

UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ
Nayara Stefanie Pereira dos Santos
Paola Palmeira dos Santos

**REUTILIZAÇÃO DO ÓXIDO DE ALUMÍNIO APÓS O
PROCESSO DE JATEAMENTO**

Taubaté – SP
2017

Nayara Stefanie Pereira dos Santos
Paola Palmeira dos Santos

**REUTILIZAÇÃO DO ÓXIDO DE ALUMÍNIO APÓS O
PROCESSO DE JATEAMENTO**

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em Engenharia
Mecânica do Departamento de Engenharia
Mecânica da Universidade de Taubaté.
Orientador: Prof. Paulo Cesar Corrêa Lindgren
Co-orientadora: Profa. Maria Regina Hidalgo de
Oliveira Lindgren

Taubaté – SP
2017

**Ficha Catalográfica elaborada pelo SIBi – Sistema Integrado
de Bibliotecas / Unitau - Biblioteca das Engenharias**

S237r Santos, Nayara Stefanie Pereira dos
Reutilização do óxido de alumínio após o processo de
jateamento. / Nayara Stefanie Pereira dos Santos, Paola
Palmeira dos Santos. - 2017.

30f. : il; 30 cm.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) –
Universidade de Taubaté. Departamento de Engenharia
Mecânica e Elétrica, 2017
Orientador: Prof. Me. Paulo Cesar Corrêa Lindgren,
Departamento de Engenharia Mecânica e Elétrica.

1. Descarte. 2. Jateamento. 3. Óxido. 4. Resíduo. 5.
Reutilização. I. Título.

NAYARA STEFANIE PEREIRA DOS SANTOS
PAOLA PALMEIRA DOS SANTOS

REUTILIZAÇÃO DO ÓXIDO DE ALUMÍNIO APÓS O PROCESSO DE
JATEAMENTO

Trabalho de Graduação apresentado para
obtenção do Título de Bacharel em
Engenharia Mecânica do Departamento
de Engenharia Mecânica da Universidade
de Taubaté.

Data: 26/10/2017

Resultado: APROVADO

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Paulo Cesar Corrêa Lindgren

Universidade de Taubaté

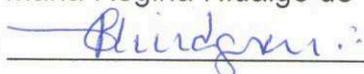
Assinatura



Prof. MSc. Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren

Universidade de Taubaté

Assinatura



“Que todos os nossos esforços estejam sempre focados no desafio à impossibilidade. Todas as grandes conquistas humanas vieram daquilo que parecia impossível.”

(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de nossas vidas, e não somente nestes anos como universitárias, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradecemos aos nossos pais pelo incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço e que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que nós chegassemos até esta etapa de nossas vidas.

As nossas famílias, pela capacidade de acreditar e investir em nós.

Ao nosso professor orientador Paulo César Corrêa Lindgren e nossa co-orientadora Maria Regina Hidalgo de Oliveira Lindgren que tiveram paciência e que nos ajudaram a concluir este trabalho de graduação.

A Universidade pela oportunidade de fazer o curso.

Aos nossos amigos, pelas alegrias, tristezas, incentivo e pelo apoio constante.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da nossa formação, o nosso muito obrigada.

RESUMO

Este projeto tem como objetivo estudar sobre possíveis meios de reutilização do óxido de alumínio após o processo de jateamento. Durante este estudo será abordado suas características, aplicabilidades e principalmente seu descarte. Enfatizando sua aplicação no processo de jateamento, trazendo a história, os conceitos dessa atividade, os tipos de abrasivos utilizados, granulometria dos grãos, equipamentos básicos essenciais para a realização do processo de jateamento e a segurança do operador que exerce essa função. Mostrar os riscos do jateamento com areia e a sua proibição em alguns lugares/países, e apontar os locais adequados onde o jateamento pode ocorrer, ou seja, lugares abertos ou dentro de cabines. Explanar o óxido de alumínio, também conhecido como alumina, desde a sua obtenção, extração da bauxita onde através de alguns processos é refinada e assim formada a alumina pura, quanto sua forma industrializada, utilizada para fins de jateamento. Pesquisar sua variedade de formas, dureza e aplicação conforme suas características e o trabalho a ser executado. Com isso, analisar de uma forma geral os impactos negativos ou positivos, que o meio ambiente sofre com os processos industriais e os resíduos gerados e especificar o impacto do resíduo do óxido de alumínio sejam no solo, na água ou no ar. Com os resíduos, obter benefícios para o seu reaproveitamento, evitando impactar negativamente o meio ambiente e visando recuperar a maior parcela possível dos desembolsos efetuados no processo.

Palavras-chave: alumina, alumínio, descarte, jateamento, meio ambiente, óxido, resíduo, reutilização.

ABSTRACT

This project aims to study possible ways to reuse aluminum oxide after the blasting process. During this study will be approached its characteristics, applicabilities and mainly its discard. Emphasizing its application in the blasting process, bringing the history, the concepts of this activity, the types of abrasives used, granulometry of the grains, basic equipment essential for carrying out the blasting process and the safety of the operator that performs this function. Show the risks of sandblasting and its prohibition in some places / countries, and point out the appropriate places where blasting can occur, ie open places or inside booths. Explanation of aluminum oxide, also known as alumina, from its extraction, extraction of bauxite where through some processes is refined and thus formed the pure alumina, how much its industrialized form, used for blasting purposes. Search for its variety of shapes, hardness and application according to its characteristics and the work to be performed. In this way, to analyze in general the negative or positive impacts that the environment suffers from the industrial processes and generated residues and to specify the impact of the aluminum oxide residue on the soil, water or air. With the waste, obtain benefits for its reuse, avoiding to negatively impact the environment and aiming to recover the largest possible portion of the disbursements made in the process.

Keywords: alumina, aluminum, disposal, environment, oxide, reuse, sandblasting, wast

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo Bayer de obtenção do óxido de Alumínio.....	16
Figura 2 – Componentes do processo de jateamento.....	22

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
1.1 Objetivo.....	11
1.1.1 Objetivo Geral.....	11
1.1.2 Objetivo Específico	11
1.2 Delimitação de Estudo.....	11
1.3 Relevância do Estudo.....	11
1.4 Organização do Trabalho	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Processo de jateamento de peças metálicas: origens e histórico.....	13
2.1.1 Principais tipos de abrasivos e adequações aos processos	13
2.2 O Óxido de Alumínio: principais características e aplicações.....	15
2.3 Os processos industriais e os impactos ambientais	20
2.4 O processo de Jateamento e seus impactos ambientais.....	21
3. METODOLOGIA	25
3.1 Tipo de pesquisa	25
3.2 Fontes de pesquisa.....	25
3.3 Base de dados.....	25
3.4 Seleção de fontes	26
3.2 Análise e interpretação	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5.CONCLUSÃO	28
REFERÊNCIAS.....	29

1 INTRODUÇÃO

Inicialmente, o processo de jateamento foi criado para gravar letras em lápides de granito e o abrasivo utilizado para a realização dessa técnica foi a areia, por ser um material abundante e por ter um menor custo. Devido aos problemas de saúde que o jateamento de areia causava no operador, este processo foi proibido de acordo com a NR-15, anexo XII, item nº7.

Com isso outros abrasivos foram desenvolvidos para a realização dessa técnica, como a granalha de aço, angular ou esférica, materiais de origem orgânica, esferas de vidro e o óxido de alumínio.

O óxido de alumínio é um material abrasivo, ou seja, substâncias duras instruídas a remover por meio do atrito, partículas de outros corpos. É um material de alta dureza, 9 na escala de Mohs (Coríndon), possui alta resistência a corrosão e a altas temperaturas. Entre suas características podem ainda ser citadas grande tenacidade, sua capacidade de ser inerte quimicamente e boa estabilidade térmica.

Um dos grandes problemas do processo de jateamento com o óxido de alumínio é a quantidade de resíduos gerados, que atualmente são expedidos ao aterro sanitário e o desconhecimento da sua reutilização pode impactar negativamente o meio-ambiente. Nos dias de hoje, o termo “Sustentabilidade” tem sido muito citado nas empresas, e muitas pesquisas são feitas para que o reaproveitamento de qualquer tipo de resíduo seja feito ou o mesmo seja descartado de forma correta. Além da empresa ser vista de forma positiva, os consumidores também veem e buscam cada vez mais produtos de empresas sustentáveis. Esse conceito já havia sido desenvolvido em 1987, a partir do relatório de Brundtland ou “Nosso Futuro Comum”, que propõe a ideia de atender às necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras de atenderem às suas, além de uma série de ações e metas a serem realizadas.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem como objetivo principal estudar possíveis alternativas de reutilização/reaproveitamento do óxido de alumínio, após o processo de jateamento.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Explanar o óxido de alumínio de forma que possamos entender as suas funções e aplicabilidades;
- Verificar os impactos ambientais gerados pelo resíduo do óxido;
- Encontrar meios para possíveis reutilizações do óxido após o processo de jateamento.

1.2 DELIMITAÇÃO DO ESTUDO

A pesquisa traz somente o descarte e possíveis meios de reutilização de um tipo de abrasivo, o óxido de alumínio. Portanto os resíduos e descartes dos demais não serão tratados neste trabalho.

1.3 RELEVÂNCIA DO ESTUDO

O estudo torna-se relevante por não conter em nossa região empresas que busquem a reutilização desse tipo de material, pois em sua grande maioria são descartados em aterros. Estudando sobre o assunto percebemos que a outra parcela que não descarta o resíduo do óxido legalmente em aterros, não sabe descartá-lo, e acabam encontrando maneiras mais “fáceis” de eliminar. Portanto esta pesquisa vem proporcionar possíveis meios para que este descarte seja fácil, de maneira legal e que possam trazer benefícios para as empresas.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O estudo inicia com a origem e uma breve história de como surgiu o processo de jateamento e a sua evolução com o tempo. Demonstra os tipos de abrasivos existentes para o processo e suas características principais, enfatizando o óxido de alumínio trazendo além das características, os diversos tipos e aplicabilidades.

Um fator importante são os resíduos gerados após o processo de jateamento, e os impactos que causam ao meio ambiente, assunto abordado de forma geral, para compreender os impactos positivos e negativos que as indústrias podem causar e de forma específica.

O processo de jateamento é detalhado para compreensão de todo impacto causado por esta atividade, e assim, descobrir possíveis maneiras de reutilizar esse resíduo, que em grande maioria é direcionada ao aterro sanitário.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROCESSO DE JATEAMENTO DE PEÇAS METÁLICAS: ORIGENS E HISTÓRICO

Benjamin Chew Tilghman nasceu na Filadélfia em 26 de outubro de 1821, formado em Direito, mas nunca exerceu sua profissão. Em 1870 ele inventou e patenteou o processo de jateamento. A ideia lhe ocorreu quando observava marcas de grade em uma vidraça após uma tempestade de areia no deserto. Portanto o abrasivo utilizado para realização dessa técnica foi a areia por ser um material abundante e por ter um menor custo, suas primeiras aplicações foram para gravar letras em lápides de granito, gravações em garrafas e limpezas de cadeiras. (PRIETO,2014).

Ainda segundo o mesmo autor, para a realização deste processo foi desenvolvida uma máquina em que a areia era soprada por vapor em alta velocidade, porém, em 1885, o processo foi otimizado, substituindo o vapor por ar comprimido. O desenvolvimento do jateamento ocorreu devido a uma batalha naval durante a guerra civil americana, em 1862, onde os navios feitos de metal eram superiores aos de madeira, assim a manutenção nos navios metálicos exigia novos recursos para o processo, como por exemplos, compressores de maior capacidade. Outro fator foi devido a identificação dos problemas de saúde que a areia proporcionava ao operador e por esse motivo foi necessária a pesquisa de novos abrasivos que ofereciam menor risco.

Conforme Prieto (2014), Tilghman requereu, sucessivamente, patentes de granalha de aço, turbinas e outros aperfeiçoamentos, podendo-se dizer que ele praticamente esgotou o processo de jateamento, deixado para as gerações futuras apenas a responsabilidade de aperfeiçoá-lo.

2.1.1 PRINCIPAIS TIPOS DE ABRASIVOS E ADEQUAÇÕES AOS PROCESSOS

Para que o processo seja realizado corretamente, além da limpeza da superfície das peças, dos equipamentos adequados e do conhecimento do operador é preciso definir o tipo de abrasivo de acordo com a especificação do serviço que deseja. Os abrasivos mais utilizados para jateamento são: areia, granalha de aço e óxido de alumínio. (EMPRESA ALFA, 2013).

- **Areia:** é um abrasivo de baixo custo e encontrado com facilidade, porém é impossível a obtenção de um padrão de ancoragem uniforme e repetitivo, que são condições usuais para a preparação de superfície. É de rápida fragmentação, podendo ser reutilizada durante duas ou três vezes. Para jateamento em ambiente fechados ela não é recomendada, pois o pó de areia possui sílica livre (SiO_2), ocasionando problemas de saúde ao operador, a silicose pulmonar, podendo causar câncer de pulmão. Há uma lei, já aprovada pela Câmara Federal, que proíbe o uso de areia em trabalhos de jateamento abrasivo. Na verdade, o uso de areia, a seco ou a úmido, já foi proibida desde 19 de outubro de 2004 por meio da Portaria n° 99 da Secretaria de Inspeção do Trabalho do Ministério do Trabalho e Emprego. (ZIRTEC, 2017). Fica proibido o processo de trabalho de jateamento que utilize areia seca ou úmida como abrasivo (NR-15, ANEXO XII, 2004).
- **Bauxita sinterizada:** não contém sílica (mais de 80% de óxido de alumínio). É um material duro, leve e não enferruja. É apresentada nas formas esférica e angular. Na forma de grãos esféricos é denominada sinterball e os grãos angulares sinterblast. (LUZ; LINS, 2005).
- **Bicarbonato de Sódio:** conhecido também como *Soda Blasting* é um abrasivo muito utilizado para latarias de automóveis, possui baixo grau de rugosidade e seu procedimento é de fácil manuseio, não necessitando de cabines ou qualquer outro tipo de equipamento para o jateador, exceto óculos de segurança. Além disso, é um material biodegradável, não sendo possível sua reutilização. (PRIETO, 2014).
- **Garnet:** esta é uma granalha natural de origem mineral não sendo, portanto, submetida a qualquer processo químico durante sua fabricação. (COSTA, 2006). O Abrasivo Garnet é um material de jateamento que pode ser utilizado várias vezes. Dependendo do campo de utilização, pode ser reutilizado a partir de quatro a dez vezes, sem perder o seu alto rendimento de jateamento. O garnet é único abrasivo utilizado em processo de corte de chapa de aço por jato de água. (ABRASIVO, 2017).
- **Granalha de Aço:** existem em dois formatos as esféricas (*shot*) que são utilizadas para eliminar rebarbas, limpezas, acabamentos e possui uma dureza

de 40 a 50 *Rockwell C* podendo ser recicladas até 450 vezes, e as angulares (*grit*) utilizadas para limpezas e preparação da superfície gerando uma ancoragem para aderir o revestimento, com uma dureza de 55 a 60 *Rockwell C* e podendo ser recicladas até 350 vezes. O seu alto ciclo de reciclagem deve-se ao fato de serem duráveis. (ROHWEDER et al., 2011).

- **Microesferas de vidro:** as Microesferas de Vidro são abrasivos esféricos, granulados, brancos, inertes e insolúveis em água. É um material inerte, não reage com os materiais tratados, pois não se incrustam nas superfícies jateadas. Sua dureza situa-se entre 5 e 7 na escala *mohs*. Este processo inclui três aplicações, limpeza, acabamento e martelamento (*Shot peening*). (CMV, 2017).
- **Óxido de alumínio:** é um abrasivo obtido da bauxita e possui a vantagem de não conter a sílica livre (SiO_2), ou seja, não prejudica a saúde do operador. O abrasivo utilizado para o processo de jateamento é o HSG, é de alta dureza 9 na escala de *Mohs (Coríndon)*, e possuem grãos com arestas cortantes e vivas. (BRASIBRAS, 2017).

2.2 O ÓXIDO DE ALUMÍNIO: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES

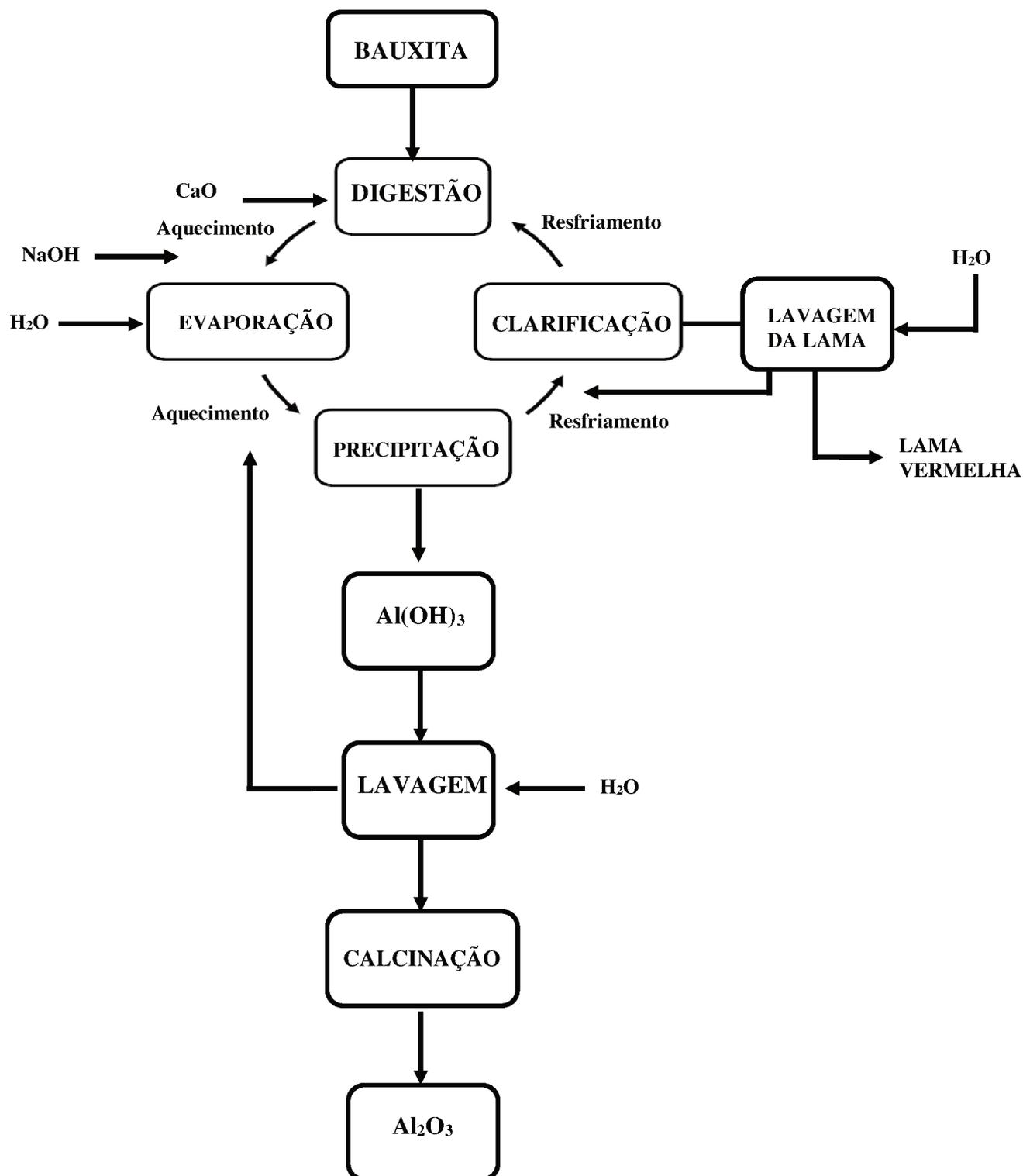
O alumínio é o terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre e pode ser encontrado em diversos tipos de minerais. A bauxita é a principal matéria prima do refino do óxido de alumínio, ou alumina, usado para produzir o alumínio primário. (HYDRO, 2016).

A bauxita é uma rocha que consiste na mistura de minerais de alumínio, onde podemos destacar a gibbsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), diásporo ($\text{AlO}(\text{OH})$) e boehmita ($\text{AlO}(\text{OH})$) conhecidos como oxi-hidróxidos de alumínio. Esta rocha varia muito na aparência física, dependendo da sua composição e impurezas, podendo ser de diversas cores conforme a quantidade de óxido de ferro. (LUZ; LINS, 2005).

De acordo com Constantino et al. (2002), o óxido de alumínio é obtido por meio do processo Bayer, que é a refinação de alumina a partir da bauxita antes do processo, a bauxita é esmagada e moída em moinhos até formar partículas finas formando uma pasta que é armazenada em tanques de envelhecimento e depois bombeada para uma etapa de processo adicional, o óxido é obtido a partir desta

pasta pelo processo Bayer compreendendo quatro etapas, digestão, clarificação, precipitação e calcinação conforme Figura 1.

Figura 1 - Processo Bayer de obtenção do Óxido de Alumínio.



Fonte: Elaborada pelo autor

Na digestão, a bauxita é triturada e polvilhada com uma solução de soda cáustica (hidróxido de sódio - NaOH) e bombeada para grandes tanques de pressão chamados digestores, onde o minério é submetido a calor e pressão de vapor. O hidróxido de sódio reage com os minerais aluminosos da bauxita para formar uma solução saturada de aluminato de sódio. Impurezas insolúveis, chamadas de lama vermelha, permanecem em suspensão e são separadas no passo de clarificação.

Após a digestão, a mistura é passada através de uma série de tanques de redução de pressão (chamados tanques de descarga), onde a solução é transferida para a pressão atmosférica. O passo seguinte no processo é separar a lama vermelha insolúvel da solução de aluminato de sódio. O material grosseiro é removido em ciclones brutos chamados “armadilhas de areia”. O resíduo mais fino é depositado em espessantes de raspagem com a adição de floculantes sintéticos, e os sólidos no excesso de espessante são removidos por filtros de tecido. Estes resíduos são então lavados, combinados e eliminados. A solução clarificada é adicionalmente arrefecida em permutadores de calor, aumentando o grau de supersaturação da alumina dissolvida, e bombeada para precipitadores silicosos de altura. (STALEY; VAN HORN; BRIDENBAUGH, 2016).

São adicionadas quantidades consideráveis de cristais de hidróxido de alumínio à solução nos precipitadores, como sementeira para acelerar a separação de cristais. Os cristais de semente atraem outros cristais e formam aglomerados. Estes são classificados em material maior do tamanho do produto e material mais fino que é reciclado como semente. Os aglomerados do tamanho do produto de cristais de hidróxido de alumínio são filtrados, lavados para remover a solução ou solução cáustica arrastada, e calcinados em fornos rotativos ou calcinadores instantâneos de leito fluidizados estacionários a temperaturas superiores a 960 °C (1750 °F). A água livre e a água quimicamente combinada são expulsas, deixando a alumina comercialmente pura - ou óxido de alumínio - um pó seco, fino e branco semelhante ao açúcar em aparência e consistência. (STALEY; VAN HORN; BRIDENBAUGH, 2016).

Ainda segundo os mesmos autores Staley, Van Horn e Bridenbaugh (2016) a alumina produzida pelo processo Bayer é bastante pura, contendo apenas alguns centésimos de 1% de ferro e silício. A principal impureza, soda residual, está presente em níveis de 0,2 a 0,6 %. Além de ser a principal matéria-prima para a

produção de alumínio metálico, a própria alumina é um produto químico importante. É usado extensamente nas indústrias químicas, refratárias, cerâmicas, e de petróleo. As formas hidratadas de alumina, chamadas hidróxido de alumínio, podem conter uma ou três moléculas de água. Cada um pode existir em duas fases cristalinas diferentes, conhecido como alfa e beta. Em ambas as formas, a variedade alfa é mais comum. O alfa-tri-hidróxido (gibbsite) e hidróxido de óxido alfa (boehmite) ocorrem na bauxita.

O tri-hidróxido de alumínio é amplamente utilizado na produção de produtos químicos de alumínio, tais como sulfeto de alumínio, aluminato de sódio, fluoreto de alumínio e hexahidrato de cloreto de alumínio. É uma matéria-prima na fabricação de catalisadores de petróleo, produtos de plástico e borracha, papel, vidro, esmalte vítreo, adesivos, vernizes e pastas dentífricas. O sulfato de alumínio é empregado na purificação de água. O cloreto de alumínio em várias formas é utilizado como um catalisador na química orgânica e na indústria cosmética como um desodorizante. O fluoreto de alumínio é amplamente utilizado na produção de alumínio. (STALEY; VAN HORN; BRIDENBAUGH, 1998).

Conforme Staley, Van Horn e Bridenbaugh (1998), o óxido de alumínio existe em várias formas diferentes, das quais o corindo é o mais comum. O corindo é caracterizado por uma densidade elevada (4,0), um ponto de fusão elevado (cerca de 2050 °C), grande insolubilidade e dureza. O óxido de alumínio é o ingrediente principal nos produtos químicos comerciais conhecidos como aluminas. Dos produtos químicos inorgânicos puros, as aluminas estão entre o maior volume produzido no mundo hoje. Rubis e safiras são cristalinas, variedades quase puras de alumina, coloridas por pequenas quantidades de impurezas. Rubis sintéticos e safiras são feitos comercialmente por fusão de uma mistura de óxido de alumínio de alta pureza com corantes em uma chama de oxi-hidrogênio *blowpipe*. A maioria são cortados e perfurados para formar pequenas "jóias", como rolamentos em relógios e vários instrumentos de medição de precisão.

A alumina ativada é uma forma porosa de óxido de alumínio a partir da qual grande parte da água quimicamente combinada foi removida a temperaturas suficientemente baixas para evitar a sinterização. É quimicamente inerte para a maioria dos gases, não tóxico e não irá suavizar, inchar ou desintegrar na água. Tem a capacidade de adsorver e manter a umidade sem alteração na forma ou

propriedades, e tem alta resistência ao choque e à abrasão. A alumina ativada é usada em indústrias petroquímicas, químicas e de petróleo como agente de desidratação e purificador na fabricação de gasolina, petroquímicos, gás natural e peróxido de hidrogênio. (STALEY; VAN HORN; BRIDENBAUGH, 1998).

A alumina calcinada é óxido de alumínio que foi aquecido a temperaturas superiores a 1050 °C (1900 °F) para eliminar quase toda a água quimicamente combinada. Nesta forma, a alumina tem uma grande pureza química, extrema dureza (9 na escala de dureza de *Mohs*, em que o diamante é 10), alta densidade e um ponto de fusão elevado acima de 2050 °C (3700 °F). Ele possui boa condutividade térmica, resistência ao calor e choque, e alta resistividade elétrica em temperaturas elevadas. Esta combinação de propriedades torna a alumina calcinada útil em abrasivos, vidro, porcelanas, velas de ignição e isoladores elétricos, mas a maior quantidade de alumina calcinada é utilizada para obter alumínio. (STALEY; VAN HORN; BRIDENBAUGH, 1998).

A alumina tabular é óxido de alumínio que foi aquecido a temperaturas acima de 1650 °C (3000 °F). Composto por cristais em forma de tabuleta e tem alta capacidade calorífica e condutividade térmica, bem como excepcional resistência e estabilidade de volume a altas temperaturas. Por estas razões, uma grande utilização da alumina tabular está na produção de refratários de alta qualidade, os materiais utilizados para revestir fornos industriais. Os refratários de alta alumina são utilizados nas indústrias metalúrgicas e de vidro em instalações de caldeiras, em grandes fornos e fornos para fundição de metais e de vidro, cerâmica e porcelana, e na fabricação de tijolos para construção. (STALEY; VAN HORN; BRIDENBAUGH, 1998).

A maioria dos refratários é produzida sob a forma de tijolos, ligados e queimados em fornos. Alguns refratários moldáveis são feitos sob a forma de argamassas, geralmente alumina tabular com cimento de aluminato de cálcio como um ligante. Estas argamassas, denominadas *grog*, são pulverizadas sob pressão para formar os revestimentos dos fornos elétricos e fornos básicos a oxigênio da indústria siderúrgica, painéis e fornos de coque e para caldeiras a vapor, fornos rotativos e muitas outras aplicações de alta temperatura. (STALEY; VAN HORN; BRIDENBAUGH, 1998).

As aluminas fundidas são utilizadas em refratários especiais para a indústria do vidro. A alumina fundida é alumina calcinada que são fundidas em fornos de arco elétrico, arrefecida, triturada e reformulada nas formas desejadas. Em outra aplicação, os processos industriais que requerem gases quentes utilizam um dispositivo de transferência de calor único chamado um aquecedor de seixo. Os gases a serem aquecidos são passados através de um leito de bolas de alumina tabular que foram aquecidas a temperaturas extremas. Ainda em outra aplicação, um material isolante aluminoso é formado por fusão de alumina e sílica em um forno elétrico e sujeito a mistura fundida de gases em alta velocidade para produzir fibras brancas finas. (VAN HORN; BRIDENBAUGH; STALEY, 2017). A obtenção do óxido utilizado no processo de jateamento é feita artificialmente, ou seja, é produzida pela fusão da bauxita em fornos elétricos. É um material de alta dureza e possui arestas vivas e cortantes. As características químicas, físicas e dos grãos abrem um leque de finalidades para esse abrasivo, sendo eles:

- Utilização para rebarbamento;
- Perfilar superfícies metálicas, bem como aplicações de *peening* para alívio de tensão;
- Remoção de pinturas e revestimentos;
- Preparar superfícies para pintura, onde é exigido controle de ancoragem.

2.3 OS PROCESSOS INDUSTRIAIS E OS IMPACTOS AMBIENTAIS

O termo “Impacto Ambiental” possui diversas definições por apresentar várias classificações diversificando de acordo com a circunstância. Basicamente podemos definir como os possíveis efeitos adversos causados por um desenvolvimento industrial ou pela liberação de uma substância no ambiente.

Segundo a Norma ISO 14001, Impacto Ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização.

Apesar dos conceitos associarem a algo negativo, o impacto também pode ser positivo, como por exemplo, a indústria que constrói uma área de proteção ambiental, melhorando assim a qualidade de vida da comunidade. Por definição do Conselho Nacional do Meio Ambiente, (CONAMA,1986).

[...] considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais.

A ação humana tem a sua contribuição para a poluição ambiental devido seus maus hábitos, costumes e as atividades cotidianas realizadas erroneamente. Por sua vez, a indústria gera impactos relevantes. Para obter qualquer peça é necessário que a indústria realize diversas operações e procedimentos para obtenção do produto final, porém neste processo é gerado diversos resíduo que podem ser descartados na água, ar ou solo. (OLIVER,2006).

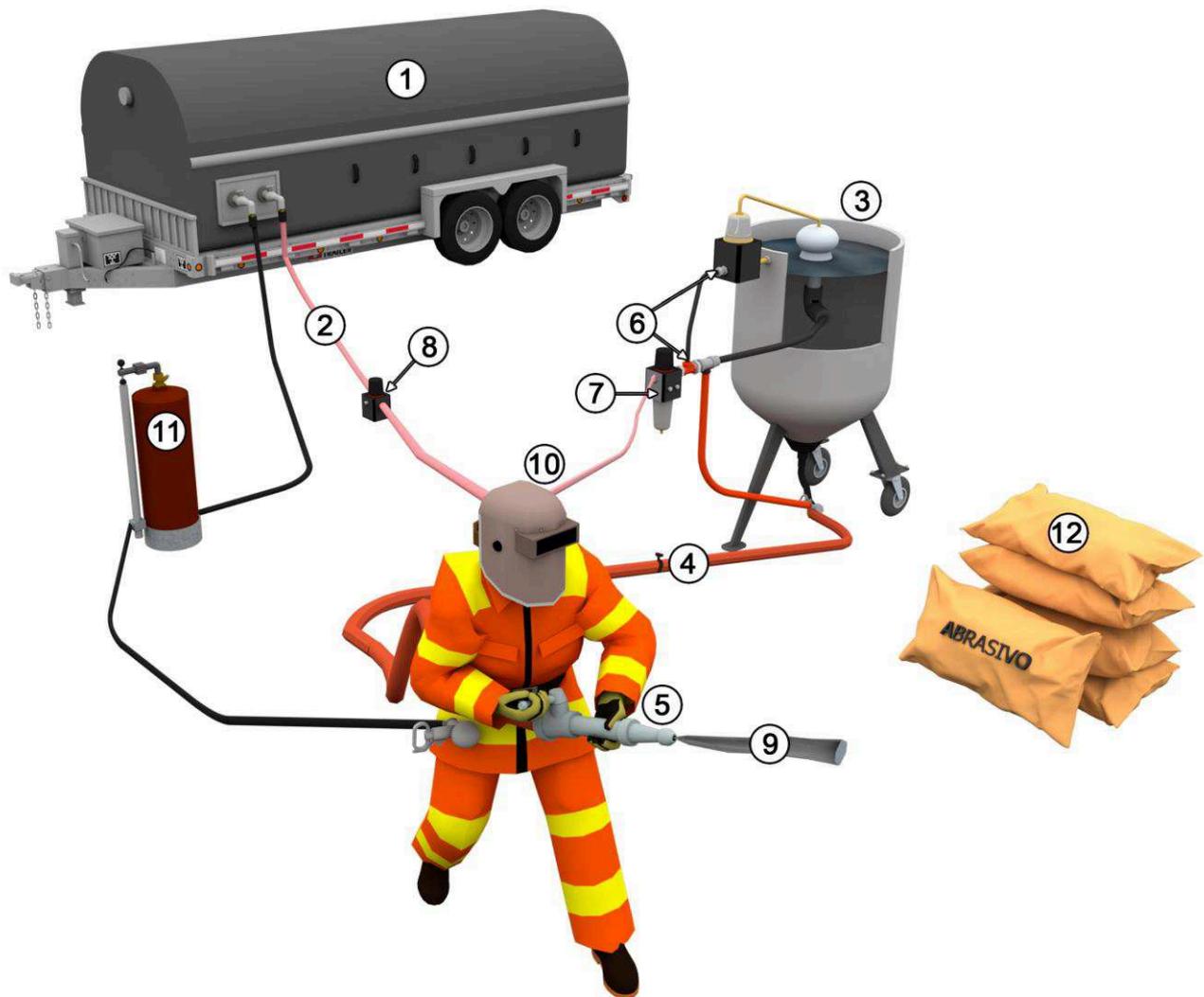
Podem se destacar algumas atividades humanas que impactam o meio ambiente, como descarte inadequado de lixo, desperdício de água, desmatamento, uso exacerbado dos recursos naturais e etc. Por outro lado as atividades industriais contribuem negativamente com a poluição atmosférica, consumo excessivo de energia industrial, efeito estufa, poluição das águas, poluição do solo, chuvas ácidas, descarte inadequado de resíduos entre muitos outros. (OLIVEIRA, 2006).

Portanto é de suma importância ser realizado um Estudo de Impacto Ambiental (EIA) para verificar os possíveis danos que um projeto pode causar ao meio ambiente.

2.4 O PROCESSO DE JATEAMENTO E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS

O jateamento industrial é um processo de limpeza em que o abrasivo utilizado é expelido de uma mangueira, por ar comprimido, a alta velocidade, gerando uma rugosidade na peça afim de posteriormente receber a pintura ou o revestimento. A limpeza realizada engloba a oxidação, ou seja, a perda de propriedades de um material quando o mesmo reage com o meio ambiente (deterioração), resíduos de pintura na peça e carepas, que são óxidos de ferro que se formam na superfície do aço. (EMPRESA ALFA, 2013). Alguns equipamentos são essenciais para a eficácia deste processo, e, em sua forma básica, se integram dos seguintes componentes:

Figura 2 - Componentes do processo de jateamento.



1 – Compressor

2 – Mangueira

3 - Vaso de pressão

4 – Mangueira de ar-abrasivo

5 – Bico

6 – Válvula de controle remoto

7 - Separador de umidade

8- Separador de óleo

9 - Jato abrasivo

10 – Capacete com ar puro

11 – Separador de óleo do ar

12 - Abrasivo

Fonte: Elaborada pelo autor

A aplicabilidade de todo este sistema consiste em captar o ar atmosférico e armazená-lo no compressor, para ser lançado através das mangueiras quando o equipamento for ligado. Este ar é enviado tanto para o capacete do operador quanto para o vaso de pressão, que são controlados na pressão exigida conforme a instrução de trabalho de cada empresa. Contêm em suas linhas alguns separadores que retiram qualquer resíduo mais pesado que o ar (óleo ou umidade). A linha de ar enviada ao capacete serve para a proteção do operador aos estilhaços lançados e uma possível contaminação com a inalação do pó. (EMPRESA ALFA, 2013).

O óxido de alumínio, abrasivo utilizado para este exemplo, é despejado no vaso de pressão com o sistema inteiro desligado, pois há uma válvula que é acionada quando em contato com o ar, e auxilia na quantidade de abrasivo a ser colocado. Do vaso de pressão saem duas mangueiras, uma com o ar e a outra com o abrasivo que se unem quando chegam ao bico da mangueira, saindo assim o óxido de alumínio na pressão correta de trabalho. E para total controle do operador há um gatilho antes do bico, onde somente quando acionado, o sistema funciona e quando é necessário parar o trabalho ele retira a pressão aplicada. (EMPRESA ALFA, 2013).

Somente as válvulas e o gatilho não são suficientes para a segurança deste serviço, é necessário todo um equipamento de proteção individual, como máscara de pó, pois mesmo com a proteção do capacete é exigida a utilização para prevenir qualquer inalação ao pó, protetor auricular devido ao barulho do processo ser notório, óculos de proteção para que nenhum estilhaço afete os olhos, blusão e calça, o blusão é acoplado ao capacete, mas a calça precisa ser de um material mais grosso como raspa de couro ou nylon, luvas que precisam ser de um material grosso para a manipulação e operação do equipamento e a bota com ponteira de aço. (EMPRESA ALFA, 2013).

Para que o processo seja realizado corretamente, além da limpeza da superfície das peças, dos equipamentos adequados e do conhecimento do operador, é preciso definir o tipo de abrasivo de acordo com a especificação do serviço que deseja. (EMPRESA ALFA, 2013).

O jateamento abrasivo pode ter um grande impacto no ambiente, nos custos e na saúde e segurança. A poluição do ar no jato pode ocorrer quando o pó esta sendo liberado fora da superfície, isto pode ser um problema especialmente se o

jateamento é conduzido ao ar livre, pois os poluentes podem ser soprados em propriedades vizinhas ou em torno de pessoal desprotegido. Isso também pode causar danos ambientais se a poeira contaminada entrar em cursos de água ou materiais perigosos que acabam no solo. Por este motivo é importante realizar o processo em ambientes fechados com superfície impermeável. (EMPRESA ALFA, 2013).

Existem diferentes impactos de eliminação de resíduos, dependendo se o método utilizado for úmido ou seco. São considerados resíduos perigosos quando o material a ser jateado está contaminado, como por exemplo, contiver tinta de chumbo, por isso os custos de eliminação podem ser maiores. (EMPRESA ALFA, 2013).

O ruído das máquinas usadas pode ser um problema de segurança para os trabalhadores, mas também pode causar incômodo devido ao barulho. Existem também outros impactos na saúde e na segurança decorrentes da inalação de solventes utilizados para preparar a superfície. (SILVA, 2003).

Por este motivo é importante avaliar todos os impactos que o jateamento causa ao ambiente e encontrar meio para evitar o descarte incorreto dos resíduos para não prejudicar o solo, evitando também a poluição sonora e do ar utilizando equipamentos adequados, amenizando o ruído e evitando a inalação da poeira. (SILVA, 2003).

3 METODOLOGIA

3.1 TIPO DE PESQUISA

O objetivo do estudo é levantar ideias ou possíveis hipóteses para a reutilização do óxido de alumínio após o processo de jateamento, se enquadrando, assim, no tipo de pesquisa exploratória. Estas pesquisas têm como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir hipóteses. (GIL, 2017).

Assim obtivemos um trabalho de graduação original, utilizando informações obtidas nas fontes publicadas.

3.2 FONTES DE PESQUISA

A primeira etapa do processo foi desenvolvida através de um problema encontrado, onde não havia conhecimento suficiente para possíveis soluções. Assim se fez necessárias pesquisas na internet para encontrar sites acadêmicos, artigos, etc., relacionada a jateamento, óxido de alumínio e reutilização.

Publicações utilizadas:

- Dissertações;
- Sites de Empresas;
- Artigos; e
- Textos da Internet.

3.3 BASE DE DADOS

Para localizar as dissertações, pesquisou-se em sites e foram feitos contatos com alunos via redes sociais, para utilizá-las e poder citá-las. Os sites das empresas que trabalham no ramo de petróleo e algumas que vendem o abrasivo estudado contribuem não só com informações técnicas, mas com artigos publicados em revistas. Foram extraídos também alguns textos oriundos de empresas internacionais, que foram traduzidos para fazer a citação.

3.4 SELEÇÃO DE FONTES

Foi realizada uma seleção de todos os dados obtidos nas pesquisas, e para esse processo foram identificados cada conteúdo de forma exploratória a fim de mostrar claramente cada etapa do processo e onde estava o problema. Após esta etapa as ideias dos autores foram somadas, permitindo as nossas próprias interpretações sobre o assunto.

3.5 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO

Após o entendimento dos diferentes pontos de vista pesquisados, foi realizada a identificação dos trechos principais, os conceitos e definições dos autores. Após alinhar como cada autor abordou o assunto, foi possível desenvolver a dissertação de forma interpretativa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com base nas pesquisas efetuadas, verificou-se que existem algumas opções viáveis, porém pouco exploradas e difundidas, para reaproveitamento do óxido de alumínio cinza, residual do processo de jateamento.

Uma primeira possibilidade seria a reciclagem desse resíduo, onde uma empresa reaproveitaria o óxido de alumínio, depois do processo de jateamento, refundindo-o com grãos novos e, sem perder qualidade, retornando o material adquirido para os clientes, com um custo inferior ao do fabricante. Assim, a qualidade dos serviços se conservaria e o custo com este abrasivo decresceria. Como por exemplo uma empresa beta, no norte da América, que através do forno de arco elétrico proporciona a capacidade de reciclar o grão do óxido de alumínio usado e transformá-lo de volta a um estado fundido.

Essa empresa utiliza o processo de reciclagem em circuito fechado, ou seja, usam 100% do produto reciclado e produz zero desperdício para o cliente. A vantagem desse meio de reciclagem do óxido de alumínio é loop fechado em uma única empresa, isto é, o abrasivo é comprado e utilizado, enviado a empresa beta para reciclagem e retornado para o cliente. Dessa maneira reduzirá os custos com a movimentação do material, com os aterros e uma eventual reivindicação futura contra a empresa.

Uma segunda opção seria a possibilidade de venda desse resíduo para empresas que fabricam aços de baixa resistência ou aços de segunda linha, reutilizando este pó na composição dos mesmos. Porém seria necessário a realização de testes laboratoriais para não comprometer a qualidade do produto e, assim, distinguir a finalidade para cada serviço a ser realizado.

Por fim, pode-se realizar testes para a utilização dessa “poeira fina” em soldas, utilizando-a na composição dos metais de adição, ou como fluxo para soldas a arco submerso, visto que um dos fluxos utilizados, denominado fluxo aglomerado, é composto por minerais finamente moídos, como óxidos de manganês, silício, alumínio, zircônio ou cálcio.

5 CONCLUSÃO

Após o estudo, verificou-se que a falta de conhecimento por parte das empresas que praticam o processo de jateamento e, conseqüentemente, acumulam uma quantidade considerável de resíduos, gera todo um transtorno ambiental e financeiro, pois além dos custos diretos para a coleta, o transporte e descarte do resíduo em aterros sanitários, o mesmo impacta o meio ambiente. Se uma pequena parcela dessas empresas demonstrasse interesse em buscar meios de reciclagem deste resíduo, haveria a possibilidade de um retorno lucrativo, visto as opções viáveis encontradas neste estudo.

Todas as três soluções supramencionadas podem se constituir em boas fontes de referência para potenciais empreendedores, oferecendo opções viáveis para se desestimular o crescimento das formas ilícitas de descarte dos resíduos de óxido de alumínio.

Pode-se concluir, perante o explorado neste trabalho de graduação, que é extremamente importante encontrar meios de reciclagem para o óxido de alumínio após o processo de jateamento.

REFERÊNCIAS

ABRASIVO GARBLAST. **Garnet: As Vantagens no Jateamento**. Disponível em: <<http://www.fevi.it/-por/abrasivi-garblast-sabbiatura.php>>. Acesso em: 03 maio 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: Classificação de Resíduos**. 2 ed. Rio de Janeiro, 71 p. 2004.

BRASIBRÁS. **Materiais para Jateamento**. Disponível em: <<http://www.brasibras.com.br/index.php/materiais-para-jateamento/>>. Acesso em: 12 maio 2017.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução nº 01, de 23 de janeiro de 1986**. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental – RIMA. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=23>>. Acesso em: 01 maio 2017.

CONSTANTINO, Vera R. Leopoldo et al. **Preparação de Compostos de Alumínio a partir da Bauxita: Considerações sobre alguns aspectos envolvidos em um experimento didático**. Disponível em: <http://quimicanova.s bq.org.br/imagebank/pdf/Vol25No3_490_23.pdf>. Acesso em: 27 maio 2017.

COSTA, Vitaliano, J. **Garnet**. Disponível em: <<http://www.vitalianocosta.pt/uploader/index.php?action=download&field=http://www.vitalianocosta.pt/files/545.pdf&fileDesc=AbrasivoGarnet>>. Acesso em: 11 maio 2017.

EMPRESA ALFA. **Procedimento interno de jateamento**. 2013.

GIL, Antonio Carlos. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. Disponível em: <https://professores.faccat.br/moodle/pluginfile.php/13410/mod_resource/content/1/como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf>. Acesso em: 05 julho 2017.

GONZAGA, Lia. **Jateamento**. Disponível em: <http://www.metalica.com.br/pg_dinamica/bin/pg_dinamica.php?id_pag=1188>. Acesso em: 18 março 2017.

HYDRO. **Bauxita**. Disponível em: <<http://www.hydro.com/pt-BR/a-hydro-no-brasil/produtos/bauxita-e-alumina/bauxita/>>. Acesso em: 13 maio 2017.

LUZ, Adão Benvindo ; LINS, Fernando Antonio Freitas (Org.). **Rochas e Minerais Industriais : Usos e Especificações**. Rio de Janeiro. 867 p. 2005.

PRIETO, ANIBAL. **Jateamento Abrasivo**. 2014. 51 p. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiGzLCU6_rTAhXIW5AKHYeqBL8QFgg6MAE&url=http%3A%2F%2Fwww.aprietojato.com%2Fwp->

content%2Fuploads%2F2014%2F07%2FJateamento-Abrasivo%2BRev.1-23.pdf&usg=AFQjCNFAr8_8whzlxVlaJp6ajFC6CYpz3A&sig2=84Wqup7wEdtV99CkhakVHA>. Acesso em: 22 abril 2017.

CMV. **Microesfera de Vidro**. Disponível em: <https://www.cmv.com.br/microesferas_de_vidro.htm>. Acesso em: 03 maio 2017.

OLIVEIRA, CARMELITA. **Impactos ambientais derivados de atividades industriais**. 2006. 90 p. Dissertação (Bacharel em Geografia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2006.

OLIVER, Samantha. **Avaliação dos impactos ambientais gerados pela produção de resíduos industriais no ramo metalúrgico: recuperação e reciclagem**. 2006. 135 p. Dissertação (Pós-Graduação em Gestão e Políticas Ambientais) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2006.

ROHWEDER, Anderson et al. **Shot Peening: Jateamento por Granalha**. 2011. 22 p. Dissertação (Curso de Engenharia Mecânica)- Centro Universitário - Católica de Santa Catarina, Jaraguá do Sul, 2011. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/91647086/Shot-Peening-Jateamento-por-Granalha-Ciencia-e-Tecnologia-dos-Materiais>>. Acesso em: 18 mar. 2017.

SILVA, Paulo R. S. **Avaliação de impactos ambientais em processos industriais: uma abordagem metodológica**. 2003. 191 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <https://www.google.com.br/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjf152u8frTAhXJC5AKHZvEAYsQFggsMAA&url=http%3A%2F%2Fwww.lume.ufrgs.br%2Fhandle%2F10183%2F5258&usg=AFQjCNG5xWyX36NFrPXRMEZX0w_ZYrDDIQ&sig2=ELFqoLp-bDLj0_Cc34uEg>. Acesso em: 01 maio 2017.

STALEY, James T. ; VAN HORN, Kent R. ; BRIDENBAUGH, Peter R. **Aluminum processing**. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/aluminum-processing#Article-History>>. Acesso em: 29 abril 2017.

STALEY, James T. ; VAN HORN, Kent R. ; BRIDENBAUGH, Peter R. **Aluminum processing**. Disponível em: <https://www.britannica.com/technology/aluminum-processing/The-metal-and-its-alloys> >. Acesso em: 29 abril 2017.

WEG INDÚSTRIAS S.A. – TINTAS. **Informações técnicas sobre tintas líquidas pintura industrial e manutenção anticorrosiva**. Guaramirim, 111 p. 2009.

ZIRTEC, Zirtec. **Areia**. Disponível em: <<http://www.zirtec.com.br/jateamento/artigos-tecnicos/areia/>>. Acesso em: 01 maio 2017.