. Dando continuidade, ainda de acordo com as normas que regem a sessão, o presidente solicitou ao discente e aos espectadores que se retirassem da sessão de videoconferência para que a comissão avaliadora procedesse à análise e decisão. Após a reconexão do discente e demais espectadores, anunciou-se, publicamente, que o discente foi aprovado, por unanimidade, com a nota 9,0 (nove, vírgula zero), sob a condição de que a versão definitiva do trabalho incorpore todas as exigências da comissão, devendo o exemplar final ser entregue no prazo máximo de 15 (quinze) dias. Para constar, foi lavrada a presente ata que, após aprovada, foi assinada pelo presidente da comissão. O discente, por sua vez, encaminhará uma declaração de concordância com todas as recomendações apresentadas pelos avaliadores. Ouro Preto, 23 de abril de 2021.

Presidente: Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz

Membro: Eng.^a de Minas Bruna de Oliveira Gomes

Membro: Dr. Felipe de Orquiza Milhomem

Discente: Kerollan da Silva Ramos

AGRADECIMENTOS

Agradeço à UFOP e à Escola de Minas por me proporcionarem um ensino gratuito e de qualidade. A todos os professores, técnicos e orientadores com os quais tive o privilégio de ter sido discípulo, em especial às minhas orientadoras Geriane Macedo Rocha, Prof^a. Dr^a. Otávia Martins Silva Rodrigues e Prof^a. Dr^a. Rosa Malena Fernandes Lima e ao meu orientador Prof. Dr. José Aurélio Medeiros da Luz. Agradeço também aos meus amigos pela convivência e companheirismo.

RESUMO

Resíduos de mineração são gerados em grandes quantidades durante a exploração mineral e apresentam enormes riscos de impactos ambientais. Atualmente, quase que a totalidade dos resíduos gerados têm sido estocados em barragens, gerando assim altos custos envolvidos no gerenciamento dessas. O presente trabalho teve o intuito de investigar políticas públicas no que tange ao aproveitamento de resíduos sólidos de mineração, avaliar a utilização dos resíduos de mineração como matéria-prima para produção de vidro, avaliar o histórico, as principais características e o processo de fabricação do vidro, bem como avaliar, de forma simplificada, os custos de construção, venda e operação de uma fábrica de vidro. Através de ensaios e da revisão da literatura, foi constatada a viabilidade técnica no uso dos resíduos de mineração para o fabrico de vidro. Os vidros produzidos apresentaram características padrões aos vidros comercializados. Os custos de operação anual e o preço de venda da tonelada de vidro, respectivamente, foram estimados em cerca de R\$ 673 milhões e R\$ 4.808,27, para uma fábrica com produção de 400 t/dia, e em cerca de R\$ 28 milhões e R\$ 5.306,67, para uma fábrica com produção de 15 t/dia. A viabilidade econômica deste aproveitamento de resíduos depende de grandes investimentos financeiros, sendo este possível através do apoio e participação de investidores externos com bastante capital disponível ou do investimento e apoio governamental.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos de mineração; Vidro; Impactos ambientais; Fábrica de vidro.

ABSTRACT

Mining waste is generated in large quantities during mineral exploitation and presents enormous risks of environmental impacts. Nowadays, almost all of the mining waste generated has been dumped into dams, thereby generating high costs involved in managing them. The present work aimed to investigate public policies regarding the use of solid mining waste, evaluate the use of mining waste as a raw material for glass production, evaluate the history, the main features and the manufacturing process of the glass, as well as, in a simplified way, assessing the costs of building, selling, and operating a glass factory. Through testing and the literature review, the technical viability in the use of mining waste for the manufacture of glass was found. The glasses produced showed standard characteristics to the glasses marketed. Annual operating costs and the selling price of the ton of glass, respectively, were estimated at approximately R\$ 673 million and R\$ 4,808.27, for a factory with a production of 400 t/day, and at approximately R\$ 28 million and R\$ 5,306.67, for a factory with a production of 15 t/day. The economic viability of this use of waste depends on large financial investments, which is possible through the support and participation of external investors with enough available capital or investment and government support.

KEYWORDS: Mining waste; Glass; Environmental impacts; Glass factory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Formação dos vidros.....	23
Figura 2 - Fabricação de vidro parte 1	27
Figura 3 - Fabricação de vidro parte 2	28
Figura 4 - Fabricação de vidro parte 3	28
Figura 5 - Etapas de adequação das matérias-primas	32
Figura 6 - Forno utilizado para fabricação do vidro	33
Figura 7 - Vidros produzidos.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Óxidos e terras para a coloração dos vidros.....	25
Tabela 2 - Composições típicas de alguns tipos de vidro (em %)	25
Tabela 3 - Imperfeições durante o processo de fusão	29
Tabela 4 - Distribuição da remuneração média nominal dos trabalhadores/as por segmento e gênero - 2013	36
Tabela 5 - Estimativa de custo para uma pequena empresa de bolas de gude	38
Tabela 6 - Orçamento de capital do projeto	39
Tabela 7 - Resumo do orçamento	41
Tabela 8 - Composição de custo de recursos humanos	42
Tabela 9 - Estimativa de gastos para uma média produção de vidro.....	43
Tabela 10 - Estimativa de gastos para uma pequena produção de vidro.....	43
Tabela 11 - Estimativa de custo de operação anual de uma fábrica de vidro com produção média e distribuição do preço de venda por tonelada	44
Tabela 12 - Estimativa de custo de operação anual de uma fábrica de vidro com produção pequena e distribuição do preço de venda por tonelada.....	44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIROCHAS	Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais
ABPA	Associação Brasileira de Proteína Animal
AEC	Antes da Era Comum
ANM	Agência Nacional de Mineração
BNDES	Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social
CFEM	Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CNQ	Confederação Nacional do Ramo Químico da CUT
COMIG	Companhia Mineradora de Minas Gerais
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EC	Era Comum
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
MG	Minas Gerais
MME	Ministério de Minas e Energia
MPF	Ministério Público Federal
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
USGS	<i>United States Geological Survey</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVO GERAL.....	13
1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1. POLÍTICAS DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO	14
2.2. MATÉRIA-PRIMA NA FABRICAÇÃO DO VIDRO.....	15
2.2.1. Fonte de SiO₂	16
2.2.1.1. Resíduos sólidos da mineração de minério de ferro.....	16
2.2.1.2. Quartzito ornamental e areia industrial (quartzo): areia natural, quartzito industrial e quartzo (de veio)	17
2.2.1.2.1. <i>Resíduos de quartzito ornamental</i>	18
2.2.2. Fonte de Na₂O	19
2.2.2.1. Barrilha leve.....	19
2.2.3. Fonte de CaO e MgO	19
2.2.3.1. Calcário (calcita) e dolomito (dolomita)	19
2.2.3.2. Casca de ovos.....	20
2.2.4. Fonte de Al₂O₃ e aditivos	21
2.2.4.1. Feldspato.....	21
2.3. VIDRO.....	22
2.3.1. Histórico	22
2.3.2. Características, composição e tipos principais de vidro	23
2.3.3. Reciclagem do vidro	25
2.4. O VIDRO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MINERAÇÃO: PRECEDENTES NA LITERATURA.....	26
2.5. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO VIDRO.....	27
2.5.1. Mistura	29
2.5.2. Fusão	29
2.5.3. Refinador e acabamento	30
2.5.4. Recozimento	30
2.5.5. Corte e finalização da produção do vidro	31
3. ANÁLISE EXPEDITA DE EMPREENDIMENTO VIDREIRO	32
3.1. PREMISSÁRIO E CRITÉRIOS DE PROJETO.....	34

3.2. FATORES ECONÔMICOS NO FABRICO DE VIDRO.....	34
3.3. INOVAÇÕES PARA O EMPREENDIMENTO.....	44
4. CONCLUSÃO	47
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	49

1. INTRODUÇÃO

A mineração tem sido um dos setores principais e mais importantes para o crescimento e desenvolvimento do Brasil. Contudo, junto ao bônus trazido pela mineração, um ônus bastante problemático tem tomado os holofotes há alguns anos: os resíduos de mineração. Desastres recentes como os rompimentos de barragem em Mariana-MG, em 2015, e em Brumadinho-MG, em 2019, demonstraram o perigo e o impacto que esses resíduos podem provocar quando mal destinados.

Segundo dados do Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração divulgados pela Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM (2018), o total de resíduos inventariados somente no estado de Minas Gerais em 2018, ano base 2017, foi superior a 562,4 milhões de toneladas, um valor aproximadamente 13 vezes maior ao dos 43 milhões de toneladas de lama provenientes do rompimento da barragem em Mariana-MG, em 2015, causador do maior desastre ambiental da história do Brasil (PIMENTEL, 2018). Do total de resíduos gerados anualmente, somente cerca de 9,9 mil toneladas foram reutilizados. Segundo o Ministério Público Federal - MPF (2016), espera-se que, entre os anos de 2010 e 2030, sejam produzidos mais de 11 bilhões de toneladas de resíduos pela mineração.

Ainda que desastres por rompimentos de barragens sejam relativamente raros e passíveis de se evitar, existem ainda uma série de outros problemas frequentes causados devido à má disposição desses resíduos sólidos. Poeira, assoreamento dos rios, erosão, compactação do solo, contaminação do solo e dos lençóis freáticos, degradação do entorno, obstrução do leito suplementar dos córregos e calhas de drenagem, entre outros, estão entre esses problemas (ASSIS *et al.*, 2011).

Entretanto, apesar de todos os riscos em potencial, a geração de resíduos na mineração é algo intrínseco e indissociável ao processo em si. Aliás, costumeiramente, desde a extração até o processamento de minérios geram-se quantidades de resíduos iguais ou maiores do que a de produto. Todavia, existem alternativas para se evitar riscos causados pela estocagem desse material em barragens. Uma delas é o aproveitamento desses materiais como matéria-prima para produção de diversos produtos, dentre eles, se destaca o vidro.

O vidro se destaca por ser um material bastante versátil, possuir variadas utilizações e ser 100 % reciclável (AKERMAN, 2000). Existem vidros de diversos tipos e composições químicas distintas, porém, os vidros soda-sílica-cal são os tipos mais comuns, correspondendo a cerca de 90 % da produção mundial (VICTORIA, 2018). Vidros soda-sílica-cal são formados essencialmente por SiO₂, Na₂O, CaO, MgO, Al₂O₃ (ingredientes convencionalmente expressos

como óxidos) e outros aditivos, os quais concedem enorme potencial de serem fabricados a partir de resíduos de mineração, uma vez que os minerais que os compõe se apresentam em grandes quantidades e concentrações em diversos resíduos de mineração comuns no Brasil, tais como minério de ferro (fonte de SiO_2), rochas ornamentais (fonte de CaO , MgO e SiO_2) e feldspato (fonte de Al_2O_3 e aditivos) (VICTORIA, 2018).

1.1. OBJETIVO GERAL

Avaliar a viabilidade técnica do aproveitamento de resíduos sólidos de mineração para fabrico de vidro soda-sílica-cal, e investigar os aspectos técnicos e econômicos da fabricação de vidro e da instalação e operação de uma fábrica de vidro.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar possíveis fontes de matérias-primas para fabricação de vidro soda-sílica-cal a partir de resíduos sólidos de mineração;
- Investigar o vidro, segundo sua origem, características, composição, tipos principais e reciclagem;
- Avaliar, através da literatura, a viabilidade técnica da produção de vidro a partir de resíduos sólidos de mineração;
- Estudar um processo típico de fabricação de vidro em uma fábrica de vidro;
- Avaliar fatores econômicos no fabrico de vidro;
- Avaliar os custos para a construção de uma fábrica de vidro;
- Avaliar os custos de operação de uma fábrica de vidro.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Conceitualmente há diferenciação entre estéril, rejeito e resíduos; todavia no presente trabalho todos esses termos serão designados como sendo somente “resíduos”. Assim, entende-se que resíduos podem ser passíveis de aproveitamento, ainda que se tratando de uma produção artesanal.

2.1. POLÍTICAS DE FOMENTO AO APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MINERAÇÃO

O aproveitamento de resíduos de mineração esteve por muito tempo em um limbo político-legislativo. Conforme Maia e Reis (2019), tanto o código de Mineração (Decreto-Lei nº 227, de 1967) quanto o regulamento anterior (Decreto nº 62.934/68) não faziam qualquer menção a esse tipo de atividade. Em virtude aos recentes acidentes envolvendo os rompimentos de barragens, foi dado o primeiro passo em direção a um ambiente regulatório mais propenso a projetos de aproveitamento de resíduos com o Decreto nº 9.406 (Regulamento do Código de Mineração), de 2018, que passou a incluir os conceitos de aproveitamento de resíduos na legislação. Contudo, a regulamentação completa da atividade ainda permanece pendente.

Muito vem sendo discutido sobre a mudança do conceito atual que trata os resíduos de mineração como algo sem valor. Dá-lo um status econômico, implicando então em seu aproveitamento em outros setores da economia tem sido o enfoque de discussões frequentes. É o assim chamado conceito de mineração sustentável. Conforme destacado pela FEAM, o atual desafio é criar políticas que incentivem a reutilização desse universo (DRUMOND, 2018).

O aproveitamento dos resíduos é também bastante enfatizado pela RECOMENDAÇÃO N°014/2016-MPF-GAB/FT feita pelo MPF (2016):

(...) o aproveitamento dos resíduos sólidos da mineração é fundamental para o desenvolvimento sustentável, uma vez que reduz o custo ambiental da atividade;
 (...) os resíduos da mineração são possíveis de reutilização através de processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis e que devem ter a destinação (e não a disposição) final ambientalmente adequada;
 (...) ademais de minimizar o impacto ambiental da mineração, a reintrodução dos resíduos na cadeia econômica pode se mostrar uma atividade lucrativa, uma vez que reduz os gastos com barragens de rejeitos e pilhas de estéril e aumenta as receitas com a venda do resíduo ou da matéria oriunda de seu processamento, compatibilizando assim, em perfeita sintonia, o desenvolvimento econômico com a proteção ambiental;
 (...) o enorme passivo ambiental gerado por estes resíduos sólidos e a exigência normativa de disposição ecologicamente correta destes resíduos, o reaproveitamento dos mesmos ainda não é realidade em nosso país;

(...) a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, instituída pela Lei n. 12.305/2010, conceitua como gerador de resíduo sólido a pessoa física ou jurídica que gera resíduos sólidos por meio de suas atividades, e exige a destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, o que inclui sua reutilização, visando minimizar os impactos ambientais adversos, através da denominada logística reversa, que consiste no reaproveitamento do resíduo em seu próprio ciclo ou em outro ciclo produtivo (art. 3º, incisos VII e IX, da Lei n. 12.305/2010);

(...) a gestão integrada dos resíduos sólidos se traduz no conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sólidos sob a premissa do desenvolvimento sustentável (art. 3º, inciso XI, da Lei n. 12.305/2010), e deve ser observada no processo minerário, com a destinação dos resíduos da mineração passando das pilhas de estéreis e barragens de rejeitos para uma reintrodução na cadeia produtiva, por meio do aproveitamento, após o devido processamento, entre outros, como matéria-prima para produtos da construção civil;

(...) os resíduos da mineração são possíveis de reutilização através de processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis e que devem ter a destinação (e não a disposição) final ambientalmente adequada;

(...) a existência de tecnologia que permite a reintrodução dos resíduos de mineração em atividades produtivas economicamente viáveis acaba com a faculdade de se dispor dos mesmos, ainda que de forma ambientalmente correta, e introduz o dever de sua destinação ambientalmente adequada, através da utilização em outros processos produtivos;

(...) é objetivo da Política Nacional de Resíduos Sólidos a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento dos resíduos sólidos, bem como destinação e disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, além da adoção, desenvolvimento e aprimoramento de tecnologias limpas como forma de minimizar impactos ambientais (art. 7º, incisos II e IV, da Lei n. 12.305/2010);

(...) na gestão dos resíduos sólidos a ordem de prioridade impõe a reutilização e reciclagem dos resíduos sólidos antes da disposição final ambientalmente correta (arts. 3º, 6º, 7º e 9º da Lei n. 12.305/2010).

Além desses, a Lei nº 13.240, Art. 1º, § 7º, de 2017 estabelece incentivos financeiros em estímulo ao aproveitamento dos resíduos:

No caso de rejeitos e estéreis de minerais associados utilizados em outras cadeias produtivas, haverá uma redução de alíquota da CFEM de 50 % (cinquenta por cento).

2.2. MATÉRIA-PRIMA NA FABRICAÇÃO DO VIDRO

A seguir serão abordadas possíveis fontes de matérias-primas que podem ser utilizadas no fabrico do vidro tipo soda-sílica-cal (formado por SiO_2 , Na_2O , CaO , MgO , Al_2O_3 e outros aditivos), sejam elas naturais, como as obtidas pelo próprio mineral ou pelo resíduo gerado por esse, ou sejam elas sintéticas ou orgânicas. Em face do foco do presente trabalho, ênfase foi dada a insumos constituintes de resíduos da região próximas à área de influência da Universidade Federal de Ouro Preto, bem assim, aqueles materiais mais compatíveis com empreendimentos de pequeno porte ou de caráter artesanal.

2.2.1. Fonte de SiO₂

2.2.1.1. Resíduos sólidos da mineração de minério de ferro

O minério de ferro, devido suas propriedades químicas e físicas, é utilizado majoritariamente na indústria siderúrgica (98 %) (MARTINS, 2016). De acordo com o Ministério de Minas e Energia - MME (2009) através do projeto de assistência técnica ao setor de energia (Projeto ESTAL), o Brasil tem um potencial de 70 bilhões de toneladas de minério de ferro capaz de, nas condições atuais conhecidas, possivelmente atender a expansão da demanda interna para cobrir as necessidades siderúrgicas até 2030. Em especial, são de grande importância os depósitos itabiríticos. Os itabiritos são rochas finamente bandadas ou laminadas e constituem-se, principalmente, de minerais de sílica e de ferro, com algumas variedades de carbonatos e silicatos. Possivelmente são formados por precipitação química (CARVALHO *et al.*, 2014).

No Brasil, a mineração de minério de ferro gera dezenas de milhões de toneladas de resíduos anualmente. Atualmente esses resíduos têm sido utilizados para preenchimento de cavas de mineração ou dispostos em barragens, representando um sério risco quanto ao passivo ambiental, caso essas não sejam adequadamente planejadas, operadas e mantidas. Além dos riscos ambientais, ainda existem os altos custos envolvidos no gerenciamento dessas barragens (MARTINS, 2016).

Conforme a “Classificação das barragens de mineração brasileiras - data base fev/2019”, divulgado pela Agência Nacional de Mineração - ANM (2019), o volume total das barragens cujo minério principal seja classificado como sendo “hematita”, “minério de ferro” ou “itabirito” perfazem 1.322.664.445,47 m³.

Conforme o documento RECOMENDAÇÃO N°014/2016-MPF-GAB/FT feita pelo MPF (2016), é estabelecido que no decênio compreendido entre 1996 e 2005 a atividade minerária no Brasil produziu mais de dois bilhões de toneladas de resíduos, sendo a mineração de ferro a maior produtora, contribuindo com mais de 35 % de todo o volume, e que a previsão para o período compreendido entre os anos de 2010 e 2030 é que sejam produzidos mais de 11 bilhões de toneladas de resíduos pela mineração, sendo a extração de ferro responsável por mais de 41 % deste total.

De acordo com Bezerra (2017):

A realização do Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração busca o aprimoramento da gestão de resíduos no Estado, em consonância com a Lei nº 18.031 de 12 de janeiro de 2009, dispõem sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos. Em escala federal, o inventário faz cumprir a Resolução do CONAMA nº 313, de 29 de outubro de 2002.

Segundo Yang *et al.* (2014), conforme citado por Bezerra (2017), resíduos de minério de ferro são compostos principalmente de óxidos de silício (SiO_2), de alumínio (Al_2O_3), de cálcio (CaO), de ferro (Fe), de manganês (Mn), de enxofre (S), de fosfatos (PO_4^{3-}) e algumas composições de metais pesados.

Em se tratando de mineração de itabirito, a quantidade de resíduos gerados é aproximadamente igual à quantidade de concentrado de minério de ferro produzido. Comumente esses resíduos apresentam elevado teor de óxidos de silício (por vezes acima de 85 % em massa) (MARTINS, 2016), podendo ser aproveitado para outras finalidades.

Conforme Martins (2016), estudos com finalidade de encontrar utilizações para esses resíduos têm sido realizados nos últimos anos e algumas das utilizações vislumbradas foram: produtos cimentícios, “madeira plástica”, pigmento de óxidos de ferro e sílica de alta pureza.

Martins (2016) obteve sílica com característica pozolânica e pureza de 99,9 %, a partir de resíduos de um minério itabirítico com teor de 33,4 % em massa de SiO_2 , através de técnicas clássicas de beneficiamento de minério, como a classificação granulométrica e separação magnética, seguidas das operações hidrometalúrgicas de lixiviação ácida e precipitação química e também a técnica de fusão alcalina.

2.2.1.2. Quartzito ornamental e areia industrial (quartzito): areia natural, quartzito industrial e quartzito (de veio)

Quartzitos são rochas metamórficas compostas principalmente, e quase totalmente, por grãos de quartzo. Comumente são explorados como rocha ornamental ou ainda como componente da areia industrial.

De acordo com o Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral - META, divulgado pelo MME (2016), as reservas medidas de quartzito no Brasil são de cerca de 2,2 bilhões de toneladas, considerando tanto o quartzito ornamental (1,8 bilhões de toneladas) quanto o quartzito industrial (334 milhões de toneladas). As maiores reservas de quartzito ornamental estão distribuídas entre os estados de Minas Gerais (944 milhões), Bahia (466 milhões) e Rio Grande do Norte (279 milhões). Somadas esses estados são responsáveis por cerca de 88 % da produção total, sendo que em 2015 a produção nacional foi de cerca de 172.463 toneladas.

Areias industriais podem ser definidas como todos os materiais granulares, não coesivos, compostas essencialmente por quartzo (tudo aquilo que não é quartzo é considerado impureza), formados por um conjunto de partículas sólidas situadas em uma faixa de tamanho

entre 0,062 e 2,0 mm e que são utilizadas como matéria-prima para diversos fins industriais, entre eles, a produção de vidros (VICTORIA, 2018).

Areias industriais não são recursos encontrados em depósitos naturais, e sim materiais sintéticos produzidos pelo beneficiamento de outras matérias-primas ricas em quartzo, porém com impurezas, tais como areias naturais, quartzitos e veios de quartzo (VICTORIA, 2018).

Conforme apresentado no Anuário Mineral Brasileiro (2010), ano base 2009, o Brasil apresentou produção de areias industriais concentrada principalmente nas regiões sul e sudeste, com destaque para o estado de São Paulo, sendo ele o maior produtor, consumidor e detentor das maiores reservas do país. As principais fontes usadas para sua produção foram areias quartzosas naturais, quartzito e veios de quartzo. O total de reserva lavrável estimado no país é de 1.218.119.334 toneladas, sendo Minas Gerais responsável por 243.335.997 toneladas. Em relação a produção comercializada, o país produziu 5.061.526 toneladas de areias industriais beneficiadas, sendo Minas Gerais responsável por 224.855 toneladas. Em dados mais recentes, referentes ao Anuário Mineral Estadual (2019), ano base 2016, é estimado que o estado de Minas Gerais possuísse uma reserva lavrável de 497.189.415 toneladas e uma produção comercializada de 606.218 toneladas. Aproximadamente 60 % da produção nacional de areia industrial é destinada à fabricação de vidro e de moldes de fundição.

2.2.1.2.1. *Resíduos de quartzito ornamental*

O aproveitamento da areia industrial é tamanho que acarreta em pouca geração de resíduos, sendo assim escassas as fontes contendo valores do volume produzido em escala nacional ou estadual, porém, na produção de quartzito ornamental o mesmo fato não ocorre. De acordo com Lima *et al.* (2007), segundo empresas que realizaram aproveitamento dos quartzitos como rocha ornamental na região de Ouro Preto-MG, para uma produção mensal de 1.500 m³, o volume total de resíduos soltos foi de aproximadamente 300.000 m³. Segundo Barbosa (2008) e Ramirio *et al.* (2008), na extração de quartzito, em certas ocasiões, o aproveitamento do material explotado chega a ser de somente 8 %, gerando assim 92 % de resíduos.

Lima *et al.* (2005) determinaram a composição mineralógica de resíduos de pedreiras de quartzito da região de Ouro Preto-MG e identificaram os minerais: quartzo (85 %), micas (moscovita e cianita - 10 %), sericita (5 %), além dos minerais opacos rutilo, zircão, hematita, goethita, calcopirita e prata que constituíam cerca de 2 % da composição mineralógica dos quartzitos. Altoé e Vidal (2017) comentam ainda que, em alguns casos, tais resíduos chegam a apresentar mais de 95 % de teor de quartzo. Conforme Babisk *et al.* (2010), devido ao fato de

os resíduos de quartzito serem ricos em SiO_2 (principal óxido formador da rede do vidro), uma possível finalidade para os resíduos então seria utilizá-los na fabricação de vidro.

2.2.2. Fonte de Na_2O

2.2.2.1. Barrilha leve

Barrilha é um material sintético constituído de carbonato de sódio (Na_2CO_3), popularmente conhecido como soda ou cinza sódica. Trata-se de um pó esbranquiçado amplamente empregado como componente fundente nas massas de vidros de soda e cal por ser fonte de Na_2O , óxido que reduz a temperatura de fusão da sílica em 200°C (VICTORIA, 2018). Sua produção em larga escala é feita através de reações a partir do sal de cozinha (NaCl), cal (CaO) e amônia (NH_3) em um processo conhecido como Processo Solvay (SANTINI *et al.*, 2006 *apud* Victoria, 2018). Segundo dados da *United States Geological Survey - USGS* (2020), com base nos relatórios trimestrais de 2019, são estimados que 47 % de toda produção de carbonato de sódio seja destinada ao fabrico de vidro. De acordo com Falk (2008), não ocorre produção de barrilha em território nacional, tendo o Brasil que importar 100 % do necessário para seu consumo.

2.2.3. Fonte de CaO e MgO

2.2.3.1. Calcário (calcita) e dolomito (dolomita)

Os calcários são rochas sedimentares compostas, basicamente, por calcita (CaCO_3), enquanto os dolomitos são também rochas sedimentares compostas, basicamente, pelo mineral dolomita ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$). O calcário calcítico é a rocha carbonatada mais comum, seguida do dolomito e do mármore, esse último tendo a calcita como principal constituinte mineralógico (SAMPAIO e ALMEIDA, 2008).

Como resíduos, calcita e dolomita são bastante produzidas nas etapas de extração e beneficiamento de mármore como rochas ornamentais. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria de Rochas Ornamentais - ABIROCHAS (2018), em 2017, a produção brasileira de mármore e travertino atingiu dois milhões de toneladas. Segundo a Companhia Mineradora de Minas Gerais - COMIG (1999), no estado de Minas Gerais a lavra de mármore é efetuada em apenas dois locais. Um deles situa-se na serra da Saudade, entre as cidades de Campos Altos e

Córrego D'anta, enquanto que o outro, mais antigo e importante, refere-se à denominada Mina do Cumbi, situada no município de Ouro Preto. A produção de blocos de mármore de Ouro Preto e Córrego D'anta devem totalizar, segundo informações da empresa Minas Pérola, conforme citado por COMIG (1999), 7.200 m³/ano, sendo Ouro Preto responsável por 6.000 m³/ano. O beneficiamento da produção ocorre em Cachoeira do Campo (município de Ouro Preto), gerando cerca de 90.000 m² de chapas grandes e lajotas padronizadas.

Outras ocorrências de mármore conhecidas no estado de Minas Gerais, atualmente não exploradas, são registradas em Cardeal Mota (mármore Primavera e Preto Florido), Monjolos (mármore Verde Esmeralda e Verde Rodeador) e Mar de Espanha (mármore branco, tipo Espírito Santo) (COMIG, 1999).

Segundo Marinho e Boschi (2000) e Freas (1994), conforme citado por Sampaio e Almeida (2008), uma diferença básica entre a calcita e a dolomita, de fundamental interesse à calcinação, é a composição de ambas: na calcita há 56 % de CaO e na dolomita há 21,95 % de MgO e 30,4 % de CaO. O óxido de cálcio (CaO), também chamado de cal, é um produto derivado da calcinação do calcário ou do dolomito. De acordo com dados da USGS (2020), em 2019, a produção brasileira de cal foi de aproximadamente 8,4 milhões de toneladas. A magnésia (MgO) é obtida a partir do dolomito. Ao invés de serem descartados como resíduos e dispostos em barragens ou encostas, a calcita e a dolomita gerada da exploração do mármore podem servir para diversas finalidades, entre elas, a produção de matérias-primas para o fabrico de vidro.

2.2.3.2. Casca de ovos

Apesar de não ser um mineral, o ovo pode servir como fonte de carbonato de cálcio.

O ovo é considerado um alimento bastante completo. Rico em proteína, ferro e zinco, ainda contém consideráveis quantidades de cálcio, fósforo, vitamina A e B, colina, entre outros (NOVELLO *et al.*, 2006).

De acordo com o Instituto *Certified Humane* Brasil (2018), a soma nacional de galinhas poedeiras é de aproximadamente 243 milhões de animais, com maior concentração na região Sudeste, seguida da região Sul.

Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal - ABPA (2019), para 2019 a previsão de consumo de ovo per capita é de 230 unidades, um aumento de 8,5 % em relação ao ano de 2018. Aliás, também foi previsto um aumento na produção nacional para até aproximadamente 48,93 bilhões de unidades.

Em relação à casca do ovo, responsável por cerca de 10 % em massa de ovo (STADELMAN, 2000, *apud* SOUZA *et al.*, 2017), aproximadamente 94 % da sua massa é composta por carbonato de cálcio (SOUZA *et al.*, 2017), podendo ser utilizado como matéria-prima para fabricação de vidro. Inclusive, esse uso foi demonstrado no trabalho realizado por Souza *et al.* (2017).

2.2.4. Fonte de Al_2O_3 e aditivos

2.2.4.1. Feldspato

Feldspato é um grupo de minerais pertencentes à classe de aluminossilicatos que possuem fórmula química genérica AB_4O_8 ($\text{A} = \text{Ca}, \text{Na}, \text{K}$ e $\text{B} = \text{Al}, \text{Si}$) (LIRA e NEVES, 2013). Com base nas diferentes proporções entre os álcalis que o compõem, os feldspatos são denominados de formas diferentes, conforme Victoria (2018):

- (i) os termos da série sódica e potássica são chamados de feldspatos alcalinos e incluem as variedades albita, anortoclásio e sanidina;
- (ii) os termos da série calco-sódica são conhecidos como plagioclásios e incluem as variedades anortita, bytownita, labradorita, andesina, oligoclásio e albita.

Como resíduo, pode-se obter consideráveis quantidades de feldspatos gerados na lavra de rochas ornamentais, especialmente em granitos e pegmatitos. Conforme dados da ABIROCHAS (2018), em 2017, a produção brasileira de granito e similares foi de cinco milhões de toneladas, ainda de acordo com eles, em Minas Gerais, nesse mesmo ano, foram produzidos cerca de 1,9 milhões de toneladas de rochas ornamentais, entre elas, granitos e pegmatitos. Segundo Vidal *et al.* (2013), no Brasil a produção de resíduos na exploração de rochas ornamentais pode atingir 20 Mt/ano na etapa de extração e, na etapa de beneficiamento, 1.500.000 t/ano de resíduos finos (pó de rocha) e 800.000 t/ano de resíduos grossos (casqueiros e aparas).

Conforme Luz e Coelho (2005), as indústrias de vidro e de cerâmica são as principais consumidoras de feldspato. No Brasil, essas consomem em torno de 88 % de todo o feldspato beneficiado produzido. No fabrico de vidro, o feldspato é usado principalmente como fonte de Al_2O_3 (estabilizador), Na_2O (liquefaciente ou fundente) e/ou K_2O (liquefaciente ou fundente), aliás, ainda pode servir como fonte de SiO_2 (vidro-formador) e CaO (estabilizador).

2.3. VIDRO

2.3.1. Histórico

Desde o homem pré-histórico o vidro já era utilizado. Nessa época armas de caça e defesa eram confeccionadas a partir da obsidiana, uma espécie de vidro natural formado pelo resfriamento brusco de lava (magma resfriado na superfície terrestre). Somente por volta de 1500 AEC (datas divergem, algumas fontes citam 5000 AEC), na região do Egito e da Fenícia, que o homem desenvolveu técnicas que possibilitaram a fabricação de vidro artificial (VICTORIA, 2018 e MAIA, 2003).

A princípio o vidro era pouco utilizado, porém por volta de 300 AEC, sua utilização se popularizou quando houve desenvolvimento da técnica do sopro. Essa técnica consiste em, com auxílio de um tubo, com uma ponta captar uma porção de material em fusão e então soprá-lo pela outra extremidade, assim causando o surgimento de uma bolha no interior da massa, sendo que essa, após o resfriamento, formará o interior da embalagem. Ainda hoje esse mesmo princípio é utilizado para produção de embalagem nos equipamentos modernos (AKERMAN, 2000).

Com o passar dos anos, com cada nova descoberta, o vidro foi sendo aperfeiçoado e ganhando cada vez mais importância e utilidade. Na idade média, o vidro era muito utilizado como vitrais nas catedrais para contar as histórias visto que, neste período, eram poucos os que sabiam ler. Por volta de 1200 EC, os vidreiros na ilha de Murano descobriram a produção de um vidro muito claro e transparente. A partir desses vidros foi possível a invenção de lentes, o que possibilitou posteriormente a criação dos binóculos e telescópios. Aliás, o desenvolvimento da Química ocorreu, em grande parte, devido a fabricação de recipientes especiais e termômetros de laboratório, também a partir desses vidros (AKERMAN, 2000).

No século XIX, com o desenvolvimento da máquina de passagem, possibilitou-se a produção em massa do vidro. Daí em diante, os métodos manuais foram praticamente abandonados na fabricação em larga escala, porém, ainda utilizado na produção artesanal (REUTER, 1994).

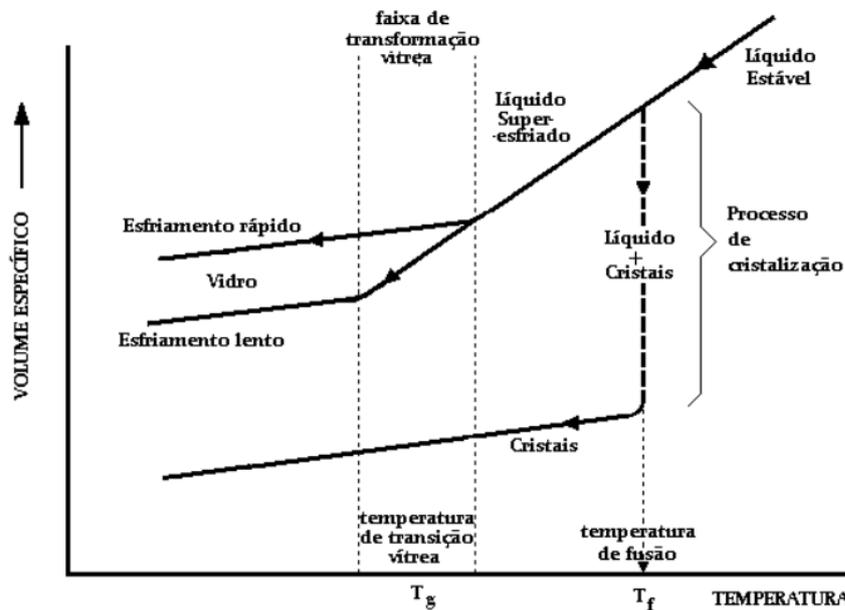
No Brasil, as primeiras peças de vidro fabricadas foram feitas por vidreiros holandeses entre 1624 e 1635. Com a expulsão dos holandeses, a nascente indústria do vidro desapareceu. Contudo, ao final do século XIX ocorreu a recuperação da indústria do vidro no país, sendo que em 1861 a indústria brasileira já apresentava artigos de vidro nacionais em uma Exposição

Nacional. Desde então, a indústria de vidro se consolidou em território nacional, principalmente no estado de São Paulo (MAIA, 2003).

2.3.2. Características, composição e tipos principais de vidro

O vidro é sólido, duro e não cristalino. Compartilha algumas propriedades com os cristais como: capacidade calorífica, condutividade térmica, índice de refração, propriedades elétricas e mecânicas e mesma densidade dos cristais de igual composição. O principal fator que o difere dos cristais é o fato de que, enquanto esse último se constitui pelo ordenamento dos arranjos de moléculas que se repetem em períodos regulares, o vidro, por sua vez, apresenta o fenômeno de transição vítrea e não apresenta arranjo atômico regular e sistemático ao longo de distâncias atômicas relativamente grandes, portanto, sendo dito como sendo um material amorfo (AKERMAN, 2000 e BABISK *et al.*, 2010). A diferença está representada na Figura 1.

Figura 1 - Formação dos vidros



Fonte: Adaptada de AKERMAN (2000).

Na formação do vidro o resfriamento se dá muito rapidamente, não havendo tempo para que as moléculas se desloquem umas em relação às outras para assim constituírem os cristais. Como mostrado na Figura 1, ao invés de cristalizar, o material se torna o chamado “líquido super-resfriado”, onde a redução de volume só continua devido à diminuição do agitação térmico. Com a diminuição da temperatura, caso o material apresente um grande aumento da

viscosidade, o que impossibilitaria a movimentação de moléculas, ocorreria que, apesar de que as moléculas não apresentariam um arranjo definido, semelhante ao de um líquido, o comportamento da substância formada passaria a ser semelhante ao de um sólido cristalino, assim, se formaria o vidro. O ponto onde ocorre a mudança de fase entre o líquido super-resfriado e o vidro é correspondente ao da temperatura de transição vítrea (AKERMAN, 2000).

Conforme Maia (2003), devido às particularidades que o vidro apresenta, é dito que ele pertence a um estado particular da matéria conhecido como estado vítreo. Algumas de suas propriedades ainda não citadas são: não ter um ponto de fusão definido; não desviar o plano da luz polarizada quando é por esta atravessado; e não ser estável a altas temperaturas. O vidro pode ser definido então, segundo Maia (2003), como:

Produto inorgânico resultante de uma fusão que resfriou até um estado rígido sem haver cristalização. Os vidros também podem ser obtidos por deposição de vapores, desde que estes sejam bruscamente resfriados em contato com o substrato onde irão se depositar.

Por causa de sua estrutura, não é possível determinar a composição do vidro por uma fórmula química, por isso costuma-se representar o vidro por sua composição centesimal. Os óxidos que compõem o vidro são normalmente divididos em quatro categorias, sendo elas: (i) vidro-formadores (e.g. SiO_2); (ii) estabilizadores (e.g. CaO); (iii) fluxos ou fundentes (e.g. Na_2O); e (iv) acessórios (e.g. Fe_2O_3) (MAIA, 2003).

Vidro-formadores são óxidos cujos átomos possuem tamanho suficiente para serem rodeados por quatro átomos de oxigênio cada um, formando um arranjo tetraédrico, gerando cadeias que podem produzir vidro (MAIA, 2003). Estabilizadores são insumos que impedem a formação de defeitos internos durante o resfriamento da massa vítrea. Liquefacientes ou fundentes são insumos que fornecem os elementos necessários para a redução do ponto de fusão dos componentes estruturais, facilitando a formação da fase vítrea em menor tempo e reduzindo a energia utilizada para aquecer os fornos industriais (VICTORIA, 2018). Acessórios são insumos introduzidos no vidro, sempre em pequenas quantidades e com uma função específica (MAIA, 2003), por exemplo, óxidos e terras para a coloração dos vidros conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Óxidos e terras para a coloração dos vidros

FÓRMULA	ÓXIDO	COR
FeO	Ferro II	Marrom-amarelada
Fe ₂ O ₃	Ferro III	Verde-azulada
Fe ₃ O ₄	Ferro II + Ferro III	Verde de garrafa
Carbonato de Cobre	Nitrato	Verde-azulada
Mn	Manganês	Verde-amarelada
V ₂ O ₃	Vanádio	Verde-marrom
TiO ₂	Titânio	Lilás
Na ₂ O ₃	Neodímio	Vermelha
Ag	Prata	Amarela
Au e Cloreto	Ouro	Vermelha
PbO	Chumbo	Zinco-amarclada
Se	Selênio	Rósea
Pt	H , Pt, Cl	Azul-clara
C	Carvão	Marrom-preta

Fonte: Adaptada de REUTER (1994).

A Tabela 2 apresenta os principais tipos de vidros comerciais e algumas de suas composições típicas.

Tabela 2 - Composições típicas de alguns tipos de vidro (em %)

TIPO	UTILIZAÇÃO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO	MgO	PbO
Soda-sílica-cal	Embalagem	72	2	-	12,5	1	11	1,5	-
	Plano	71	1	-	13,5	0,5	10	4	-
	Lâmpada	73	1	-	16,5	0,5	5	4	-
Borossilicato	Pyrex	79	2	13	5,5	-	-	-	-
	Fibra isolamento	66	1,5	3,5	15,5	1	8	4	-
Chumbo	Cristal	56	-	-	4	12	2	2	24
	Néon	63	1	-	8	6	-	-	22
	Lente	32	-	-	1	2	-	-	65
Aluminoborossilicato	Farmacêutico	72	6	11	7	1	1	-	-
	Fibra reforço	55	15	7	-	-	19	4	-

Fonte: Adaptada de AKERMAN (2000).

2.3.3. Reciclagem do vidro

O vidro é um dos poucos materiais 100 % reciclável. Tal característica garante a ele um ciclo infinito de renovação na cadeia produtiva. Algo bastante positivo em termos de desenvolvimento sustentável e redução dos impactos ambientais (VICTORIA, 2018). Além de

infinita, a reciclagem não causa perda de qualidade ou pureza ao vidro (*GLASS PACKAGING INSTITUTE*, 2020).

A reciclagem traz outros enormes benefícios como: redução das emissões e consumo de matérias-primas, prolongamento da vida útil dos equipamentos utilizados para fabricação de vidro (tais como os fornos) e economia de energia. Mais de uma tonelada de recursos naturais são economizados para cada tonelada de vidro reciclado. Os custos de energia caem cerca de 2 a 3 % para cada 10 % de caco de vidro reaproveitado no processo de fabricação. Uma tonelada de dióxido de carbono (CO₂) é reduzida para cada seis toneladas de recipientes de vidro reciclado utilizados no processo de fabricação atual. A reciclagem de 1.000 toneladas de vidro cria um pouco mais do que oito trabalhos (*GLASS PACKAGING INSTITUTE*, 2020). Para cada 10 % de caco de vidro na mistura reduz-se cerca de 9,5 % no consumo de água (CEMPRE, 201-). No mundo, cerca de 34 % dos recipientes de vidro são reciclados (USGS, 2020).

No Brasil, segundo o Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE (201-), todos os produtos feitos com vidros correspondem em média a 3 % dos resíduos urbanos. A produção nacional média de embalagens de vidro por ano é de aproximadamente 980 mil toneladas, sendo utilizada cerca de 45 % de matéria-prima reciclada na forma de cacos. Ainda, no país cerca de 47 % das embalagens de vidro foram recicladas em 2011, somando 470 mil t/ano (em países como Suíça esse índice atinge 95 %).

2.4. O VIDRO A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE MINERAÇÃO: PRECEDENTES NA LITERATURA

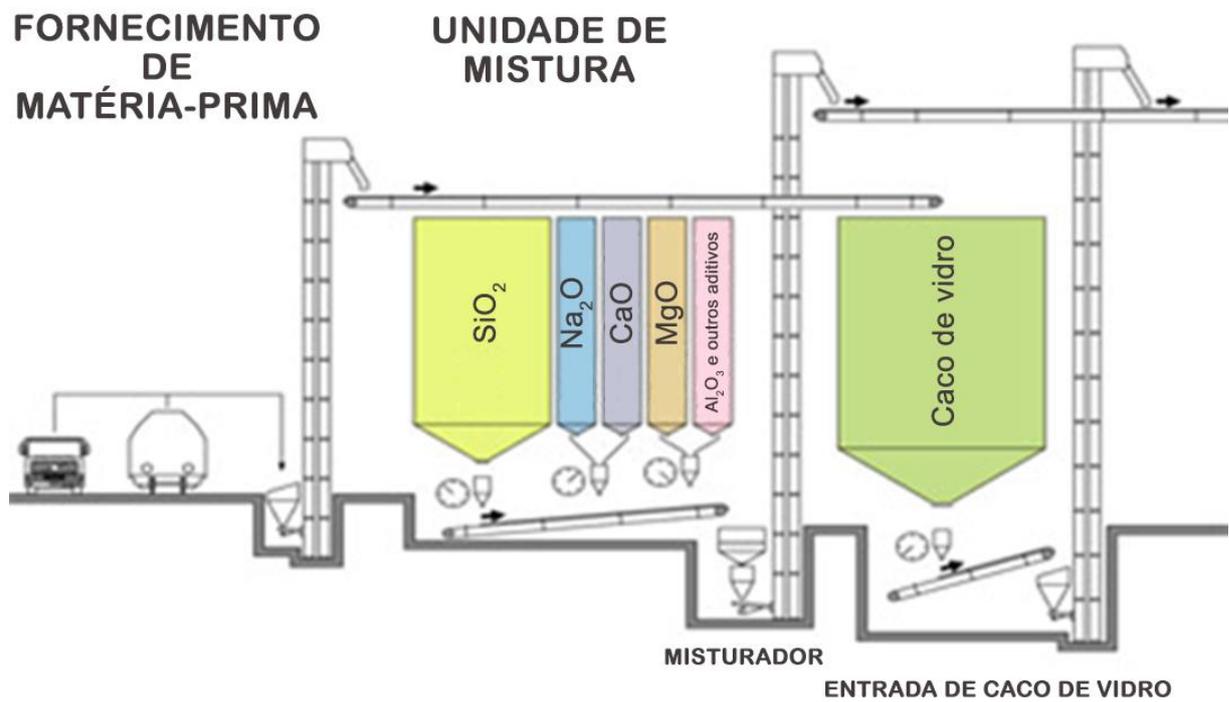
Em trabalho realizado por Martins (2016), em escala de bancada, foi demonstrada a obtenção de sílica de elevada pureza a partir do rejeito de flotação de um minério itabirítico com teor de óxido de ferro em torno de 15 % em massa. Tal obtenção foi feita através da execução de separação magnética e lixiviação em ácido sulfúrico. O trabalho ainda destacou o potencial para utilização dessa sílica na fabricação de vidros.

Babisk *et al.* (2010) conseguiu produzir vidros completamente amorfos a partir de resíduos de rochas ornamentais silicáticas e carbonáticas do setor de rochas ornamentais. Os vidros obtidos apresentaram propriedades típicas de vidros sodo-cálcicos, e similares às dos vidros comerciais.

2.5. PROCESSO DE FABRICAÇÃO DO VIDRO

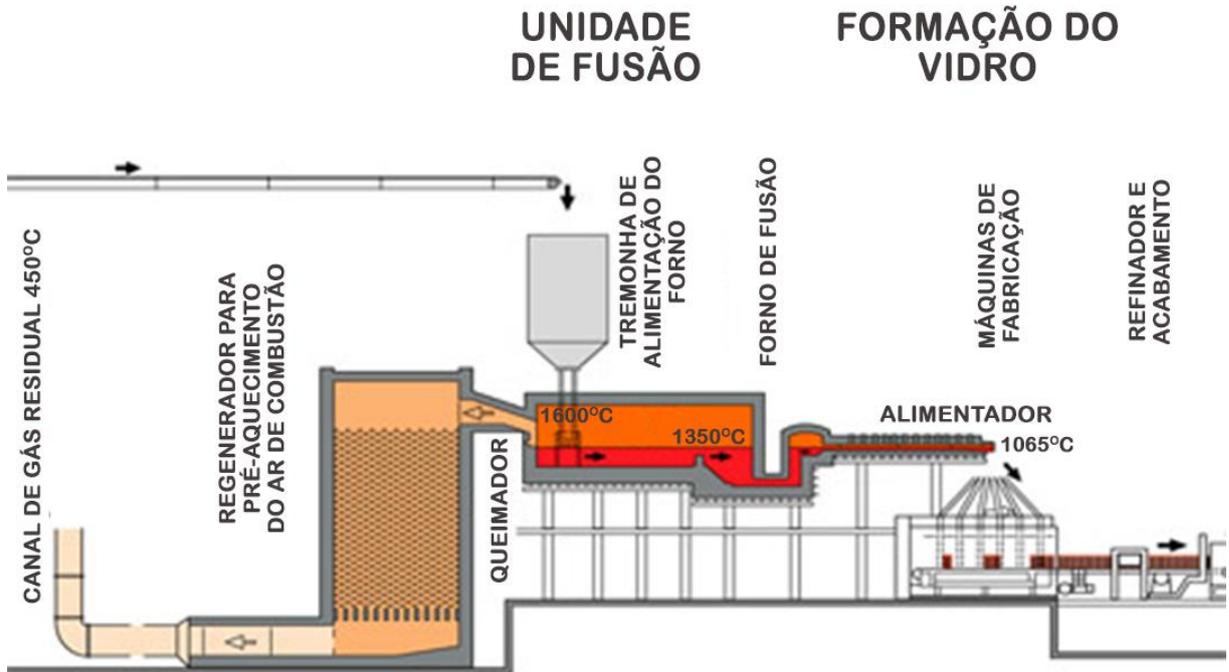
O processo de produção de vidro é composto basicamente pelas etapas de mistura, fusão, refinador, acabamento, recozimento e corte, as quais podem ser vistas em sequência através das Figura 2, Figura 3 e Figura 4 a seguir.

Figura 2 - Fabricação de vidro parte 1



Fonte: Adaptada de VERALLIA (20--).

Figura 3 - Fabricação de vidro parte 2



Fonte: Adaptada de VERALLIA (20--).

Figura 4 - Fabricação de vidro parte 3



Fonte: Adaptada de VERALLIA (20--).

2.5.1. Mistura

Inicialmente, a matéria-prima é armazenada em silos, sendo estocada em quantidades suficientes para abastecer a fábrica por diversos dias.

Iniciado o processo de fabricação do vidro, a matéria-prima é transportada por um sistema de elevadores ou esteiras e, com a utilização de um sistema computacional automático, essas são pesadas e separadas em lotes segundo suas composições químicas para que assim possam então formar uma mistura consistente que produzirá um vidro de alta qualidade. Às vezes, as matérias-primas são borrifadas com água para reduzir a poeira. Em seguida, um misturador mecânico é responsável por distribuir uniformemente os ingredientes e, posteriormente, adicionar cacos de vidro à mistura homogeneizada. Normalmente, os cacos de vidro perfazem aproximadamente 20 % da mistura e têm a função de abaixar o ponto de fusão do lote (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996).

Preparada a mistura, essa é levada para alimentar o forno com uma quantidade suficiente para produzir durante cerca de oito horas seguidas, o que proporciona tempo suficiente para permitir que haja manutenção ou reparos dos equipamentos (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996).

2.5.2. Fusão

A fusão é realizada em um forno de têmpera e a capacidade do forno é o que delimita a máxima produção diária possível da fábrica (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996). O processo de fusão deve ser bem controlado para evitar problemas na formação do vidro, como apresentado na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 - Imperfeições durante o processo de fusão

PROBLEMA	CONSEQUÊNCIA
Refino insuficiente da matéria-prima	Formação de bolhas no vidro
Homogeneização insuficiente	Áreas inconsistentes no vidro
Infiltração de poluição atmosférica	Descoloração do vidro
Controle deficiente de temperatura	Todos os problemas acima

Fonte: Adaptada de GOPISETTI (2008)

Em geral, os fornos são construídos em materiais refratários especiais com uma estrutura externa de aço e com dimensões determinadas para permitir a produção de vidros de tamanhos e formatos específicos. O forno fornece um derretimento homogêneo e opera a uma temperatura interna suficiente para derreter as matérias-primas e torná-las em vidro, cerca de 1600°C (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996). Ainda em formação, o vidro segue para a etapa de refinamento.

2.5.3. Refinador e acabamento

O refinador é uma extensão do forno de têmpera. Sua função é estabilizar e resfriar lentamente os vidros que deixam o forno, de forma a impedir que haja a quebra do vidro ou as ocorrências de contaminações, trincas e outras imperfeições. Passado pelo refinamento, o vidro segue para a etapa de acabamento (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996).

O acabamento ocorre em um forno refratário separado e menor do que o forno principal. Seu objetivo é reduzir a temperatura do vidro para cerca de 1065°C. A partir dessa temperatura, torna-se facilitado o processo de modelagem do vidro para sua forma final. Ao final do processo de acabamento, o vidro estará com uma temperatura por volta de 600°C e seguirá para a etapa de recozimento (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996).

2.5.4. Recozimento

O recozimento é usado para resfriar todo o corpo do vidro de 600°C a 70°C de maneira controlada. Se não houvesse a etapa de recozimento e o vidro fosse permitido esfriar livremente, ocorreria que as superfícies do vidro iriam esfriar mais rápido do que o seu interior, de modo que, enquanto a superfície se tornaria rígida, o interior permaneceria um tanto fluido. Como consequência, quando o interior esfriasse, ele não conseguiria mais se ajustar ao vidro superficial, que já estaria rígido há algum tempo, portanto, essa condição criaria um estresse prejudicial ao vidro, comprometendo sua qualidade (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996).

Para que haja o recozimento é utilizado um sistema sofisticado de aquecedores elétricos. Ao fim do recozimento, há formação de vidros sem presença de tensões temporárias ou residuais. Em seguida, o vidro segue para a última etapa de produção, a etapa de corte (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996).

2.5.5. Corte e finalização da produção do vidro

A etapa de corte é presente principalmente na fabricação de vidros planos e laminados. Basicamente o vidro é cortado, por uma espécie de guilhotina, nas dimensões encomendadas pelo cliente. Nessa etapa também é realizado o controle de qualidade e separação dos vidros. Os vidros aprovados podem então ser embalados, armazenados, vendidos e enviados (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996). Já os vidros reprovados no controle de qualidade, bem como os cacos de vidro gerados, podem ser reaproveitados para futuras produções de vidro.

3. ANÁLISE EXPEDITA DE EMPREENDIMENTO VIDREIRO

Em face do exposto, no âmbito deste trabalho, uma análise técnica e econômica simplificada foi feita, de um empreendimento para fabrico de vidro soda-sílica-cal, empregando sempre que possível os insumos oriundos de passivos ambientais de minerações.

Ensaio prospectório levados a cabo nos laboratórios do Departamento de Engenharia de Minas da UFOP mostraram ser factível o emprego de resíduos de quartzitos e de dolomita para o fabrico de vidro.

Nesses ensaios, foram empregados como matérias-primas amostras de dolomita (fornecedor de CaO e MgO), de quartzitos (fornecedor de SiO₂), de calcita (fornecedor de CaO), de carbonato de magnésio (fornecedor de MgO), de barrilha leve (fornecedor de Na₂O) e cacos de vidro tipo soda-sílica-cal. As amostras oriundas de resíduos sólidos de mineração (quartzito e dolomita) passaram por adequações físicas e químicas, sendo sujeitas as etapas de moagem em moinho de barras por cerca de 1 hora, seguida de peneiramento a seco durante 20 minutos, lixiviação com uma solução de ácido cítrico e ácido oxálico, cada ácido em concentração 5%, e por fim, secagem em forno elétrico durante 1 hora em uma temperatura de 300°C. A sequência das etapas está representada na Figura 5 a seguir.

Figura 5 - Etapas de adequação das matérias-primas



Fonte: Elaborado pelo autor.

Preparado as amostras, os vidros foram produzidos seguindo a fórmula de 72,0% de SiO₂, 15,0% de Na₂O, 10,0% de CaO e 3% de MgO. Foram utilizados como moldes potes de cerâmica produzidos em argila vermelha e cadinhos de alumina. A produção se deu por meio do forno elétrico modelo Elektro Therm, fabricado pela Linn, com dimensões internas de 60x60x75cm, conforme apresentado pela Figura 6, sendo utilizada temperatura máxima de 1240°C, tempo de patamar de 120 minutos e taxa de aquecimento de 5°C/minuto.

Figura 6 - Forno utilizado para fabricação do vidro



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os resultados dos ensaios indicaram a formação de vidros. Os vidros formados não apresentaram totalmente características ideais de vidros comerciais, apresentando problemas como cores esverdeadas, provavelmente devido à presença persistente de óxidos de ferro, mesmo após o processo de lixiviação, e a não fusão de parte da matéria-prima utilizada, como pode ser visto pela Figura 7. Tentativas de melhores adequações na produção do vidro seriam tomadas, tais como a realização de nova lixiviação, alteração na formulação e aumento na temperatura e no tempo de fusão, além de posterior avaliação mecânica e química dos vidros produzidos e comparação desses com os vidros comercializados. Contudo, devido à epidemia de COVID-19 e as paralisações e restrições de acesso aos laboratórios, o prosseguimento do fabrico não pôde continuar. Todavia, através dos resultados parciais obtidos, bem como os resultados apresentados pela literatura, considerou-se comprovada a exequibilidade técnica na produção dos vidros a partir de resíduos de mineração.

Figura 7 - Vidros produzidos



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em vista das dificuldades de prosseguimento das atividades práticas, a continuidade do trabalho seguiu a análise econômica simplificada de um empreendimento para fabrico de vidro. Para tanto, duas alternativas de implantação de uma fábrica de vidro foram consideradas, a saber: uma em menor escala e outra em escala maior, como se detalha adiante.

3.1. PREMISSÁRIO E CRITÉRIOS DE PROJETO

Para adoção de índices, neste trabalho, extraídos a partir de dados da literatura, a taxa de conversão monetária entre dólar americano e real considerado foi de US\$ 1.00 para R\$ 5,60, e entre dólar canadense e real, C\$ 1.00 para R\$ 4,53.

3.2. FATORES ECONÔMICOS NO FABRICO DE VIDRO

Conforme *International Technologies Consultants, Inc.* (1996), para se iniciar a implementação de uma fábrica de vidro é necessário ter os seguintes pontos definidos:

- (i) Identificar as matérias-primas necessárias e revisar a aceitabilidade de matérias-primas disponíveis localmente;
- (ii) Estimar a demanda presente e futura de vidro;
- (iii) Definir a estrutura e direcionamento da indústria de vidro;
- (iv) Estabelecer a localização, tamanho e produção recomendada da planta;
- (v) Estimar a lucratividade esperada e os custos operacionais e de capital para a planta proposta.

Estimar valores a respeito do investimento necessário para se construir uma fábrica de vidro no Brasil é bastante complicado. O principal motivo é devido à dificuldade de se encontrar informações disponíveis sobre as tecnologias utilizadas e sobre os custos envolvidos. Contudo, somando-se dados nacionais e internacionais respectivos ao setor, é possível ter-se uma perspectiva sobre tais valores.

Considerando uma fábrica de vidro já implementada e em operação, segundo ABRAVIDRO (2016) os principais gastos do empreendimento estão ligados com os consumos de energia provenientes dos fornos de têmpera e linhas de laminação que podem representar mais de 50 % dos gastos. Porém, a Confederação Nacional do Ramo Químico da CUT - CNQ (2015) cita que “gastos com gás natural e energia elétrica, somados, correspondem a aproximadamente 25 % do custo final de produção, podendo chegar a 35 %”, ao passo que Vision (1996) cita que 55 % dos custos vêm de insumos materiais, 30 % de mão de obra e 15 % de energia.

Em relação à quantidade de energia demandada, Rosa *et al.* (2007) cita que a fabricação de vidro consome aproximadamente 1,8 milhão de kcal de energia térmica na fusão (cerca de 2093,4 kWh/t ou 200 m³ de gás), além de outros 200 kWh/t de energia elétrica em outras etapas do processo. Já, segundo Vision (1996), enquanto, em teoria, seria necessária demanda energética unitária de cerca de 644,6 kWh para derreter uma tonelada de vidro, na realidade, é preciso o dobro de energia devido a ineficiências e perdas, ou seja, seria necessário cerca de 1289,2 kWh/t. Contudo, Vision (1996) ressalta que a utilização de cacos de vidro reduz significativamente os custos de energia, em comparação com o uso exclusivo de matérias-primas virgens.

Em relação às matérias-primas, Rosa *et al.* (2007) cita que a barrilha leve (carbonato de sódio) é o insumo mais custoso devido a sua maior dificuldade de ser obtido, sendo responsável por 60 % do custo dos insumos, ainda que represente apenas 12 % em massa.

Em relação à remuneração dos funcionários, a média nominal encontra-se apresentada na Tabela 4.

Tabela 4 - Distribuição da remuneração média nominal dos trabalhadores/as por segmento e gênero - 2013

REGIÃO	SEGMENTO	HOMENS	MULHERES	(%) F/M
Norte	Fabricação de vidro plano e de segurança	R\$ 1.370,38	R\$ 1.335,44	97,5%
	Fabricação de embalagens de vidro	R\$ 1.422,15	-	-
	Fabricação de artigos de vidro	R\$ 1.118,49	R\$ 1.000,60	89,5%
Nordeste	Fabricação de vidro plano e de segurança	R\$ 1.785,08	R\$ 1.557,45	87,2%
	Fabricação de embalagens de vidro	R\$ 2.135,81	R\$ 1.639,76	76,8%
	Fabricação de artigos de vidro	R\$ 1.091,90	R\$ 1.104,04	101,1%
Sudeste	Fabricação de vidro plano e de segurança	R\$ 2.757,90	R\$ 2.506,91	90,9%
	Fabricação de embalagens de vidro	R\$ 3.600,38	R\$ 1.953,90	54,3%
	Fabricação de artigos de vidro	R\$ 2.346,40	R\$ 1.711,60	72,9%
Sul	Fabricação de vidro plano e de segurança	R\$ 1.773,02	R\$ 1.545,61	87,2%
	Fabricação de embalagens de vidro	R\$ 2.459,43	R\$ 1.772,00	72,0%
	Fabricação de artigos de vidro	R\$ 1.786,77	R\$ 1.429,95	80,0%
Centro-Oeste	Fabricação de vidro plano e de segurança	R\$ 1.448,67	R\$ 1.408,82	97,2%
	Fabricação de embalagens de vidro	R\$ 1.215,90	R\$ 1.294,86	106,5%
	Fabricação de artigos de vidro	R\$ 1.139,07	R\$ 965,44	84,8%
Brasil	Fabricação de vidro plano e de segurança	R\$ 2.366,32	R\$ 2.038,33	86,1%
	Fabricação de embalagens de vidro	R\$ 3.301,63	R\$ 1.930,05	58,5%
	Fabricação de artigos de vidro	R\$ 2.043,58	R\$ 1.591,42	77,9%

Fonte: Ministério do Trabalho e do Emprego, RAIS (2013), *apud* CNQ (2015).

Respectivo ao funcionamento da fábrica de vidro, CNQ (2015) destaca:

Depois de entrar em operação, a planta deve funcionar diariamente e sem interrupções durante toda a sua vida útil, que varia, em média, entre 10 e 15 anos. Para se tornar viável economicamente deve atingir taxa de ocupação em torno de 75 %. A escolha do local de instalação também é uma decisão estratégica, uma vez que se trata de um material volumoso e pesado, o que torna o transporte terrestre caro e até inviável para grandes distâncias.

O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES tradicionalmente tem desempenhado um papel de apoio ao setor vidreiro no país. Conforme Rosa *et al.* (2007), de 1997 até abril de 2007, o BNDES destinou cerca de 555 milhões de reais ao setor.

Em relação ao investimento necessário para construção de uma fábrica de vidro, enquanto os dados nacionais detalhados atualmente são de difícil acesso público, os dados internacionais sobre o setor na América do Norte estão disponibilizados para livre acesso de todos. Todavia, deve-se tomar atenção quando comparado ambos os mercados, visto que, a produção e o consumo dos dois diferem-se bastante. Como exemplo, enquanto o consumo na

América do Norte é de cerca de 1,3 m² por habitante, na América do Sul é de 0,1 m² por habitante (*INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.*, 1996).

Conte (2011), através da aplicação de teoria das operações reais, avaliou a viabilidade econômica da implantação de uma fábrica de vidros planos no nordeste do Brasil e constatou a viabilidade econômica do projeto no caso de uma simulação considerando um cenário de estabilidade econômica. A viabilidade foi averiguada através dos métodos de fluxo de caixa descontado, simulações Monte Carlo e cálculo do valor presente líquido expandido. Como resultado, encontrou-se um valor de investimento inicial de cerca de 411 milhões de reais. Contudo, o autor ainda alerta a dificuldade de se calcular os custos de produção para elaboração do fluxo de caixa, visto que a tecnologia de produção de vidros planos é pouco difundida. Por sua vez, CNQ (2015) destaca que uma planta de produção de vidros planos, a depender da sua localização, tamanho e complexidade do produto fabricado, pode custar entre 60 e 200 milhões de euros.

Gopisetti (2008) criou um modelo para estimar o custo para uma pequena empresa de fabricação de vidro, mais especificamente, para produção de bolas de gude. Os custos de investimento detalhados estão apresentados a seguir na Tabela 5. A produção por pedido avaliada foi de 2041,17 kg (4500 lbs) e o custo de operação total de US\$ 415.02 ou R\$ 2.324,11. O preço de venda unitário foi de cerca de US\$ 2,727.12/t ou R\$ 12.353,86/t.

Tabela 5 - Estimativa de custo para uma pequena empresa de bolas de gude

Formulário detalhado para Bolas de Gude Vermelhas								Porcentagem do custo total
Manufatura/Custo de Fábrica								
Custos Principais								
Mão de Obra Direta	Horas	Taxa	Turnos	Custo/Produto	US\$/lb	Custo Total	US\$/Mês	
Operação do Forno	22,77	\$11,74	1,90	\$713	\$0,151		\$17107	
Verificação de Qualidade	5,42	\$12,3	0,45	\$356	\$0,035		\$11108	
Spray de Revestimento	5,42	\$12,44	0,45	\$90	\$0,025		\$2986	
Envio	5,42	\$12,00	0,45	\$87	\$0,024		\$2880	
Supervisão Direta		0%	de trabalho direto			\$0,00		
Custo de Mão de Obra Direta						\$1,245	\$46362	31,94%
Materiais Diretos	Peso/Unidade	Taxa		Custo/Produto				
Sílica	430,35	\$0,03		\$12,91				
Cacos de Vidro A	3634,07	\$0,05		\$181,7				
Cacos de Vidro B	0,00	\$0,00		\$0,00				
Cacos de Vidro C	0,00	\$0,00		\$0,00				
Material 1	221,87	\$0,12		\$26,62				
Material 2	204,18	\$0,06		\$12,25				
Material 3	32,04	\$0,45		\$14,42				
Material 4	98,98	\$0,32		\$31,67				
Material 5	65,51	\$0,25		\$16,38				
Material 6	43,04	\$0,75		\$32,28				
Material 7	0,00	\$0,45		\$0,00				
Material 8	0,00	\$0,75		\$0,00				
Material 9	6,69	\$0,35		\$2,34				
Material 10	0,00	\$0,24		\$0,00				
Material 11	0,00	\$0,20		\$0,00				
Material 12	15,78	\$3,20		\$50,49				
Material 13	29,17	\$1,45		\$42,29				
Material 14	0,00	\$2,35		\$0,00				
Material 15	0,00	\$19,75		\$0,00				
Material 16	0,00	\$14,40		\$0,00				
Material 17	0,00	\$6,00		\$0,00				
Material 18	0,00	\$38,00		\$0,00				
Material 19	0,00	\$10,00		\$0,00				
Material 20	0,00	\$10,00		\$0,00				
Custo de Desperdícios	71,73	\$0,03		\$2,15				
Retorno de Cacos	209,94	\$0,05		\$10,5	US\$/lb			
Custo Direto do Material						\$0,092	\$415,02	10,65%
	US\$/Dekatherm	Dekatherm/Pedido		Custo/Produto	US\$/lb			
Custo de Fusão	\$12,53	\$68,33		\$856,22	\$0,19	\$856,22		21,97%
Custo total de material e forno/Pedidos						\$1,271		32,62%
Manufatura	Quantidade	Taxa	Fornada	Custo Total				
Ferramenta	1 Conjunto	3000,00	600	\$15		\$15,00		
		US\$/Ano		US\$/Libra			US\$/Mês	
Depreciação		\$15000		\$0,074		\$188,32	\$1250	11,13%
Impostos sobre a Propriedade		\$10000		\$0,05		\$223,21	\$833	
Pagamento de Juros		\$1000		\$0,005		\$22,32	\$83	
Custo Principal Total								\$2,965 76,08%
Materiais Indiretos		5%	de materiais diretos			\$20,75		
Serviços								
	US\$/Mês	US\$/Fornada			US\$/lb			
Eletricidade	\$1036	\$0,48			\$0,01			
Água	\$410	\$0,19			\$0,002			
Telefone/Fax	\$60	\$0,028			\$0,000			
	\$1446	\$0,697			\$0,013	\$47,63		
Custo Indireto Total								1,75%
Custo de Fabricação								\$3,033 77,83%
Planta Administrativa		Taxa	# turnos	US\$/Pedido	US\$/lb		US\$/Mês	
Administrativo		\$11,97	0,45	\$173,01	\$0,07		\$11488,3	
Administrativo t						\$173,01		4,44%
Custo de Produção								\$3,206 82,27%
Despesas de Venda					US\$/lb			
Custos de Armazenagem		3%	dos custos de fabricação		\$0,021	\$91		
Despesas de Envio		4%	dos custos principais		\$0,028	\$118,6		
Armazenagem		6%	dos custos principais		\$0,041	\$177,9		
Marketing Total		10%	dos custos de fabricação		\$0,07	\$303,33		
						\$690,8		17,70%
Custos Totais								\$3,897 100,00%
Margem de Lucro								
Lucro e Impostos		30%	do Preço de Venda			\$1670,21		
Preço de Venda						\$5,567		\$5,567
Preço de Venda Unitário - US\$/lb					\$1,24			

Fonte: Adaptada de GOPISETTI (2008).

International Technologies Consultants, Inc. (1996) realizou um relatório de estudo de viabilidade para o estabelecimento de uma fábrica de vidro *float* em Manitoba, Canadá. Como resultado, estimou-se como custo de capital de investimento necessário aproximadamente 115 milhões de dólares canadenses e preço médio de venda de vidro de aproximadamente 660 dólares canadenses por tonelada, corrigindo pela inflação, em 2021, corresponderia a cerca de, respectivamente, 181,31 milhões e 1.040,57 dólares canadenses (*BANK OF CANADA*, 20-?), considerando que a planta tenha como características a utilização de instalações e equipamentos padrão da indústria da mais alta qualidade, opere com rendimento de 80 % da capacidade de fusão, com 350 dias de produção por ano, com produção líquida inicial de 140 mil t/ano e capacidade de fusão de 300 t/dia. O orçamento de capital do projeto e o resumo do orçamento, respectivamente, Tabela 6 e Tabela 7 podem ser vistos a seguir.

Tabela 6 - Orçamento de capital do projeto

		(Continua)
DESCRIÇÃO		MIL C\$
	Terreno	1.370
Instalação:	Classificação, Drenagem, Escavação	1.878
	Fundações, Obras de Concreto	10.017
	Estradas, Melhorias, Cercas	0.435
Serviços:	Energia Elétrica	4.042
	Ar Comprimido	0.747
	Água - Resfriamento e Tratamento	1.747
	Água - Fogo, Potável, Esgoto	0.740
	Óleo Combustível e Armazenamento	0.548
	AVAC	0.153
	Sistema de Controle	0.732
	Edifícios:	Casa de Silo
	Forno	1.061
	Tanque de Estanho	0.471
	Recozimento	0.796
	Linha de Corte	0.794
	Armazém/ Doca de Embarque	3.571
	Casa de Força/ Serviços	0.972
	Escritório/ Matérias-primas/ Outros	1.489
Planta de Silo:	Projeto e Equipamentos	2.795
	Aço Estrutural e Silos	1.843
	Manuseio de Materiais e Transportadores	0.157

Tabela 6 - Orçamento de capital do projeto (Conclusão)

DESCRIÇÃO	MIL C\$	
	Envio, Instalação, Supervisão	0.411
Cacos:	Projeto e Equipamentos	1.447
	Envio, Instalação, Supervisão	0.153
Forno:	Projeto e Equipamentos	6.902
	Emissões	3.768
	Refratários	12.885
	Aço e Dutos	1.010
	Chaminé	1.210
	Envio, Instalação, Supervisão	4.436
Banho <i>Float</i> :	Projeto e Equipamentos	7.261
	Refratários	2.603
	Aço	1.863
	Estanho	1.370
	Envio, Instalação, Supervisão	2.303
Atmosfera:	Nitrogênio e Hidrogênio	0.480
Recozimento:	Projeto e Equipamentos	6.792
	Envio, Instalação, Supervisão	0.533
Corte:	Projeto e Equipamentos	8.183
	Envio, Instalação, Supervisão	1.947
Material:	Matéria-prima	0.685
	Produtos Finalizados	1.302
	Veículo	0.144
Equipamento:	Administração, Manutenção, Lab.	1.774
	Subtotal Planta e Equipamento	106.054
	Gerenciamento de Projetos, Consultores, Outros	2.255
	Atendimento ao Cliente e Desenvolvimento	2.000
	Serviços de Aquecimento	0.374
	Subtotal Administração	4.629
	Custo de Capital Total Menos Juros	110.683
	Juros Durante à Construção	5.192
	Custo de Capital Total da Instalação	115.875

Fonte: Adaptada de *INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.* (1996).

Tabela 7 - Resumo do orçamento

Descrição	Fonte Local (CAD)	Importada (USD)	TOTAL (CAD)	TOTAL (R\$)
Civil & Infraestrutura				
Terreno & Obras civis	\$ 13.700.000	\$ -	\$ 13.700.000	R\$ 98.056.380,00
Serviços	\$ 4.856.930	\$ 2.811.000	\$ 8.708.000	R\$ 62.326.639,20
Edifícios	\$ 9.390.000	\$ -	\$ 9.390.000	R\$ 67.207.986,00
Subtotal	\$ 27.946.930	\$ 2.811.000	\$ 31.798.000	R\$ 227.591.005,20
Equipamento de processo				
Planta de Silos	\$ 2.191.000	\$ 2.200.000	\$ 5.205.000	R\$ 37.254.267,00
Sistema de Retorno de Cacos	\$ 273.840	\$ 968.000	\$ 1.600.000	R\$ 11.451.840,00
Forno de Fusão & Emissões	\$ 4.164.640	\$ 18.128.000	\$ 29.000.000	R\$ 207.564.600,00
Chaminé	\$ 1.190.820	\$ 14.000	\$ 1.210.000	R\$ 8.660.454,00
Banho <i>Float</i>	\$ 4.508.500	\$ 7.950.000	\$ 15.400.000	R\$ 110.223.960,00
Abastecimento de Atmosfera	\$ 480.000	\$ -	\$ 480.000	R\$ 3.435.552,00
Recozimento	\$ 365.400	\$ 5.080.000	\$ 7.325.000	R\$ 52.427.955,00
Linha de Corte	\$ 1.231.165	\$ 6.495.500	\$ 10.130.000	R\$ 72.504.462,00
Equip. de Manuseio de Materiais	\$ 890.500	\$ 800.000	\$ 1.986.500	R\$ 14.218.175,10
Equipamento de Administração	\$ 143.000	\$ -	\$ 143.000	R\$ 1.023.508,20
Manutenção de Equipamentos	\$ 320.000	\$ -	\$ 320.000	R\$ 2.290.368,00
Equipamento Laboratoriais	\$ 9.500	\$ 950.000	\$ 1.311.000	R\$ 9.383.351,00
Veículos	\$ 144.000	\$ -	\$ 144.000	R\$ 1.030.665,60
Subtotal	\$ 15.912.365	\$ 42.585.500	\$ 74.254.500	R\$ 531.469.158,30
Administração de gerência				
Gerenciamento de Projetos	\$ -	\$ 1.500.000	\$ 2.055.000	R\$ 14.708.457,00
Atend. ao Cliente e Desenv.	\$ 2.000.000	\$ -	\$ 2.000.000	R\$ 14.314.800,00
Engenharia, Monitor. e Avaliação	\$ 150.000	\$ -	\$ 150.000	R\$ 1.073.610,00
Equip. de Aquecimento e Serviços	\$ 100.000	\$ 200.000	\$ 374.000	R\$ 2.676.867,60
Consultoria e Assistência Técnica	\$ 50.000	\$ -	\$ 50.000	R\$ 357.870,00
Subtotal	\$ 1.700.000	\$ 1.700.000	\$ 4.629.000	R\$ 33.131.604,60
Subtotal Projeto	\$ 47.096.500	\$ 47.096.500	\$ 110.681.500	R\$ 792.191.768,10
Custos Financeiros				
Juros Durante à Construção	\$ 5.192.000	\$ -	\$ 5.192.000	R\$ 37.161.220,80
Contingência	0	0	0	R\$ -
Subtotal	\$ 5.192.000	\$ -	\$ 5.192.000	R\$ 37.161.220,80
TOTAL ORÇAMENTO	\$ 51.351.295	\$ 47.096.500	\$ 115.873.500	R\$ 829.352.988,90

Fonte: Adaptada de *INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC.* (1996).

O custo de operação anual de uma fábrica de vidro foi estimado considerando dois cenários distintos, um de média produção (400 t/dia) e um de pequena produção (15 t/dia). Os valores necessários dos recursos naturais (água, gás natural e energia elétrica) foram retirados e estimados a partir dos dados apresentados por *International Technologies Consultants, Inc.* (1996).

No cenário de média produção, considerou-se uma eficiência de 95 % enquanto, para a pequena produção, 85 %. Para ambos os cenários se considerou uma produção constante e contínua durante 350 dias ao ano.

A remuneração média dos funcionários está apresentada na Tabela 8 a seguir. O valor do salário médio, tomando como base as médias salariais apresentadas anteriormente na Tabela 4, foi arbitrado como sendo de 4 salários mínimos, o que em 2021 equivale a R\$4.400,00.

Tabela 8 - Composição de custo de recursos humanos

CATEGORIA	CUSTOS	
Salário médio	R\$	4.400,00
Vale transporte	R\$	56,00
Vale refeição	R\$	264,00
Fração 13º salário (8,3 %)	R\$	365,20
Fração de férias (11,1 %)	R\$	488,40
Fgts (8 %)	R\$	352,00
Fração do FGTS com 13º salário e férias (1,4 %)	R\$	61,60
INSS (20 %)	R\$	880,00
Fração do INSS com 13º salário e férias (4 %)	R\$	176,00
Valor mensal para manter um funcionário	R\$	7.043,20
Gasto total anual por funcionário	R\$	84.518,40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os custos diretos da etapa de fabricação, categorizados como “material”, “pessoal” e “serviços”, foram calculados para ambos os cenários conforme apresentado na Tabela 9 e Tabela 10.

Tabela 9 - Estimativa de gastos para uma média produção de vidro

CATEGORIA	ITEM	CONSUMO	CUSTO	GASTO ANUAL
SERVIÇOS	Energia Elétrica	67000 kWh/dia	R\$0,52557/kWh	R\$ 12.324.616,50
	Gás Natural	90000 m³/dia	R\$1,85/m³	R\$ 58.275.000,00
	Água	500 m³/dia	R\$3,17/m³	R\$ 554.750,00
MATERIAL	Cacos de vidro	84,21 t/dia	R\$3025,00/t	R\$ 89.157.337,50
	Matéria-Prima SiO ₂	239,2 t/dia	R\$17,00/t	R\$ 1.423.002,00
	Matéria-Prima Na ₂ CO ₃	47,16 t/dia	R\$1170,00/t	R\$ 19.312.020,00
	Matéria-Prima Al ₂ O ₃ + aditivos	3,37 t/dia	R\$450,00/t	R\$ 530.775,00
	Matéria-Prima CaO + MgO	47,16 t/dia	R\$210,00/t	R\$ 3.466.260,00
PESSOAL	Salário	200 funcionários/ano	R\$ 84.518,40	R\$ 16.903.680,00

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 10 - Estimativa de gastos para uma pequena produção de vidro

CATEGORIA	ITEM	CONSUMO	CUSTO	GASTO ANUAL
SERVIÇOS	Energia Elétrica	2500 kWh/dia	R\$0,52557/kWh	R\$ 459.873,75
	Gás Natural	2700 m³/dia	R\$1,85/m³	R\$ 1.748.250,00
	Água	20 m³/dia	R\$3,17/m³	R\$ 22.190,00
MATERIAL	Cacos de vidro	3,53 t/dia	R\$3025,00/t	R\$ 3.737.387,50
	Matéria-Prima SiO ₂	10,02 t/dia	R\$17,00/t	R\$ 59.619,00
	Matéria-Prima Na ₂ CO ₃	1,98 t/dia	R\$1170,00/t	R\$ 810.810,00
	Matéria-Prima Al ₂ O ₃ + aditivos	0,14 t/dia	R\$450,00/t	R\$ 22.050,00
	Matéria-Prima CaO + MgO	1,98 t/dia	R\$210,00/t	R\$ 145.530,00
PESSOAL	Salário	16 funcionários/ano	R\$ 84.518,40	R\$ 1.352.294,40

Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando que os gastos com “material”, “pessoal” e “serviços” perfazem cerca de 30 % dos gastos de operação de uma fábrica de vidro, conforme mostrado na distribuição do custo de venda por tonelada de vidro apresentado por *International Technologies Consultants, Inc.* (1996), os demais custos categorizados foram arbitrados a partir dos resultados calculados para esses. O preço de venda da tonelada do vidro foi determinado como sendo o gasto total dividido pela produção total. Os resultados estão apresentados na Tabela 11 e Tabela 12 a seguir.

Tabela 11 - Estimativa de custo de operação anual de uma fábrica de vidro com produção média e distribuição do preço de venda por tonelada

CATEGORIA	GASTO (ANUAL - 350 DIAS)	PORCENTAGEM DE CUSTO
Material	R\$ 113.889.394,50	
Pessoal	R\$ 16.903.680,00	30%
Serviços	R\$ 71.154.366,50	
Financeiro	R\$ 168.289.534,17	25 %
Melhorias contínuas	R\$ 20.194.744,10	3 %
Administrativo	R\$ 33.657.906,83	5 %
Frete	R\$ 87.510.557,77	13 %
Despesas de vendas	R\$ 13.463.162,73	2 %
Lucro de venda	R\$ 148.094.790,07	22 %
TOTAL	R\$ 673.158.136,67	100 %
	PREÇO DE VENDA	R\$ 4.808,27/tonelada

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 12 - Estimativa de custo de operação anual de uma fábrica de vidro com produção pequena e distribuição do preço de venda por tonelada

CATEGORIA	GASTO (ANUAL - 350 DIAS)	PORCENTAGEM DE CUSTO
Material	R\$ 4.775.396,50	
Pessoal	R\$ 1.352.294,40	30%
Serviços	R\$ 2.230.313,75	
Financeiro	R\$ 6.965.003,88	25 %
Melhorias contínuas	R\$ 835.800,47	3 %
Administrativo	R\$ 1.393.000,78	5 %
Frete	R\$ 3.621.802,02	13 %
Despesas de vendas	R\$ 557.200,31	2 %
Lucro de venda	R\$ 6.129.203,41	22 %
TOTAL	R\$ 27.860.015,50	100 %
	PREÇO DE VENDA	R\$ 5.306,67/tonelada

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.3. INOVAÇÕES PARA O EMPREENDIMENTO

O uso de resíduos sólidos de mineração ao invés de matéria-prima manufaturada pode reduzir consideravelmente os gastos com materiais para produção de vidro. É difícil avaliar estritamente os valores de redução de gastos através desse uso, uma vez que o aproveitamento

dos mesmos depende dos custos associados a adequações com tratamento desses, o que por sua vez varia de resíduo para resíduo, além de que, como esses normalmente não são comercializados, o preço de venda precisaria ser primeiro determinado.

A utilização de água de chuva pode ser uma alternativa para redução de gastos. Feitosa *et al.* (2017) cita que uma empresa de fabricação de vidro em São Paulo, cujo as necessidades de água chegavam a 350 m³/dia, conseguiu uma economia de 95 % na água gasta pela empresa, por meio de um sistema de aproveitamento de água da chuva. Como resultado, os gastos de água reduziram em 13.000 m³/mês, o que equivaleu a uma economia de R\$ 35.000,00/mês.

ABRAVIDRO (2016) destaca diversas alternativas de investimento e aperfeiçoamento em áreas específicas para o aumento da produção de vidro e redução dos gastos, dentre elas:

(i) Melhoria da eficiência energética: tradicionalmente, o óleo combustível era utilizado para alimentar o forno de têmpera na produção de vidro, porém, em meados da década de 1990, o óleo foi quase que completamente substituído pelo gás natural, que apresenta melhor custo-benefício. Todavia, atualmente já se tem novas alternativas de combustível disponível no mercado e quiçá com maior eficiência energética em relação ao gás natural;

(ii) Ajuda especializada: serviços de consultoria podem ser úteis para identificar potenciais melhorias para o empreendimento;

(iii) Controle das perdas no motor: as perdas podem ser reduzidas por meio de instalações de dispositivos que ajudem a reduzir desperdícios nos motores. Dispositivos controladores de tensão e corrente de partida do motor conseguem minimizar as perdas de potência, enquanto dispositivos inversores, os quais controlam a frequência da rede que alimenta o motor, conseguem ajustar a rotação do mesmo conforme a necessidade;

(iv) Educação: conscientizar e orientar os funcionários para que eles adotem ações práticas que reduzam o consumo;

(v) Horários de funcionamento: é preferível, sempre que possível, operar os equipamentos com maiores necessidades energéticas, como o forno de têmpera, fora do horário de pico (das 17 às 20 horas), visto que nesse período o consumo e custo da energia é mais alto;

(vi) Iluminação: Para reduzir gastos de iluminação é aconselhável adotar o uso de lâmpadas de LED, que são mais eficientes que as fluorescentes, ou mesmo, ampliar o aproveitamento da iluminação por luz natural;

(vii) Manutenção periódica: Acompanhar o estado de conservação dos componentes da fábrica, desde equipamentos de grande porte até os menores como cabos, circuitos, componentes elétricos e conexões;

(viii) Renovação de equipamentos: atualizar o maquinário para equipamentos que fornecem maior economia e melhor eficiência;

(ix) Energia solar: autossuficiência na geração de energia. O excedente de energia gerada pode ser transformado em crédito junto à distribuidora, ou seja, mesmo durante a noite a utilização de energia poderá não causar gastos.

4. CONCLUSÃO

Impactos ambientais causados pela mineração apesar de serem inevitáveis podem ser em muito mitigados. Um dos principais passivos ambientais gerados pela mineração, os resíduos, ainda que ao longo de séculos tenham sido tratados como estorvo, atualmente existem novas abordagens que permitem até mesmo o aproveitamento econômico desses. Aliás, o aproveitamento de resíduos de mineração faz parte do cerne da nova política ambiental governamental criada com o Decreto nº 9.406, de 12 de junho de 2018, acompanhada inclusive de incentivos fiscais tal como apresentado na Lei nº 13.240, Art. 1º, § 7º, de 2017.

Apresentando alta concentração de determinadas substâncias como SiO_2 , CaO , MgO , Al_2O_3 (expressas aqui em termos de óxidos, como usual), entre outras, os resíduos oriundos da lavra de minério de ferro, rochas ornamentais, calcário, dolomitos e etc. podem ser utilizados como matéria-prima na fabricação de diversos produtos, entre eles, o vidro.

Um problema adicional para o fabrico de vidro incolor é o teor de ferro acentuado nos rejeitos do beneficiamento de minérios de ferro. Nessa instância processamento de purificação adicional se faz necessária.

Trabalhos prévios como o de Martins (2016) e Babisk *et al.* (2010), demonstraram, respectivamente, a existência de viabilidade técnica tanto na adequação dos resíduos para a fabricação do vidro, quanto ao fabrico do vidro em si.

No presente trabalho, em caráter prospectivo, os custos de operação anual e o preço de venda da tonelada de vidro, respectivamente, foram estimados em cerca de R\$ 673 milhões e R\$ 4.808,27, para uma fábrica com produção média (400 t/dia), e em cerca de R\$ 28 milhões e R\$ 5.306,67, para uma fábrica com produção pequena (15 t/dia). Vale ressaltar novamente que a análise econômica realizada é simplificada, assim, a comparação feita entre ambos os empreendimentos não é totalmente exata, uma vez que não considera na comparação, por exemplo, fatores econômicos como amortização do investimento, taxa interna de retorno e período de recuperação do capital.

Concluindo, do ponto de vista técnico, o fabrico de vidro a partir de resíduos de mineração surge como uma plausível possibilidade de aproveitamento desses recursos naturais. Do ponto de vista econômico, uma produção moderada é — numa primeira abordagem — extensamente custosa, seja para a implementação de uma fábrica, seja para a operação anual. Entretanto, nesta análise expedita, os ganhos socioeconômicos para a comunidade no entorno do empreendimento não foram quantificados, assim como o bônus ambiental de utilização de passivos da atividade mineradora da região. Numa abordagem mais profunda, que se encontra

fora do escopo deste trabalho, essas rubricas devem ser monetizadas para se constituírem itens do fluxo de caixa descontado do empreendimento.

Para a implantação da opção de maior rentabilidade (média escala), a viabilidade do negócio dependeria da participação de eventual grande investidor, podendo ser ele, por exemplo, o próprio governo nacional ou mesmo alguma empresa de alto capital do próprio setor.

Deve-se ressaltar, contudo, que uma pequena produção é muito menos custosa de ser mantida e poderia ser estimulada através de projetos e incentivos governamentais, para despertar o interesse do setor vidreiro pelo negócio, analisando-se a pertinência de implantação de arranjos produtivos locais.

Finalmente, vale ressaltar também que não é necessária a construção de uma fábrica nova para o emprego dos resíduos. Esse aproveitamento pode ocorrer nas fábricas de vidro já em operação pelo país.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABIROCHAS. **Produção brasileira de lavra.** 2018. Disponível em: <http://abirochas.com.br/wp-content/uploads/2018/06/Panorama/Producao_Brasileira_Lavra_b.pdf>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

ABRAVIDRO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES E PROCESSADORES DE VIDROS PLANOS. **Produzindo mais... e gastando menos.** São Paulo, 2016. Disponível em: <<http://abravidro.org.br/produzindo-mais-e-gastando-menos/>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Sexta-feira é dia mundial do OVO!** 2019. Disponível em: <<http://abpa-br.org/sexta-feira-e-dia-mundial-do-ovo/>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM, **Anuário Mineral Estadual Minas Gerais. Anos base 2015 a 2016,** 2019. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/anuario-mineral/anuario-mineral-estadual/minas-gerais/anuario-mineral-estadual-minas-gerais-anos-base-2015-2016>> Acesso em: 04 de abril de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM, **Classificação das barragens de mineração brasileiras - data base fev/2019.** 2019. Disponível em: <<http://www.anm.gov.br/assuntos/barragens/pasta-cadastro-nacional-de-barragens-de-mineracao/classificacao-oficial-anm>> Acesso em: 04 de abril de 2020.

AGÊNCIA NACIONAL DE MINERAÇÃO - ANM, **Ferro.** 2018. Disponível em: <http://www.anm.gov.br/dnpm/publicacoes/serie-estatisticas-e-economia-mineral/sumario-mineral/pasta-sumario-brasileiro-mineral-2018/ferro_sm_2018/view>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

AKERMAN, M. **Natureza, Estrutura e Propriedades do Vidro.** Publicação técnica. Centro técnico de elaboração do vidro. Saint-Gobain, Vidros-Brasil, 2000.

ALTOÉ, T. P.; VIDAL, F. W. H. **Aproveitamento de resíduos oriundos da lavra de quartzito ornamental**. In: Jornada do Programa de Capacitação Interna do CETEM, 6. Rio de Janeiro. Anais...Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2017. p.200-206.

ASSIS, H. F. S.; BARBOSA, J. A. A.; MOTA, T. S. **Avaliação dos impactos ambientais provocados pela atividade mineradora no município de Pedra Lavrada-PB**. Revista Âmbito Jurídico, Rio Grande, v. 14, n. 90, jul. 2011. Disponível em: <http://www.ambitojuridico.com.br/site/?n_link=revista_artigos_leitura&artigo_id=9925&revista_caderno=5>. Acesso em: 01 de abril de 2021.

BABISK, M. P.; VIDAL, F. W. H.; CORREIA, J. C. G. **Estudo de aproveitamento de resíduos finos de quartzito da região de Seridó**. II Simpósio de minerais industriais do Nordeste. Rio de Janeiro, 2010.

BANK OF CANADA. **Inflation Calculator**. 20-?. Disponível em: <<https://www.bankofcanada.ca/rates/related/inflation-calculator/>>. Acesso em: 01 de abril de 2021.

BARBOSA, M. C. R. **Avaliação sistêmica de tecnologias aplicáveis ao APL Lagoa Santa**. Ouro Preto. 121p. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008.

BEZERRA, C. G. **Caracterização do rejeito de minério de ferro (IOT) e avaliação da sua influência no comportamento físico-químico e mecânico de pastas de cimento**. 2017. 140 f. (Dissertação de Mestrado) 140 p. Programa de Engenharia Civil. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2017.

BRASIL. Termo de Referência nº 30. Contratação de Consultoria para Realizar o Diagnóstico Socioeconômico e Ambiental da Mineração em Pequena Escala no Brasil. **Projeto de Assistência Técnica dos Setores de Energia e Mineral (META)**, do Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento – BIRD, vinculado ao Banco Mundial. Ministério de Minas e Energia – MME Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral – SGM, 2016. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/36144/471889/Produto+6.pdf/3ceac3f1-cf05-f0a3-cef6-f2b39d9a1487>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

CARVALHO, P. S. L. D.; SILVA, M. M. D.; ROCIO, M. A. R.; E MOSZKOWICZ, J. 2014, **Minério de ferro**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, (39), 197-233.NI, 2012, **Relatório da Indústria brasileira do cimento: base para a construção do desenvolvimento**. Encontro da indústria para a sustentabilidade. Confederação Nacional da Indústria. Brasília, DF.

CEMPRE. **Vidro**. Brasil: CEMPRE. 201-. Disponível em: <cempre.org.br/artigo-publicacao/ficha-tecnica/id/6/vidro>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

CNQ - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO RAMO QUÍMICO DA CUT. **Panorama Setor de Vidro**. 2015. Disponível em: <<http://cnq.org.br/system/uploads/publication/b2a03b701c902f59b717ce1e7395502e/file/panorama-vidros.pdf>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

COMIG. **Panorama do Setor de Rochas Ornamentais e de Revestimento no Estado de Minas Gerais, Brasil**. Belo Horizonte: COMIG, 1999. 1 CD-ROM.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL - DNPM (Brasil). **Anuário Mineral Brasileiro 2010**. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2010. Disponível em: <<https://www.gov.br/anm/pt-br/centrais-de-conteudo/dnpm/paginas/anuario-mineral/arquivos/anuario-mineral-brasileiro-2010>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

DRUMOND, J. **Governo de Minas estimula reaproveitamento de rejeitos da mineração**. 3 dez. 2018. Disponível em: <<http://www.meioambiente.mg.gov.br/noticias/3703-governo-de-minas-estimula-reaproveitamento-de-rejeitos-da-mineracao>> Acesso em: 04 de abril de 2020.

FALK, A. O. F. **Eficiência relativa dos portos brasileiros na importação de barrilha**. 2008, 52 f. (Monografia de final de curso) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro - PUC-Rio - Rio de Janeiro - Brasil, 2008.

FEITOSA, B. B.; SAITO, D. K.; CORTEZ, J. P. S.; SOARES, V. F. **Relatório 01 - Água na Indústria (Vidro)**. PHA - Engenharia e Meio Ambiente - Relatório 01 - 25/04/2017. Disponível em:

<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/3466628/mod_folder/content/0/Vidro.pdf> Acesso em: 04 de abril de 2020.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE DE MINAS GERAIS - FEAM, 2018, **Inventário de Resíduos Sólidos da Mineração**. Disponível em: <http://www.feam.br/images/stories/2018/RESIDUOS/Inventario_Minera%C3%A7%C3%A3o_ano_base_2017.pdf> Acesso em: 04 de abril de 2020.

CONTE G. R. **Análise da Implantação de uma Fábrica de Vidros Planos no Nordeste do Brasil com a Aplicação de Teoria das Opções Reais**. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Economia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2011.

GLASS PACKAGING INSTITUTE, 2020, **Glass recycling facts**: Alexandria, VA, Glass Packaging Institute. Disponível em: <<http://www.gpi.org/recycling/glass-recycling-facts>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

GOPISETTI, S. **Cost model for a small glass manufacturing enterprise**. Graduate Theses, Dissertations, and Problem Reports. 2008.

INSTITUTO CERTIFIED HUMANE BRASIL. **Galinhas poedeiras: criação e consumo de ovos sobem**. 2018. Disponível em: <<https://certifiedhumanebrasil.org/galinhas-poedeiras-criacao-consumo-ovos-sobem/>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

INTERNATIONAL TECHNOLOGIES CONSULTANTS, INC. **Manitoba, Canada Float Glass Project feasibility study**; 77 p. 1996. Disponível em: <<http://www.gov.mb.ca/iem/info/libmin/OF96-7.pdf>> Acesso em: 04 de abril de 2020.

LIMA, R. M. F.; SILVA, A. F. S.; LUZ, J. A. M.; OLIVEIRA, M. L. M. **Estudo para o aproveitamento econômico dos resíduos de pedreiras de quartzito**. Relatório Técnico. 2005. 126 p.

LIMA, R. M. F.; SILVA, A. F. S.; MORAIS, R. M. M.; LUZ, J. A. M. **Caracterização Tecnológica de resíduos de pedreiras de quartzito na região de Ouro Preto / MG**. REM – Revista Escola de Minas, v. 60 (4), 2007. p. 663-668.

LIRA H. L.; NEVES G. A. **Feldspatos: conceitos, estrutura cristalina, propriedades físicas, origem e ocorrências, aplicações, reservas e produção.** Revista Eletrônica Materiais e Processos, 8(3):110-117. 2013. Disponível em: <<http://www2.ufcg.edu.br/revista-remap/index.php/REMAP/article/viewFile/342/284>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

LUZ, A. B.; COELHO, J. M. **Feldspato.** In: Rochas & minerais industriais: usos e especificações. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 2005. Parte II. Cap.19. p.413-430.

MAIA, S. B. **O vidro e sua fabricação.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 212 p.

MAIA, T. R.; REIS, I. **O incentivo ao reaproveitamento de rejeitos.** 9 abr. 2019. Disponível em: <<https://www.noticiasdeminerao.com/opini%C3%A3o/news/1360623/o-incentivo-ao-reaproveitamento-de-rejeitos>> Acesso em: 04 de abril de 2020.

MARTINS, P. F. F. **Obtenção de sílica de elevada pureza a partir do rejeito de flotação de um minério de ferro itabirítico.** 2016. 128 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia das Radiações, Minerais e Materiais). Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear, Belo Horizonte, 2016.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA - MME - **PROJETO DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA AO SETOR DE ENERGIA - PROJETO ESTAL,** 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/36108/449811/P35_RT61_Perfil_da_Fundixo.pdf/9297d4d8-5df4-f547-f113-93ac7d72eadb?version=1.0> Acesso em: 04 de abril de 2020.

MINISTÉRIO PÚBLICO FEDERAL - MPF, **RECOMENDAÇÃO N°014/2016-MPF-GAB/FT,** 2016. Disponível em: <<http://www.mpf.mp.br/mg/sala-de-imprensa/docs/recomendacao-dnmp>> Acesso em: 04 de abril de 2020.

NOVELLO, D.; FRANCESCHINI, P.; QUINTILIANO, D. A.; OST, P. R. **Ovo: Conceitos, análises e controvérsias na saúde humana.** ALAN, Caracas, v. 56, n. 4, p. 315-320, dez. 2006. Disponível em: <http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222006000400001&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 04 de abril de 2021.

PIMENTEL, T. **Quantidade de lama que vazou de barragem em Mariana equivale a um ‘Pão de Açúcar’, diz presidente da Fundação Renova**. G1 MG, Belo Horizonte, 5 jul. 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/desastre-ambiental-em-mariana/noticia/quantidade-de-lama-que-vazou-de-barragem-em-mariana-equivale-a-um-pao-de-acucar-diz-presidente-da-fundacao-renova.ghml>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

RAMIRIO, R. F.; PAMPLONA, D. R. P.; FRANCKLIN JUNIOR, I.; COLLARES, E. G. **Estudo comparativo de rejeitos de quartzito com outros agregados comercialmente utilizados como materiais de construção no Sudoeste de Minas Gerais**. Ciência et Praxis, v. 1, n. 1, p. 25-32, 2008.

REUTER, J. **Técnicas em vidro**. 1. ed. Recife: SACTES(DED)/UFPB, v.10, 1994.

ROSA, S. E. S.; COSENZA, J. P.; BARROSO, D. V. **Considerações sobre a indústria do vidro no Brasil**. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 26, p. [101]-137, set. 2007.

SAMPAIO, J. A.; ALMEIDA, S. L. M. D. **Capítulo 16 - Calcário e Dolomito**. In: Rochas e Minerais Industriais – Rio de Janeiro, RJ – CETEM, 2º ed., p. 363-391, 2008. Disponível em: <<https://www.cetem.gov.br/agrominerais/livros/16-agrominerais-calcario-dolomito.pdf>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

SOUZA, M. T.; MAIA, B. G. O.; TEIXEIRA, L. B.; DE OLIVEIRA, K. G.; TEIXEIRA, A. H. B.; DE OLIVEIRA, A. P. N. **Glass foams produced from glass bottles and eggshell wastes. Process Safety and Environmental Protection**. 2017; 111:60-64.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY - USGS, 2020, **Mineral Commodity Summaries**.

VERALLIA. **Glass Production**. 20---. Disponível em:<<https://de.verallia.com/en/about-glass/glass-production>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

VICTORIA, A. M. **Recursos minerais para a indústria cerâmica e vidreira**. In: Pedrosa-Soares, A.C, Voll, E, Cunha, E.C. (Org.). Pedrosa-Soares, A.C, Voll, E, Cunha, E.C. (coords.). Recursos Minerais de Minas Gerais On Line. (on-line:

<http://recursomineralmg.codemge.com.br/>). 1ed. Belo Horizonte: Companhia de Desenvolvimento de Minas Gerais (CODEMGE), 2018, v., p. 1-79.

VIDAL, F. W. H.; AZEVEDO, H. C. A.; CASTRO, N. F. (Eds). **Tecnologia de rochas ornamentais: pesquisa, lavra e beneficiamento**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2013. 700p.

VISION. **Glass: A Clear Vision for a Bright Future, (Technology Vision and Research Agenda for the Glass Industry.)**. U.S. Government Printing Office. 1996.