



UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO DE BAUXITA COMO ALTERNATIVA SUSTENTÁVEL NA PAVIMENTAÇÃO: UMA REVISÃO DE LITERATURA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.V-004>

Lara Pereira Tavares Mendes (*), Ana Leticia Ramos Bezerra, Gilson Gabriel Teixeira Varela, Leonardo Rodrigues Guedes, Milena Cristina Rocha de Souza

* Universidade Federal de Campina Grande (UFCG-PB), lara.ptpereira@gmail.com.

RESUMO

O crescente aumento das atividades da indústria da mineração estão associadas a uma grande geração de resíduos, tratando-se dos resíduos de bauxita, oriundos do processo de beneficiamento da bauxita para obtenção da alumina – matéria prima para obtenção do alumínio – estima-se, conforme o IAI (2022), que até 2050 possa haver um inventário global de resíduos de bauxita de 10 bilhões de toneladas, reforçando a necessidade de estabelecer-se um destino ambientalmente adequado para esse material residual. O presente artigo tem como proposta discutir os estudos relacionados ao emprego do resíduo em misturas asfálticas, visando reduzir os impactos relacionados a esses dois setores. Como abordagem metodológica foi utilizado uma revisão sistemática de literatura que utilizou critérios de inclusão e exclusão para seleção dos trabalhos a fins da questão de pesquisa. A partir da análise dos trabalhos selecionados constatou-se que o emprego do resíduo de bauxita em misturas asfálticas é capaz de oferecer benefícios ambientais, econômicos e desempenho mecânico satisfatório.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo de bauxita, mistura asfáltica, mástique asfáltico.

ABSTRACT

The growing increase in activities in the mining industry is associated with a large generation of waste, in the case of bauxite residue, arising from the process of processing bauxite to obtain alumina - raw material for obtaining aluminum - it is estimated, as the IAI (2022), that by 2050 there may be a global inventory of bauxite residue of 10 billion tons, reinforcing the need to establish an environmentally appropriate destination for this waste material. The purpose of this article is to discuss studies related to the use of waste in asphalt mixtures, aiming to reduce the impacts related to these two sectors. As a methodological approach, a systematic literature review was used, which used inclusion and exclusion criteria for the selection of works for the purposes of the research question. From the analysis of the selected works, it was verified that the use of bauxite residue in asphalt mixtures is able to offer environmental and economic benefits and satisfactory mechanical performance.

KEY WORDS: Bauxite residue, asphalt mixture, asphalt mastic.

INTRODUÇÃO

A expressiva quantidade de resíduos gerados nos diversos processos do cotidiano industrializado consiste em uma questão que preocupa a sociedade. No processo de crescimento das cidades e em seu progressivo desenvolvimento, a indústria depara-se com os resíduos sólidos provenientes da transformação dos recursos naturais em matérias-primas para os mais diversos setores da economia. Nesse contexto, surge o desafio de destinação ambientalmente adequada desses resíduos. Nos últimos anos, a utilização destes nos setores de infraestrutura vem mostrando ser uma alternativa para sua destinação.

Nessa perspectiva, o tratamento e reaproveitamento do resíduo de bauxita, resíduo sólido industrial proveniente do beneficiamento do minério de bauxita para obtenção da alumina, tem sido um desafio para os governos e para a indústria do alumínio em todo o mundo. A preocupação envolve a grande quantidade de material estocado, para o qual conforme o IAI (2022) estima-se que até 2050 possa haver um inventário global de resíduos de bauxita de 10 bilhões de toneladas.

Com isso, estudos vêm sendo desenvolvidos em todo o mundo acerca da utilização desse material, as quais envolvem a recuperação do percentual de alumina, soda, óxido férrico e titânio do resíduo (ARAÚJO *et al.*, 2020), condicionante de solo para melhoria da fertilidade em solos tropicais ácidos, após neutralização parcial da alcalinidade



(HOLANDA *et al.*, 2020), aplicação desse material na produção de cimento, cerâmicas à base de argila e tijolos (HAIJAJA *et al.*, 2013).

Além disso, alguns estudiosos analisaram a incorporação desse resíduo na pavimentação - setor responsável por utilizar uma grande quantidade de matéria prima e consumo energético - visando empregá-lo como agregado, material de enchimento e até mesmo como agente modificador do ligante em misturas asfálticas. Quanto a isso, a inserção desse material na cadeia produtiva está associada a promoção de benefícios ambientais e econômicos, possibilitando minimização da degradação ambiental, redução dos custos relativos ao armazenamento e monitoramento dos rejeitos, além de reduzir a exploração de agregados naturais para fabricação de novos produtos (BASTOS *et al.*, 2016). Para tanto, é essencial investigar as possibilidades de utilização do resíduo de bauxita.

Uso de resíduos da mineração na pavimentação

Os resíduos sólidos resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição, estando nos estados sólido e semi-sólido. Nesse conjunto ainda estão incluídos lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornam inviável o lançamento em rede pública de esgotos ou corpos de água (CONAMA, 2002).

Quanto à disposição desses materiais, a Resolução nº 313/2002 do CONAMA, determina que as empresas apresentem informações a respeito do armazenamento, transporte e destinação de resíduos sólidos produzidos. No caso dos rejeitos de mineração, são normalmente armazenados em pilhas ou em barragens de contenção, soluções que demandam grande disponibilidade de área e recursos para implantação e manutenção das estruturas. Relatando a geração dos resíduos oriundos da mineração como uma das grandes preocupações ambientais do setor. Nesse sentido, a busca por tecnologias que resultem no aproveitamento dos rejeitos de forma eficiente surge como alternativa de reduzir o quantitativo estocado e conseqüentemente, os impactos associados.

Nesse âmbito há diversas pesquisas acerca da aplicação de rejeitos da mineração - como aqueles provenientes dos minérios de ferro, bauxita, cobre e de tungstênio - em diversas áreas, destacando-se o emprego na pavimentação. O uso dos rejeitos de mineração, visando a aplicação em obras de pavimentos, pode caracterizar-se como uma alternativa sustentável, minimizando o consumo de agregados naturais e assim, reduzindo os impactos ambientais e os custos financeiros dessas atividades.

Resíduo de bauxita

O resíduo de bauxita é o material que resulta do processo de extração de alumina da bauxita por meio do processo de Bayer. O processo de Bayer, segundo Habashi, 2005, envolve 4 etapas principais: a digestão, a clarificação, a precipitação, e a calcinação. O resíduo de bauxita é gerado justamente durante a segunda etapa do processo (Clarificação), onde ocorre a separação entre as fases sólida (Resíduo de Bauxita) e líquida (licor rico contendo aluminato de sódio). Primeiramente, a solução passa por peneiras para remover grandes partículas sólidas. Em seguida, é filtrada através de filtros de pressão para remover as partículas sólidas menores. Após a clarificação, a solução torna-se mais clara. De acordo com o IAI (2022) a taxa de geração de resíduo de bauxita é tão alta quanto cerca de 1,0–1,5 toneladas durante a produção de 1 tonelada de alumina.

O resíduo é um material composto principalmente por óxidos de ferro, titânio, alumínio e sílica, além de outros elementos traços, como cálcio, sódio, potássio e magnésio (IAI, 2022). Sendo um material altamente alcalino, com pH superior a 11, e que geralmente possui uma consistência lama grossa e vermelha. Por apresentar alta alcalinidade e um elevado teor de metais pesados, a geração desse resíduo acaba se tornando uma preocupação ambiental significativa, pois pode ser prejudicial à saúde humana e à fauna e flora local, se liberados no meio ambiente. Além disso, a disposição inadequada do resíduo de bauxita pode resultar em impactos negativos na qualidade do ar e da água.

Para lidar com esses desafios ambientais, estudos voltados para o aproveitamento dos resíduos têm sido amplamente desenvolvidos. Do ponto de vista de IAI (2022), muitas oportunidades foram identificadas e foram ou estão sendo desenvolvidas. Uma delas é a recuperação de ferro, titânio, alumina residual e outros minerais. O uso de resíduos de bauxita como matéria-prima para Portland e outros tipos de cimento e concreto tem sido também um dos maiores usos atuais e pode fornecer um mercado para grandes volumes de resíduos.



Outra aplicação do resíduo é em misturas asfálticas, no entanto segundo Lima (2020), ainda é uma prática relativamente nova e pode exigir mais pesquisas e testes para determinar os efeitos a longo prazo na qualidade do asfalto e no meio ambiente. Além disso, a quantidade de resíduo de bauxita que pode ser adicionado ao asfalto depende das características do resíduo e das especificações do projeto, o que requer uma avaliação cuidadosa para garantir que o asfalto final atenda aos requisitos de desempenho e segurança.

Misturas asfálticas

Segundo Bernucci (2022), em pavimentos asfálticos o revestimento é formado por uma mistura composta basicamente por agregados, material de enchimento (filer) e ligante asfáltico. Sua função consiste em melhorar as condições de rolamento, garantindo o conforto e a segurança dos usuários, além de impermeabilizar o pavimento, uma vez que, corresponde a camada que recebe diretamente a ação do tráfego.

Ainda conforme Bernucci (2022), os requisitos técnicos e que garantem a qualidade do pavimento asfáltico conseguem ser atendidos quando é realizado um projeto apropriado da estrutura do pavimento, além de um projeto de dosagem da mistura asfáltica que apresente compatibilidade com as demais camadas (como, base e sub-base). Quanto às misturas que compõem o pavimento, determinada a proporção dos materiais e sendo processada de modo adequado, é então garantido ao pavimento os requisitos sobre impermeabilidade, flexibilidade, estabilidade, durabilidade, resistência à derrapagem, à fadiga e ao trincamento térmico em conformidade com o clima e o tráfego mensurado para a localidade.

As misturas asfálticas são classificadas, principalmente, segundo a temperatura a qual são usinadas, designando os seguintes tipos: misturas asfálticas a quente, misturas asfálticas mornas, misturas asfálticas semi mornas e misturas asfálticas à frio. No que diz respeito ao processo de fabricação da mistura, ou seja, a junção dos materiais constituintes, quando utilizado filer, esse é retido pelo ligante asfáltico, formando uma mistura chamada por diversos autores de mástique, que possibilita a aglomeração dos agregados empregados. Logo, a adesividade da mistura é condicionada pelas possíveis deformações que ocorrem no ligante e no mástique asfáltico (QIN *et al.*, 2018).

OBJETIVOS

Realizar um levantamento, por meio de uma revisão da literatura, acerca dos estudos científicos que incorporaram o resíduo de bauxita na produção de misturas asfálticas.

METODOLOGIA

Para avaliar as possíveis aplicações da utilização do resíduo de bauxita na pavimentação como matéria-prima para a produção de misturas asfálticas foram consultados artigos e periódicos acadêmicos disponíveis nas seguintes bases de dados: Google Acadêmico, *Scopus* e *Scielo*. Palavras chave utilizadas na busca foram: “resíduo de bauxita”, “misturas asfálticas”, “*bauxite residue*”, “*asphalt mixtures*” e “*asphalt mastic*”. Para o desenvolvimento da pesquisa foram seguidas as etapas expostas no fluxograma, presente na Figura 1:

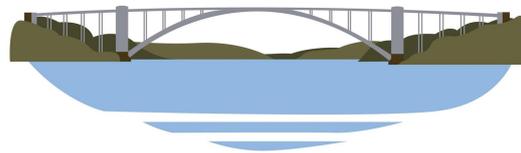
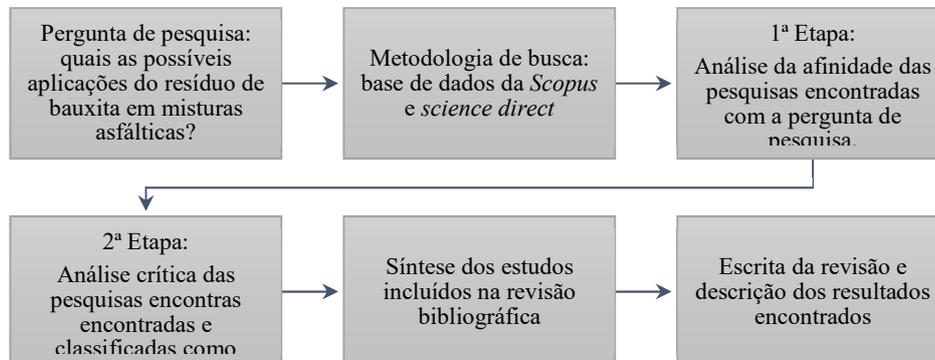


Figura 1 - Fluxograma referente ao procedimento abordado para construção da revisão sistemática. Fonte: Dados da pesquisa (2023)



Para a seleção das pesquisas que comporiam esta revisão foram considerados critérios de inclusão e exclusão, os quais são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 - Critérios de Inclusão e Exclusão. Fonte: Autores (2023).

Critérios de inclusão dos trabalhos analisados	Trabalhos publicados a partir de 2018; Empregar o resíduo de bauxita na produção de misturas asfálticas.
Critérios de exclusão dos trabalhos analisados	Pesquisas desenvolvidas anteriormente a 2018; Pesquisas que avaliam o desempenho da mistura asfáltica com outros resíduos. Artigos de revisão.

Em sequência foi escolhido as pesquisas que iriam compor efetivamente a estrutura da pesquisa. Para isso foram lidos na íntegra todos os materiais selecionados pela triagem, sendo incluídos aqueles que correlatos com pergunta da pesquisa. Na base de dados da *Scopus* foram encontrados 18 trabalhos, destes, 13 foram analisados e classificados como correlatos a pergunta da pesquisa. Por fim, 4 foram incluídos na revisão. Já na *Science Direct* foram encontrados 19 trabalhos, no qual apenas 2 atendiam aos critérios de inclusão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Visando contribuir com os estudos acerca da utilização do resíduo de bauxita na produção de misturas asfálticas, serão abordados neste item os resultados experimentais apresentados por outros autores quanto às propriedades reológicas do ligante e mecânicas das misturas asfálticas com resíduo de bauxita por eles produzidas.

Na Tabela 1 são apresentados os estudos incluídos nessa pesquisa após análise minuciosa dos trabalhos encontrados nas bases de dados utilizadas e os principais aspectos relatados pelos autores quanto aos resultados obtidos em suas pesquisas.



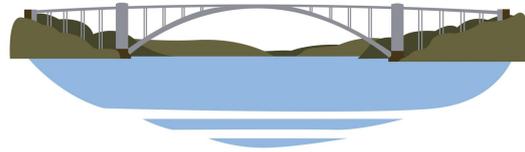
Tabela 1 - Fontes dos artigos incluídos na revisão, títulos dos artigos e resultados relevantes. Fonte: Dados da pesquisa (2023).

Referência	Título	Resultados relevantes
(Choudharya, Kumar e Rahman, 2019)	Rheological and mechanical properties of bauxite residue as hot mix asphalt filler.	O resíduo de bauxita apresentou bom potencial de utilização como filer em misturas e mástiques asfálticos.
(Choudharya, Kumar e Gupta, 2019)	Performance evaluation of bauxite residue modified asphalt concrete mixes.	O resíduo de bauxita pode ser usado como filer em misturas de concreto asfáltico.
Zhang <i>et al.</i> (2020)	Utilization of red mud as an alternative mineral filler in asphalt mastics to replace natural limestone powder.	O uso do resíduo de bauxita apresentou melhor desempenho quando associado a um agente modificador.
(Lima & Thieves, 2020)	Evaluation of red mud as filler in Brazilian dense graded asphalt mixtures.	As misturas com resíduo de bauxita apresentaram maior resistência à deformação permanente e ao dano por umidade induzida quando comparadas à mistura referência (sem resíduo).
(Zhang et al. 2021)	Adhesive behavior and pavement performance of asphalt mixtures incorporating red mud as a filler substitute.	O resíduo pode melhorar a rigidez e a recuperação elástica dos mástiques asfálticos. Quanto às misturas asfálticas observou-se melhora da resistência à desagregação em condições secas e efeito negativo na resistência à umidade.
Xiao <i>et al.</i> (2023)	Preparation and characterization of organic red mud and its application in asphalt modification.	A mistura com resíduo de bauxita modificado com ácido oxálico e agente de acoplamento em misturas asfáltica apresentaram desempenhos significativos no comportamento envelhecido dos pavimentos.

No estudo científico desenvolvido por Choudharya, Kumar e Rahman (2019), o resíduo de bauxita foi utilizado como filer na fabricação e avaliação de mástiques asfálticos e em misturas asfálticas a quente. Nesse estudo, dosagens mais altas de resíduo de bauxita alcançaram baixa influência sobre a mistura com o teor ideal de ligante, o que possibilita uma maior utilização do material residual. As misturas asfálticas a quente usando o resíduo de bauxita como filer alcançaram maior densidade, maior resistência à tração indireta, além de maior durabilidade. Assim, tanto nas misturas asfálticas a quente, quanto nas propriedades reológicas dos mástiques, foi verificado uma influência positiva nas propriedades mecânicas e volumétricas com o emprego do resíduo de bauxita como filer.

Choudharya, Kumar e Rahman, (2019) utilizaram o resíduo de bauxita como substituição ao filer de pó de pedra em mistura de concreto asfáltico. Os autores relataram que apesar das misturas com o resíduo apresentarem um teor de asfalto ideal mais alto do que o utilizado em misturas convencionais, elas apresentaram maior desempenho mecânico, a exemplo de resistência à desagregação e a rachaduras. Além disso, foi constatado que mesmo que as misturas de resíduo tenham obtido uma resistência menor em relação a sua adesão/coesão e ao envelhecimento do pavimento, a longo prazo, quando comparado a mistura sem utilização de resíduo, esse material pode ser usado como filer em misturas de concreto asfáltico.

Zhang *et al.* (2020), estudam o comportamento da substituição do resíduo da bauxita como substituto do pó de calcário natural utilizado como filer em misturas asfálticas, e ainda modificam o ligante com resíduo de bauxita empregando cal hidratada e lama branca. Os resultados mostraram que a substituição do pó por resíduo de bauxita proporcionou redução do ponto de amolecimento, redução na penetração e na ductilidade do ligante asfáltico. O resíduo ainda proporcionou um aumento de até quatro vezes na viscosidade se comparado com os resultados do pó de calcário



natural. Resultados negativos foram verificados com relação ao comportamento da resistência à fissuração, a qual apresentou mais de 50 % de redução em termos de alongamento. A substituição do pó de calcário por resíduo de bauxita reduziu significativamente a resistência de ligação da interface agregado-mástique após o condicionamento à umidade, situação que pode ser revertida com a incorporação de lama branca no mástique asfáltico. Por fim, o uso do resíduo aumentou o módulo complexo, diminuiu o ângulo de fase da mistura e teve efeito prejudicial na resistência à fadiga da mistura. Sendo assim, pode-se concluir que o uso do resíduo de bauxita em ligantes asfálticos torna-se viável desde que se adicione outro material como agente modificador, como por exemplo, a lama branca analisada no estudo.

Em seu estudo, Lima e Thieves (2020) investigaram a utilização de resíduo de bauxita como filer, testando três porcentagem: 3%, 5% e 7%. Considerando uma adição de 7% de material de enchimento em todas as misturas, foram sendo realizadas variações com pó de pedra, além de uma mistura referência sem resíduo. As misturas produzidas foram sujeitas a ensaios mecânicos que incluíram dano por umidade induzida e deformação permanente. Quanto a esse primeiro, os testes mostraram que as misturas de resíduo de bauxita apresentaram melhor comportamento, uma vez que, o resíduo proporcionou uma maior resistência à tração por compressão diametral quando comparadas à mistura referência. O mesmo comportamento foi obtido para a deformação permanente, sendo a mistura com 5% de resíduo de bauxita e 2% de pó de pedra a que apresentou maior redução da profundidade de sulco, ou seja, maior resistência à deformação permanente. Com isso, os autores concluíram que o resíduo de bauxita pode ser utilizado como filer em misturas asfálticas, constituindo-se como uma alternativa sustentável para reinserir esse material na cadeia produtiva.

Zhang *et al.* (2021) analisaram o uso do resíduo como substituição ao filer em mástique asfáltico e mistura asfáltica. A substituição do filer de calcário pelo resíduo de bauxita reduziu a deformação e apresentou aumento na recuperação elástica dos mástiques asfálticos, o que indica que o resíduo pode proporcionar melhorias na rigidez e na recuperação elástica desses materiais. Nas misturas asfálticas, essa substituição melhorou a resistência à desagregação das misturas asfálticas em condições secas, no entanto, apresentou resultados negativos quanto à resistência à umidade.

Outro estudo verificando o desempenho do resíduo em ligantes asfálticos foi realizado por Xiao *et al.* (2023). Nesse estudo, os autores analisaram o desempenho da mistura entre um ligante com grau 60/80, junto com o resíduo de bauxita preparada com ácido oxálico e agente de acoplamento. O tratamento do resíduo com o ácido e o agente de acoplamento resultou em uma maior superfície aglomerante, melhorando a compatibilidade entre o resíduo e o asfalto. O resíduo também aumentou a viscosidade e apresentou um aumento significativo de RTFO, sendo apresentado como um agente antienvelhecimento promissor para o asfalto.

De maneira geral, pode-se constatar que os trabalhos analisados apresentaram resultados favoráveis a utilização do resíduo de bauxita na produção de misturas asfálticas. Dentre eles, Zhang *et al.* (2020) e Xiao *et al.* (2023) destacam a necessidade da adição de componentes para viabilizar o uso desse material na cadeia produtiva do revestimento dos pavimentos asfálticos. Quanto a isso, é importante salientar que a composição do resíduo de bauxita varia de acordo com o tipo de minério que o originou e do processo pelo qual foi produzido, tais características influenciam no comportamento que o mástique e a mistura apresentarão.

Além disso, evidenciou-se a falta de análise quanto à viabilidade ambiental - a respeito da possível percolação de alcalinidade da mistura proveniente do processo de lixiviação do resíduo - e econômica acerca da utilização do resíduo de bauxita na pavimentação nos estudos encontrados.

CONCLUSÃO

Pode-se concluir que diferentes estudos vêm sendo realizados para análise da avaliação da aplicação do resíduo de bauxita como matéria prima na produção de misturas asfálticas. A maioria dos trabalhos analisados mostraram resultados promissores quanto a utilização do resíduo para este fim, tanto em mástiques modificando o ligante, quanto na própria mistura asfáltica. Configurando um cenário de surgimento de alternativas para destinação ambientalmente adequada dos resíduos, além de possível diminuição da utilização de materiais virgens na pavimentação.

Por outro lado, vale salientar que a quantidade de resíduo de bauxita que pode ser adicionado depende das propriedades da mistura especificada no projeto. Conforme os resultados apresentados nessa revisão a incorporação do resíduo de bauxita em misturas asfálticas é uma alternativa viável e que possibilita a redução dos impactos ambientais associados ao armazenamento desse material. Esse estudo mostrou que uma revisão bibliográfica contribui para atualização do conhecimento científico em relação à questão de pesquisa, podendo ainda ser usado no direcionamento da execução de novas pesquisas e experimentos.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BASTOS, L. A. de C. et al. Using iron ore tailings from tailing dams as road material. **Journal of Materials in Civil Engineering**, [s. l.], v. 28, n. 10, p. 1–9, 2016. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001613](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001613)
2. BERNUCCI, L. B. et al. **Pavimentação asfáltica: Formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2ª edição, 2022.
3. CHOUDHARY, Jayvant; KUMAR, Brind; GUPTA, Ankit. Performance evaluation of bauxite residue modified asphalt concrete mixes. **European Journal Of Environmental And Civil Engineering**, v. 26, n. 3, p. 978-994, 2019. Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/19648189.2019.1691662>.
4. CHOUDHARY, Rajan; KUMAR, Abhinay; RAHMAN, Ghazali. Rheological and mechanical properties of bauxite residue as hot mix asphalt filler. **International Journal Of Pavement Research And Technology**, v. 12, n. 6, p. 623-631, 2019. <http://dx.doi.org/10.1007/s42947-019-0074-4>.
5. CONAMA. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 313, de 29 de outubro de 2002**. Dispõe sobre o Inventário Nacional de Resíduos Sólidos Industriais. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, 2002.
6. ARAÚJO, P. F. M, SILVA, P. M. P., DO CARMO, A. L. V., GOMES, F. G., DOS SANTOS, A. M., DA COSTA, R. V., & MONTINI, M. Bayer process towards the circular economy—Metal recovery from bauxite residue. **Light Metals 2020**. Springer International Publishing, 2020. p. 98-106. https://dx.doi.org/10.1007/978-3-031-22532-1_31.
7. HABASHI, F. A short history of hydrometallurgy. **Hydrometallurgy**, v. 79, p. 15-22, 2005.
8. HAIJAJA, W., ANDREJKOVIČOVÁ, S., ZANELLI, C., ALSHAAER, M., DONDI, M., LABRINCHA, J. A., & ROCHA, F. Composition and technological properties of geopolymers based on metakaolin and red mud. **Materials & Design (1980-2015)**, v. 52, p. 648-654, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.058>.
9. HOLANDA, R. B., SILVA, P. M. P., DO CARMO, A. L. V., CARDOSO, A. F., DA COSTA, R. V., DE MELO, C. C. A., & MONTINI, M. Bayer process towards the circular economy—Soil conditioners from bauxite residue. **Light Metals 2020**. Cham: Springer International Publishing, 2020. p. 107-114. https://doi.org/10.1007/978-3-030-36408-3_15.
10. IAI, International Aluminium Institute. **Sustainable Bauxite Residue Management Guidance**. 2022. Disponível em: <<https://international-aluminium.org/resources/bauxite-use/>>. Acessado em 10 de mar. de 2023.
11. LIMA, Mayara S.s.; THIVES, Liseane Padilha. Evaluation of red mud as filler in Brazilian dense graded asphalt mixtures. **Construction and Building Materials**, [S.L.], v. 260, p. 1-9, nov. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119894>.
12. QIN, X., SHEN, A., GUO, Y., LI, Z., & LV, Z. Characterization of asphalt mastics reinforced with basalt fibers. **Construction and Building Materials**, v. 159, p. 508-516, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.11.012>
13. XIAO, J., ZHANG, J., ZHANG, H., BI, Y., YUE, H., & XU, R. Preparation and characterization of organic red mud and its application in asphalt modification. **Construction and Building Materials**, v. 367, p. 1-11, fev. 2023. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.130269>.
14. ZHANG, J., LI, P., LIANG, M., JIANG, H., YAO, Z., ZHANG, X., & YU, S. Utilization of red mud as an alternative mineral filler in asphalt mastics to replace natural limestone powder. **Construction and Building Materials**, v. 237, p. 1-11, mar. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117821>.
15. ZHANG, Jizhe; LI, Peizhao; WANG, Kai; MA, Chuanyi; LIANG, Ming; JIANG, Hongguang; YAO, Kai; SU, Chunhua; YAO, Zhanyong. Adhesive behavior and pavement performance of asphalt mixtures incorporating red mud as a filler substitute. **Construction and Building Materials**, v. 298, p. 123855, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123855>.