



---

ISSN Eletrônico: **2525-5908**

[revista.farol.edu.br](http://revista.farol.edu.br)

ISSN Impresso: **1807-9660**

Vol. 16, Nº 16. 2022 - Julho

**Contato:** [revista@farol.edu.br](mailto:revista@farol.edu.br)

**A UTILIZAÇÃO DO REJEITO DE MINÉRIO DE CHUMBO E ZINCO COMO  
SUBSTITUTO DO AGREGADO MIÚDO, TESTE DE RESISTÊNCIA À  
COMPRESSÃO E INFLUÊNCIA NA CORROSÃO**

Ricardo Holando dos Santos

Cláudio Gomes da Silva

Camila Sturm Souza

## A UTILIZAÇÃO DO REJEITO DE MINÉRIO DE CHUMBO E ZINCO COMO SUBSTITUTO DO AGREGADO MIÚDO, TESTE DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO E INFLUÊNCIA NA CORROSÃO

Ricardo Holando dos Santos<sup>1</sup>

Cláudio Gomes da Silva<sup>2</sup>

Camila Sturm Souza<sup>3</sup>

**Resumo:** A atividade de mineração que movimentava bilhões de reais e gera milhares de empregos no Brasil chega a Nova Brasilândia D'Oeste, onde é instalada uma usina de beneficiamento de minério de chumbo e zinco. Apesar das vantagens econômicas, se faz necessária uma reflexão sobre o impacto ambiental gerado pela exploração dos recursos minerais. Diante disso, mineradoras necessitam em seu planejamento, incorporar alternativas seguras e econômicas para a disposição de rejeitos. A produção do rejeito de minério e algo que acompanha a atividade mineradora, sendo assim, formas conscientes para a disposição dos rejeitos e o seu aproveitamento devem ser avaliadas a fim de mitigar possíveis danos ambientais. Uma possível alternativa é a utilização do rejeito na confecção de concreto. A proposta da utilização de rejeito de minério na construção civil possibilita uma saída útil para o rejeito, dessa forma, foi elaborado corpos de prova onde o rejeito de minério substituiu o agregado miúdo, e mensurado sua resistência a compressão e corrosão.

**Palavras-chave:** Mineração. Rejeito. Construção civil.

## THE USE OF LEAD AND ZINC ORE WASTE AS A SUBSTITUTE FOR THE KID'S AGGREGATE, COMPRESSION RESISTANCE TEST AND INFLUENCE ON CORROSION

**Abstract:** The mining activity, which moves billions of reais and generates thousands of jobs in Brazil, reaches Nova Brasilândia D'Oeste, where a lead and zinc ore processing plant is installed. Despite the economic advantages, it is necessary to reflect on the environmental impact generated by the exploitation of mineral resources. Therefore, mining companies need to incorporate safe and economical alternatives for the disposal of tailings in their planning. The production of ore tailings and something that accompanies mining activity, therefore, conscious ways to dispose of tailings and their utilization must be evaluated in order to mitigate possible environmental damage. A possible alternative is the use of tailings in making a concrete. The proposal for the use of ore tailings in civil construction provides a useful outlet for the tailings, thus, specimens were prepared where the ore tailings replaced the fine aggregate, and their resistance to compression and corrosion was measured.

**Keywords:** Mining. Tailings. Construction.

### 1 INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade de extração e beneficiamento de minério presentes no subsolo, é um setor que movimentava bilhões de reais ao ano e emprega milhares de colaboradores. Juntamente com a atividade de mineração, está a geração de quantidade significativa de rejeitos. Sendo assim, mineradoras necessitam em um planejamento futuro,

<sup>1</sup> Graduado em Engenharia Civil pela Faculdade FAROL. E-mail: ricardoholando@gmail.com

<sup>2</sup> Graduado em Engenharia Civil, Especialista. E-mail: claudio.silva@farol.edu.br

<sup>3</sup> Graduada em Engenharia Civil pela Faculdade FAROL. E-mail: camila.souza@farol.edu.br

buscar alternativas, qual finalidade e destinação dos rejeitos extraídos do beneficiamento do minério, de forma econômica e segura.

Com o início da extração e beneficiamento de minério de chumbo e zinco no município de Nova Brasilândia D'Oeste-RO, conseqüentemente teremos a geração de rejeito desse minério, que por sua vez, será disposto em um local específico, em uma superfície revestida por um material especial para não entrar em contato diretamente com o solo.

Em longo prazo, o acúmulo desse material é evidente, logo, necessitando assim de uma área maior ou a preparação de outro local para a disposição do rejeito. Como alternativa a essas opções convencionais, temos o uso do rejeito na construção civil, visto que este é um material procedente da extração de minério não tem utilidade, buscando assim, um equilíbrio entre a atividade exploradora e o meio ambiente.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Atividade de mineração

O Brasil é um país de dimensões continentais e detém uma grande diversidade geológica, que propicia a existência de jazidas variadas e em abundância. A indústria mineral se destaca por contribuir decisivamente para gerar superávits à balança comercial brasileira. O Brasil exportou em 2018 um volume de mais de 409 milhões de toneladas de bens minerais, e gerou divisas de US\$ FOB 29,9 bilhões. Este valor representou 12,5% das exportações totais do Brasil, e 36,6% do saldo comercial. (IBRAM, 2018).

Atualmente existem 8.400 minas em atividades no país, tendo 1.233 delas uma produção que pode chegar a 1 milhão de toneladas de minério ao ano (DNPM, 2015). O número de empresas mineradoras era de 8.870 em 2013, sendo mais de 5 mil delas localizadas nas regiões Sul e Sudeste (DNPM, 2015). A indústria extrativa mineral também tem participação fundamental no Produto Interno Bruto (PIB) e representa 1,4% de todo o PIB Brasil, segundo o IBGE, empregando cerca de 195 mil trabalhadores diretamente. A pauta dos bens minerais exportados pelo Brasil no ano de 2018 atingiu um volume de 409 milhões de toneladas e representou, em dólares, US\$ 29,9 bilhões. (IBRAM, 2018).

A mineração tem sido evidenciada pela mídia devido a recentes acontecimentos nas quais vitimaram centenas de pessoas com o rompimento das barragens de Brumadinho e

Mariana, ambas no estado de Minas Gerais. Uma atividade com desempenho extraordinário na economia revela um contraste nada favorável em relação à parte ambiental.

## 2.2 Rejeito de minério

O impacto ambiental gerado pela exploração dos recursos minerais tem conseqüente geração de resíduos sólidos, como o rejeito de minério de ferro. Isso tem motivado reflexões a respeito da sustentabilidade para solucionar o gerenciamento oneroso e complexo desses resíduos. Uma das soluções cabíveis se dá por meio da aplicação de novas tecnologias de materiais, como o seu reaproveitamento como agregado para a construção (FRANCO *et al.*, 2014).

De acordo com Araújo (2006), inerente à atividade de mineração, está à geração de significativa quantidade de rejeitos. Desta forma, as mineradoras necessitam, em seu planejamento de longo prazo, incorporar em seu plano diretor alternativas de disposição de rejeitos de forma mais segura e econômica. Barragens de rejeito, por sua vez, são estruturas geotécnicas que devem permanecer estáveis por períodos de tempo muito longos, normalmente maiores que a própria vida útil da mina.

A disposição de rejeitos em reservatórios criados por diques de contenção ou barragens é o método mais comumente usado. Estas barragens ou diques podem ser de solo natural ou ser construídos com os próprios rejeitos, sendo classificados, neste caso, como barragens de contenção alteadas com rejeitos e as de solo natural como barragens convencionais. Muitos rejeitos são transportados para a área de disposição com um alto teor de água (10% a 25% de sólidos). (IBRAM, p.16, 2016).

No processo de beneficiamento do minério ocorre a produção do rejeito, que é lavado e armazenado em barragens. Essas barragens ocupam grandes áreas onde se tornam um local destinado apenas para tal armazenamento.

Segundo a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. p.2) apenas pode ser definido como rejeito:

[...] resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada.

A produção do rejeito de minério e algo que acompanha a atividade mineradora, sendo assim, formas conscientes para a disposição dos rejeitos e o seu aproveitamento na construção civil devem ser avaliadas a fim de mitigar possíveis danos ambientais.

### **2.3 Barragens de rejeito**

A NBR 13028 (2017) conceitua as barragens de mineração como “barragens, barramentos, diques, reservatórios, cavas exauridas com barramentos construídos, associados às atividades desenvolvidas com base em direito minerário, utilizados para fins de contenção, acumulação ou decantação de rejeito e mineração, com ou sem captação de água associada, compreendendo a estrutura do barramento e suas estruturas associadas”.

Entre os métodos de disposição de rejeitos, as barragens de contenção ainda são as mais utilizadas. A escolha de um método ou outro para a disposição de rejeitos depende do processo de mineração, condições geológicas e topográficas da região a ser explorada.

As barragens de contenção de rejeitos são estruturas construídas ao longo do tempo visando à diluição dos custos no processo de extração mineral, por meio de alteamentos sucessivos. Assim, um dique de partida é construído inicialmente e a barragem passa por alteamentos ao longo de sua vida útil, podendo ser construídas com material compactado proveniente de áreas de empréstimo, ou com o próprio rejeito, através de três métodos: “montante, jusante ou linha de centro” (IBRAM, p.18, 2016).

O método de montante é o mais antigo, simples e econômico método de construção de barragens. A etapa inicial na execução deste tipo de barragem consiste na construção de um dique de partida, normalmente de material argiloso ou enrocamento compactado. Após realizada esta etapa, o rejeito é lançado por canhões em direção a montante da linha de simetria do dique, formando assim a praia de deposição, que se tornará a fundação e eventualmente fornecerá material de construção para o próximo alteamento. Este processo continua sucessivamente até que a cota final prevista em projeto seja atingida (ARAÚJO, 2006).

As vantagens envolvidas no processo de alteamento para jusante consistem no controle do lançamento e da compactação, de acordo com técnicas convencionais de construção. Nenhuma parte ou alteamento da barragem é construída sobre o rejeito previamente depositado, além disso, os sistemas de drenagem interna podem ser instalados

durante a construção da barragem e prolongados durante seu alteamento, permitindo o controle da linha de saturação na estrutura da barragem e aumentando sua estabilidade. A barragem também pode ser projetada e construída apresentando a resistência necessária ou requerida, inclusive resistir a qualquer tipo de forças sísmicas, desde que projetadas para tal, já que há a possibilidade de atendimento integral das especificações de projeto.

Pelo método de alteamento de linha de centro, as barragens apresentam uma disposição intermediária entre o método montante e a jusante, apresentando as vantagens dos métodos citados anteriormente, e de certa forma, tentando mitigar as desvantagens desses métodos.

Segundo Assis & Espósito (1995), o comportamento geotécnico do método de linha de centro se assemelha mais a barragens alteadas para jusante, constituindo uma variação deste método, onde o alteamento da crista é realizado de forma vertical, sendo o eixo vertical dos alteamentos coincidente com o eixo do dique de partida. Neste método, torna-se possível a utilização de zonas de drenagem internas em todas as fases de alteamento, o que possibilita o controle da linha de saturação e promove uma dissipação de poropressões, tornando o método apropriado para utilização inclusive em áreas de alta sismicidade.

Para Araújo (2006), a escolha de um ou outro método de execução irá depender de uma série de fatores, tais como: tipo de processo industrial, características geotécnicas e nível de produção de rejeitos, necessidade de reservar água, necessidade de controle de água percolada, sismicidade, topografia, hidrologia, hidrogeologia e custos envolvidos. Porém, como as barragens alteadas pelo método de montante têm se mostrado de maior facilidade de execução e mais economicamente viáveis, essas têm sido as preferencialmente adotadas pelas empresas mineradoras.

No método de empilhamento drenado, em vez de utilizar uma estrutura impermeável de barramento, adota-se uma estrutura drenante, que não retém a água livre que sai dos poros dos rejeitos. O empilhamento drenado libera esta água por meio de um sistema de drenagem interna, de grande capacidade de vazão, ligada aos rejeitos do reservatório.

## 2.4 Agregados

Para Bauer (2014), agregado é o material particulado, incoesivo, de atividade química praticamente nula, constituído de misturas de partículas cobrindo extensa gama de tamanhos.

O termo “agregado” é de uso generalizado na tecnologia do concreto; nos outros ramos da construção é conhecido, conforme cada caso, pelo nome específico: fíler, pedra britada, bica-corrida, rachão etc.

Os agregados classificam-se segundo a origem, as dimensões das partículas e o peso específico aparente. Os agregados naturais são os que já se encontram na natureza na sua forma de uso final, areia e cascalho. Agregados industrializados são os que passam por processos industriais para chegar às condições de uso. Sua matéria-prima pode ser escória de alto-forno e argila.

A NBR 7211-2015 diz que, os agregados devem ser compostos por grãos de minerais duros, compactos, estáveis, duráveis e limpos, e não devem conter substâncias de natureza e em quantidade que possam afetar a hidratação e o endurecimento do cimento, a proteção da armadura contra a corrosão, a durabilidade ou, quando for requerido, o aspecto visual externo do concreto.

A NBR 7211-2015 define agregado miúdo como sendo grãos passante pela peneira com abertura de malha de 4,75mm e ficam retidos na peneira com abertura de malha de 150µm, em ensaio realizado de acordo com a ABNT NBR NM 248, com peneiras definidas pela ABNT NBR NM ISO 3310-1.

A resistência à compressão do concreto pode alterar de um agregado para outro em função de sua granulometria. Agregados com elevado teor de finos tendem a causar um maior índice de vazios no concreto. Quanto à durabilidade, o agregado deve ser inerte para garantir que o concreto não reaja com agentes externos e nem com o aço das armaduras, proporcionando assim longa vida útil. A trabalhabilidade do concreto, além do fator A/C, depende do formato característico dos grãos do agregado. A forma dos grãos é a característica que mais afeta a trabalhabilidade de um concreto se mantidas inalteradas as demais variáveis do traço (BAUER, 1995).

O propósito do experimento foi de elaborar um concreto substituindo o agregado miúdo por rejeito de minério em pó, a fim de se obter resultados para serem comparados com o concreto convencional.

## 2.5 Resistência à compressão

O controle de qualidade do concreto requer a realização de uma série de ensaios para comprovar que o material entregue na obra está de acordo com parâmetros de aceitação. O ensaio de resistência do concreto é imprescindível para garantir a resistência à compressão e, por consequência, a qualidade da estrutura.

O ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos mede a resistência adquirida pelo concreto após determinado período, permitindo que se controle a resistência do concreto. No Brasil este ensaio é regulamentado pela NBR 5739 (1994) – ENSAIO DE COMPRESSÃO DE CORPOS-DE-PROVA CILÍNDRICOS.

O ensaio de compressão é utilizado para determinar as propriedades de Resistência à Compressão, Módulo de Elasticidade, Tensão de Escoamento, Deformação sob Compressão, etc. São muitos utilizados para obtenção de dados para pesquisa e desenvolvimento, controle de qualidade e especificações.

Para Picchi (1993), os fundamentos da qualidade das obras de engenharia residem na formalização de uma política de gestão capaz de minimizar seus fatores interferentes devendo o controle e a garantia de sua qualidade se estender pelos diversos estágios da linha de produção.

Helene e Terzian (1993) afirmam que o ensaio a compressão pode assumir distintas missões na busca pela qualidade das obras em concreto, podendo ser aplicado durante a fase de sua produção, ou ainda nos processos relativos à sua aceitação para a finalidade a que se destina.

Quando uma estrutura em concreto é dimensionada, uma expectativa de qualidade é expressa pelo valor imposto para a sua resistência característica de projeto, e que a produção de seu material atenda as especificações propostas pelo engenheiro projetista. Com as ações do controle tecnológico é possível orientar a sua fabricação para garantir que as interferências das fases produtivas não prejudiquem a qualidade final de seu produto.

Nessa etapa, iremos comparar os resultados do concreto convencional com o concreto elaborado com rejeito de minério, avaliando se a resistência adquirida pelo corpo de prova moldado com concreto de rejeito de minério é similar, superior ou inferior ao concreto convencional.



## 2.6 Processo de corrosão da armadura

O processo de corrosão pode-se definir como sendo um processo resultante da interação de um material com o meio ambiente, acarretando reações de natureza química e físicas, fatores que comprometem o material em questão, ocasionando a diminuição da seção de aço.

De acordo com Mehta e Monteiro (1994), o processo de corrosão de armaduras é a transformação de aço metálico em ferrugem acompanhado por um aumento no volume de até 600% do volume original do metal. Esse aumento de volume é atribuído como principal causa da expansão e fissuração do concreto.

Segundo Cunha e Helene (2001), os produtos oriundos ou decorrentes da corrosão criam expansões nas armaduras, causando danos ao concreto.

A norma NBR 6118 de 2014 possui diversas considerações e prescrições com o objetivo de garantir durabilidade das estruturas de concreto armado. Tais considerações dizem respeito a critérios de projeto a serem adotados em função da classificação de agressividade do ambiente à estrutura, que visam proteger os elementos estruturais e garantir seu desempenho durante a vida útil de projeto.

Sendo assim, será realizado um comparativo entre a armadura utilizada no concreto convencional com a armadura utilizada no concreto de rejeito, verificar se houve perda de seção por corrosão em decorrência da utilização do rejeito na formulação do concreto.

## 3 METODOLOGIA

### 3.1 Pesquisa experimental

A pesquisa experimental se caracteriza por manipular diretamente variáveis relacionadas com o objeto de estudo e tem como finalidade testar hipóteses que dizem respeito à convicção de quem está pesquisando.

Para Gil (2007), a pesquisa experimental consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto.

A pesquisa experimental, pode ser desenvolvida em qualquer lugar, desde que apresente propriedades como a manipulação, o pesquisador precisa fazer alguma coisa para manipular pelo menos uma das características dos elementos estudados; o controle, onde o pesquisador precisa introduzir um ou mais controles na situação experimental, sobretudo criando um grupo de controle; e a distribuição aleatória, onde a designação dos elementos para participar dos grupos experimentais e de controle deve ser feita aleatoriamente.

O experimento consiste na elaboração de um concreto, onde o agregado miúdo é substituído pelo rejeito de minério de chumbo e zinco, a fim de identificar a resistência a compressão do concreto produzido com esse rejeito, e a influência na corrosão da armadura de um concreto confeccionado com rejeito.

Todas as etapas e os materiais necessários para a realização desse procedimento seguem especificações normativas, NBR 7211: Agregados para concreto, NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto, NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova, e NBR 5739: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.

#### **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O controle de qualidade do concreto requer a realização de uma série de ensaios para comprovar que o material entregue na obra está de acordo com parâmetros de aceitação.

A consistência do concreto está relacionada às características e proporções dos materiais empregados, permitindo correlacioná-lo com a mobilidade da massa, e coesão entre seus componentes. Para mensurar essa consistência, foi realizado o ensaio de abatimento de tronco de cone, onde o ensaio é orientado pela ABNT NBR NM 67, Concreto – determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone, no qual o resultado obtido foi de 70 mm, tendo uma trabalhabilidade ideal para a concretagem de vigas, pilares e lajes.

Propriedade do concreto diretamente ligada à segurança e à estabilidade estrutural, ensaios de resistência à compressão é capaz de indicar eventuais variações da qualidade de um concreto, seja com relação à dosagem, seja quanto a seus insumos.

Para a elaboração dos corpos de prova, utilizou-se como referência a NBR 5738, versão corrigida 2016, Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. A qual prescreve o procedimento para moldagem e cura de corpos de prova cilíndricos e prismáticos de concreto, e a NBR 5739 de 2018, Concreto – Ensaio de compressão de corpos

de prova cilíndricos, norma esta que especifica o método de ensaio para a determinação da resistência à compressão de corpos de prova cilíndricos de concreto moldados conforme a ABNT NBR 5738.

**Figura 1.** Preparo dos corpos de prova



Fonte: Próprio autor 2020.

Na confecção do concreto com rejeito de minério, buscou-se adquirir a resistência de 25 Mpa, utilizando o mesmo traço do concreto convencional tendo areia como agregado miúdo, traço 1:3,1:3,1 e fator água cimento de 0,65 litros. Entretanto, para ser possível a moldagem dos corpos de prova, foi necessário a adição da mesma proporção de água, 0,65 litros, proporção para 1 kg de cimento, sem a adição de água, não seria possível a confecção dos corpos de prova pelo fato do rejeito de minério absorver a água, deixando os materiais secos, sem a trabalhabilidade para a elaboração do concreto.

Vergalhões de 8 e 10 milímetros foram dispostas em dois recipientes, no primeiro recipiente, as barras foram colocadas juntamente com o rejeito de minério, e no segundo recipiente, foram colocadas juntamente com rejeito minério e água.

**Figura 2.** Vergalhões imersos no rejeito de minério



Fonte: Próprio autor (2020).

Os vergalhões serão retirados ao final do segundo semestre de 2020, a fim de se observar qualquer deformação em decorrência do processo corrosivo da ação do rejeito de minério em barras de aço.

Os rompimentos dos corpos de provas foram realizados no período de 7, 14, 21 e 28 dias, tendo como referência para o ensaio a NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos.

No rompimento realizado no sétimo dia, foram rompidos 3 corpos de prova no qual apresentaram os seguintes valores:

**Tabela 1.** Rompimento realizado no sétimo dia.

<b>Rompimento realizado no sétimo dia</b>		
	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Corpo de prova 1	5290	6,6
Corpo de prova 2	4990	6,22
Corpo de prova 3	4510	6,15

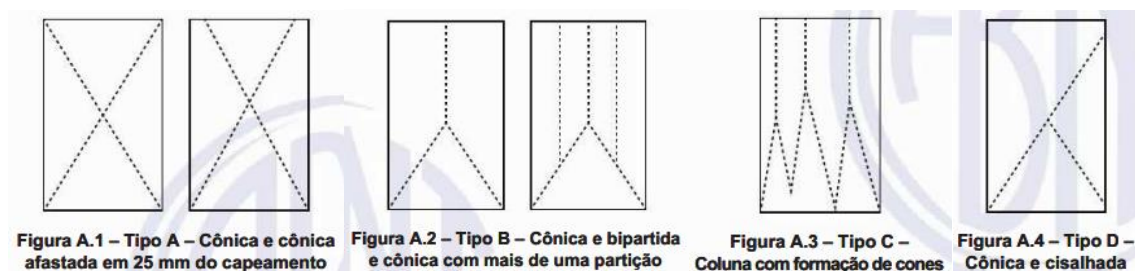
Fonte: Próprio autor (2020).

**Figura 3.** Valores apresentados pela prensa, em toneladas.



Fonte: Próprio autor (2020).

A NBR 5739 – Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos, traz possíveis tipos de ruptura nos corpos de prova.





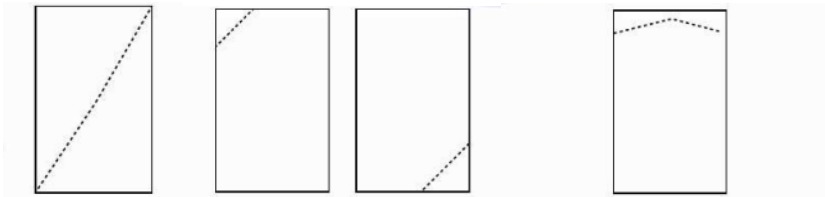


Figura A.5 – Tipo E – Cisalhada      Figura A.6 – Tipo F – Fraturas no Topo e/ou na base abaixo do capeamento      Figura A.7 – Tipo G – Similar ao tipo F – com fraturas próximas ao topo

Fonte: NBR 5739/2018.

Todos os corpos de prova rompidos no sétimo dia apresentaram o cisalhamento como o tipo de seu rompimento.

Figura 4. Corpos de prova rompidos aos 7 dias



Fonte: Próprio autor (2020).

No rompimento realizado no décimo quarto dia, foram rompidos 3 corpos de prova no qual apresentaram os seguintes valores:

Tabela 2. Rompimento realizado no décimo quarto dia.

Rompimento realizado no décimo quarto dia		
	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Corpo de prova 1	5150	6,42
Corpo de prova 2	6190	7,72
Corpo de prova 3	5310	6,62

Fonte: Próprio autor (2020).

**Figura 5.** Valores apresentados pela prensa, em toneladas.



Fonte: Próprio autor (2020).

Todos os corpos de prova rompidos no décimo quarto dia apresentaram o cisalhamento como o tipo de seu rompimento.

**Figura 6**



Fonte: Próprio autor (2020).

No rompimento realizado no vigésimo primeiro dia, novamente foram rompidos 3 corpos de prova no qual apresentaram os seguintes valores:

**Tabela 3.** Rompimento realizado no vigésimo primeiro dia.

<b>Rompimento realizado no vigésimo primeiro dia</b>		
	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Corpo de prova 1	5810	7,25
Corpo de prova 2	6240	7,78
Corpo de prova 3	5140	6,41

Fonte: Próprio autor (2020).

**Figura 7.** Valores apresentados pela prensa, em toneladas.



Fonte: Próprio autor (2020).

Novamente, Todos os corpos de prova rompidos no vigésimo primeiro dia apresentaram o cisalhamento como o tipo de seu rompimento.

**Figura 8.** Corpos de prova após o rompimento.



Fonte: Próprio autor (2020).

Após o período de 88 dias da ferragem imersa no rejeito de chumbo e zinco juntamente com água, é possível observar que a ferragem apresenta coloração relacionada ao início do processo corrosivo, porém, sem perda de seção. As barras imersas no rejeito de minério seco não apresentaram deformação alguma.

**Figura 9.** Ferragem imersa no rejeito de minério úmido e seco.



Fonte: Próprio autor (2020).



No rompimento realizado no vigésimo oitavo dia, foram rompidos 3 corpos de prova no qual apresentaram os seguintes valores:

**Tabela 4.** Rompimento realizado no vigésimo oitavo dia.

<b>Rompimento realizado no vigésimo oitavo dia</b>		
	kgf/cm <sup>2</sup>	MPa
Corpo de prova 1	5810	7,25
Corpo de prova 2	6240	7,78
Corpo de prova 3	5140	6,41

Fonte: Próprio autor (2020).

**Figura 10.** Valores apresentados pela prensa, em toneladas.



Fonte: Próprio autor (2020).

Novamente, Todos os corpos de prova rompidos no vigésimo primeiro dia apresentaram o cisalhamento como o tipo de seu rompimento.

**Figura 11.** Corpos de prova após o rompimento.



Fonte: Próprio autor (2020).

Observamos que todos os corpos de prova rompidos apresentaram a ruptura tipo cisalhamento, isso se dá pela fragilidade do corpo de prova e do material substituto do agregado miúdo na confecção do elemento.



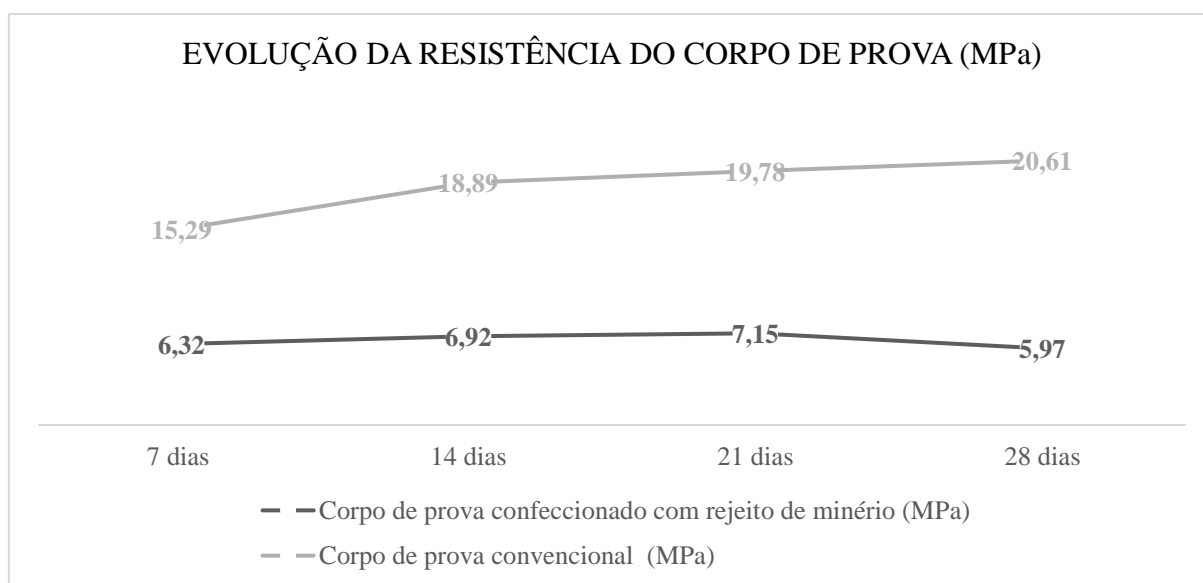
Comparando o corpo de prova elaborado com rejeito de minério com o corpo de prova convencional, constata-se a grande diferença de resistência. O concreto convencional ganha notório aumento em sua capacidade de resistência com o passar dos dias, porém, o concreto com rejeito de minério apresenta discreto crescimento, não adquirindo notória elevação em sua resistência.

**Tabela 4.** Resultados obtidos após o rompimento dos corpos de prova.

	7 dias	14 dias	21 dias	28 dias
Corpo de prova confeccionado com rejeito de minério (MPa)	6,32	6,92	7,15	5,97
Corpo de prova convencional (MPa)	15,29	18,89	19,78	20,61

Fonte: Próprio autor (2020).

**Gráfico 1:** Evolução da resistência do material (MPa).



Fonte: Próprio autor (2020).

Após o rompimento dos corpos de prova no vigésimo oitavo dia, constatou-se uma um declínio da resistência do concreto elaborado com rejeito de minério, diferentemente do concreto convencional, onde dia após dia adquire resistência.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após ensaios de rompimentos de corpos de prova efetuados conforme a NBR 5739/18, Concreto – Ensaio de corpos de prova cilíndricos, realizados no laboratório da FAROL,

Faculdade de Rolim de Moura, foi determinado a resistência a compressão axial dos corpos de provas moldados com rejeito de minério de chumbo e zinco como substituto do agregado miúdo e comparados com corpos de provas moldados com concreto convencional.

No ensaio de qualidade do agregado, o concreto contendo rejeito de minério apresentou menor resistência à compressão axial do que o concreto convencional, evidenciando seu fraco desempenho com relação as propriedades mecânicas.

Os corpos de prova com rejeito de minério foram rompidos com 7, 14, 21 e 28 dias de cura e obtidos os resultados de 6,32 MPa, 6,92 MPa, 7,15 MPa e 5,97 MPa, respectivamente. Para comparação, o concreto convencional atingiu no vigésimo oitavo dia uma resistência a compressão de 20,61 MPa, enquanto o concreto elaborado com rejeito apresentou a resistência de apenas 5,97 MPa, 28,97% da resistência do concreto convencional no mesmo período.

Os corpos de prova confeccionados com rejeito tiveram um aumento gradativo de sua resistência no período analisado, com exceção do vigésimo oitavo dia, onde foi identificada uma queda atípica em sua resistência, quando comparado aos resultados obtidos no vigésimo primeiro dia.

As barras de aço imersas no rejeito de minério seco durante o período de 88 dias, não apresentaram qualquer tipo de deformação durante o período observado, já as barras imersas no rejeito úmido não apresentaram perdas de sua seção, porém, visivelmente apresentam o início de processo corrosivo, corrosão superficial. É necessário um maior período de tempo para que o processo de corrosão possa iniciar, caso as condições estejam propícias para a mesma acontecer.

Vale destacar a importância do estudo químico da corrosibilidade do rejeito de minério, a fim de identificar patologias, possíveis contaminantes e o comportamento deste material quando moldado no concreto armado. Dessa forma, se faz necessário serem feitos estudos por um maior período, ficando como sugestão para trabalhos futuros.

A queda de resistência anormal no vigésimo oitavo dia do concreto moldado com rejeito de minério nos traz uma incógnita de como será o comportamento desse concreto com o decorrer do tempo, destarte, sua utilização na engenharia civil torna-se limitada a áreas de pisos externos onde não serão recebidas cargas de veículos, rebocos externos e blocos pré-moldados para calçamentos externos.

## REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. B. **CONTRIBUIÇÃO AO ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BARRAGENS DE REJEITO DE MINERAÇÃO DE FERRO**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: 2006.

ASSIS, A.; ESPÓSITO, T. Construção de barragens de rejeito sob uma visão geotécnica. In: Simpósio sobre barragens de rejeitos e disposição de resíduos – REGEO, 3., 1995. **Anais...** Ouro Preto: ABMS/ABGE/CBGB, 1995, p. 259-273.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto - Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, Jan. 2015. Versão corrigida. Jun. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, Mai. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, Out. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13028**: Mineração – Elaboração e apresentação de projeto de barragens para disposição de rejeitos, contenção de sedimentos e reservação de água - Requisitos. Rio de Janeiro, Nov. 2017.

BARROS, Adil Jesus da Silveira; **Fundamentos de Metodologia Científica** – 2. ed. Ampliada Adil Jesus da Silveira Barros, Neide Aparecida de Souza Lehfeld. São Paulo: Pearson Books, 2000.

BRASIL. Lei nº12.305, de 2 de Agosto de 2010. Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil**. Brasília, 3 ago. 2010. Disponível em: <[http://www.in.gov.br/mp\\_leis/leis\\_te\\_xto.asp?ld=LEI%209887](http://www.in.gov.br/mp_leis/leis_te_xto.asp?ld=LEI%209887)>. Acesso em: 14 nov. 2019.

CUNHA, A.C.Q.; HELENE, P.R.L. **Despassivação das armaduras de concreto por ação da carbonatação**. Boletim técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – BT/PCC/283. São Paulo, 2001.

DNPM – **Departamento Nacional de Produção Mineral. Sumário Mineral** – 2015. Disponível em: <[www.dnpm.gov.br](http://www.dnpm.gov.br)>. Acesso em: 07 de nov. 2019.

BAUER, Falcão L. A. **Materiais de construção**. 1; revisão técnica João Fernando Dias. – 5. Ed. Revisada. – [Reimpr.] – Rio de Janeiro: LTC, 2014.

FRANCO, L. C. *et al.* **APLICAÇÃO DE REJEITO DE MINERAÇÃO COMO AGREGADO PARA A PRODUÇÃO DE CONCRETO**. In: CONGRESSO BRASILEIRO

DO CONCRETO, 56., 2014, Rio Grande do Norte. Anais... Rio Grande do Norte: [s.n.], 2014. p. 01-15.

GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social** / Antonio Carlos Gil. – 5. ed. – São Paulo : Atlas, 1999.

GOLDENBERG, M. **A arte de pesquisar**. Rio de Janeiro: Record, 1997.

HELENE, P.R.L.; Terzian, P.R. **Manual de dosagem e controle de concreto**, Pini, São Paulo (1993).

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração - **Gestão e Manejo de Rejeitos da ineração**; organizador, Instituto Brasileiro de Mineração. 1.ed. - Brasília: IBRAM, 2016.

IBRAM – Instituto Brasileiro de Mineração - **Informações sobre a economia mineral brasileira** –2018. Disponível em:<<http://www.ibram.org.br/>>. Acesso em: 07 de nov. 2019.

LAKATOS, Eva Maria. **Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações e trabalhos científicos** / Marina de Andrade Marconi, Eva Maria Lakatos. – 6. ed. – São Paulo : Atlas, 2001.

LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica** / Marina de Andrade Marconi, Eva Maria Lakatos. – 6. ed. – São Paulo : Atlas 2005.

MAANEN, John, Van, **recuperação de métodos qualitativos para a investigação da organização**: um prefácio, em Ciências Administrativas. Vol, 24, 1979.

MEHTA, P. K; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: Estrutura, Propriedades e Materiais**, 1ª Ed. São Paulo, Ed. PINI, 1994.

PICCHI, F.A. **Sistemas da Qualidade** - uso em empresas de construção de edifícios. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 1993.

---

Recebido para publicação em maio de 2022.  
Aprovado para publicação em julho de 2022.