



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 3.607, de 17/10/05, D.O.U. nº 202, de 20/10/2005
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Thiago Barros Amorim

APROVEITAMENTO DE REJEITO DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO DA MINERAX NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA

Palmas – TO
2019

Thiago Barros Amorim

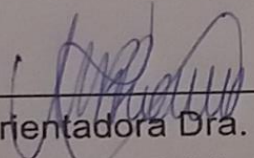
APROVEITAMENTO DE REJEITO DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO DA
MINERAX NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

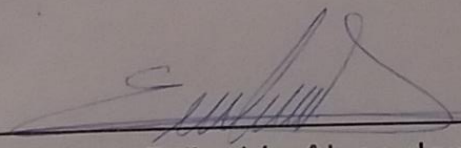
Orientadora: Dra. Michele Ribeiro Ramos.

Aprovado em: 29 / 05 / 2019

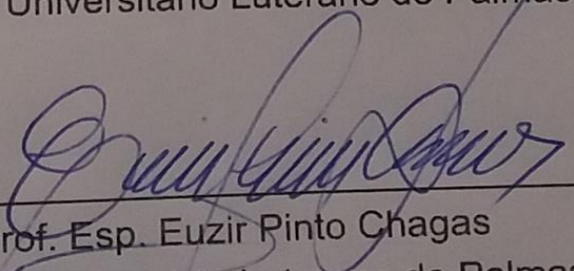
BANCA EXAMINADORA



Prof. e Orientadora Dra. Michele Ribeiro Ramos
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Me. Edivaldo Alves dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas

Thiago Barros Amorim

APROVEITAMENTO DE REJEITO DA MINERAÇÃO DE CALCÁRIO DA MINERAX NA PRODUÇÃO DE ARGAMASSA

Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para a
obtenção do título de bacharel em
Engenharia Civil pelo Centro Universitário
Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientadora: Dra. Michele Ribeiro Ramos.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. e Orientadora Dra. Michele Ribeiro Ramos
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Me. Edivaldo Alves dos Santos
Centro Universitário Luterano de Palmas

Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas
Centro Universitário Luterano de Palmas

Palmas – TO
2019

Sumário

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 PROBLEMÁTICA	2
1.2 HIPÓTESE	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.3.1 OBJETIVO GERAL	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.4 JUSTIFICATIVA.....	4
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1 LOCAL DO OBJETO DE ESTUDO.....	5
2.1.1 MINERAX - XAMBIOÁ	6
2.2 CALCÁRIO	7
2.3 REJEITOS DE MINERAÇÃO	8
2.4 RESERVATÓRIOS DE REJEITO	8
2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS	11
2.6 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS.....	12
2.7 O USO DE RESÍDUOS DE MINÉRIOS NA ENGENHARIA CIVIL	14
2.8 ARGAMASSA	15
3 METODOLOGIA	16
3.1 LOCAIS DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO	16
3.2 ENSAIOS LABORATORIAIS	16
3.2.1 FORMULAÇÃO DA ARGAMASSA	17
3.2.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	18
3.2.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	19
3.2.3 VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA	20
4 RESULTADOS	21
4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO.....	21
4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO	27
4.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA	28
4.4 VIABILIDADE ECONÔMICA	29
5 CONCLUSÕES	32
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

RESUMO

O setor da mineração no Brasil é um dos maiores geradores de resíduos sólidos do país, que são caracterizados pela sua alta densidade e potencial toxicidade. Boa parte destes rejeitos minerais são dispostos ao ar livre, e o país ainda possui métodos considerados antiquados para estas formas de disposição final. Em vista disso, buscou-se neste trabalho, estudar uma forma de viabilizar a utilização dos rejeitos da mineração, mais especificamente o rejeito de calcário, na composição de argamassa em substituição parcial do agregado miúdo, analisando os principais esforços às quais as argamassas são submetidas: compressão e tração.

Palavras-chave: rejeito de calcário, argamassa, rejeitos minerais.

ABSTRACT

The mining sector in Brazil are one of the largest generators of solid waste in the country, which is characterized by its high density and potential toxicity. Much of these mineral waste is disposed outdoors, and the country still has methods considered antiquated for these forms of final disposal. In this work, the aim of this work was to study a way of making feasible the use of mining tailings, more specifically limestone tailings, in the mortar composition in partial replacement of the small aggregate, analyzing the main efforts to which the mortars are submitted: compression and traction.

Key words: limestone tailings, mortar, mineral tailings.

AGRADECIMENTOS

Dedico este espaço para expressar minha gratidão a todos que contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho, que tem suma importância para mim.

Meu muito obrigado a minha família, em especial à minha mãe e minha irmã, por serem meus pilares, pelos ensinamentos e pelos sacrifícios que fizeram para que toda essa caminhada acontecesse.

Aos meus amigos, pelo apoio e conselhos que foram fundamentais para que eu me mantivesse em paz nos momentos de dificuldade.

Ao corpo docente do CEULP/ULBRA, por todo o conhecimento repassado e empenho para contribuir com a formação de profissionais éticos e capacitados, e principalmente a minha orientadora, professora Dra. Michele Ribeiro Ramos, pela paciência, motivação, compromisso e dedicação para que este trabalho se realizasse.

À equipe da Minerax pelo fornecimento do material de estudo e informações adicionais.

Por fim, a todos que participaram de alguma forma, contribuindo com opiniões, boas energias, e que ajudaram de alguma forma.

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Traço da formulação de argamassa.....	18
Tabela 2 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 7 dias.....	21
Tabela 3 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 14 dias.....	22
Tabela 4 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 28 dias.....	23
Tabela 5 – Resistência média, em Mpa, à compressão dos CP's à cada idade.....	24
Tabela 6 - Variância de resistência dos traços em comparação ao traço referencial.....	26
Tabela 7 – Resistência à tração por compressão diametral dos CP's aos 28 dias.....	27
Tabela 8 – Valores médios dos testes de compreensão aos 7,14 e 28 dias e tração aos 28 dias, com relação aos diferentes traços.....	29
Tabela 9 – Custo dos materiais para a produção de 1m ³ de argamassa comum.....	29
Tabela 10 – Custo da produção de 1m ³ de argamassa com substituição de 5% de areia por rejeito de calcário.....	29
Tabela 11 – Custo da produção de 1m ³ de argamassa com substituição de 10% de areia por rejeito de calcário.....	30
Tabela 12 – Custo da produção de 1m ³ de argamassa com substituição de 15% de areia por rejeito de calcário.....	30

Lista de Figuras

Figura 1 – Localização do Município Xambioá – Tocantins.....	05
Figura 2 – Jazida de exploração de calcário da Minerax.....	06
Figura 3 – Método à montante.....	10
Figura 4 – Método à jusante.....	10
Figura 5 – Método da linha de centro.....	11
Figura 6 – Execução do ensaio de compressão em prensa hidráulica.....	19
Figura 7 – Ensaio de determinação da resistência a tração por compressão diametral.....	20

Lista de Gráficos

Gráfico 1 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 7 dias.....	22
Gráfico 2 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 14 dias.....	23
Gráfico 3 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 28 dias.....	24
Gráfico 4 – Resistência à compressão dos CP's à cada idade.....	25
Gráfico 5 – Variância de resistência dos traços em comparação ao traço referencial.....	26
Gráfico 6 – Resistência à tração por compressão diametral dos CP's aos 28 dias.....	28
Gráfico 7 – Variação percentual da produção de 1 metro cúbico de argamassa para cada traço.....	30

1 INTRODUÇÃO

A indústria de mineração é um dos setores mais rentáveis do mercado brasileiro. Conforme o IBRAM (2015), as primeiras atividades mineralógicas surgiram no período colonial, no século XVI, durante o ciclo do ouro. Hoje, o Brasil é um grande exportador de minérios, e a renda gerada pelo setor compõe cerca de 5% do PIB nacional. Dentre os minerais mais explorados estão o ferro, ouro e cobre.

Apesar de ser um seguimento importante, há muitos problemas relacionados aos impactos ambientais, pois os resíduos gerados são depositados em reservatórios, e estes devem ser frequentemente vistoriados, o que na realidade de um país emergente acaba não acontecendo; seja por falta de verba ou mesmo por negligência. Por conta disso, pequenos acidentes ambientais têm sido cada vez mais recorrentes. O mais recente, considerado o maior acidente de trabalho já registrado no Brasil (BBC, 2019), foi o colapso de uma barragem de Brumadinho, em Minas Gerais, que resultou na morte de centenas de pessoas. Em Mariana, novembro de 2015, também no estado de Minas Gerais, houve o colapso de uma estrutura de barragem de rejeito de minério de ferro, que causou a total destruição da cidade e dos arredores, deixando vários mortos. Hoje, depois de quase três anos do ocorrido, a região ainda sofre com as consequências do acidente. Em fevereiro de 2018, ocorreu o vazamento de rejeitos de bauxita, em Barcarena-PA, onde a empresa responsável pelo empreendimento, Hydro Alunorte, realizou uma ligação clandestina para a eliminação dos efluentes contaminados. Todos esses acidentes são apenas exemplos da má administração associada ao não cumprimento da política nacional de destinação de resíduos sólidos lei de nº 12.305 (BRASIL, 2010) que prevê a destinação correta para esses rejeitos.

Ampliando esse cenário, o governo do Tocantins vem buscando alternativas de incentivar o investimento na exploração mineral do estado. No final de 2017, a Secretaria do Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia, Turismo e Cultura (Seden) divulgou em eventos de mineração, o potencial mineralógico do estado: dentre os minerais que podem ser explorados estão a zicornita e a wolframita (POTENCIAL MINERAL..., 2017). Muito possivelmente o cenário do estado frente à exploração mineral e o risco de acidentes como os relatados acima, poderá vir a ser uma realidade.

Caso a atividade mineradora no Tocantins se fortifique, a longo prazo, o estado enfrentará problemas sérios quando a produção de resíduos começar a impactar o solo e a água. A destinação incorreta dos resíduos pode acarretar sérios riscos às pessoas e ao meio ambiente, já que se descartados de maneira inadequada, os resíduos podem contaminar a bacia hidrográfica da região.

A engenharia civil se mostra como uma ótima opção para a destinação final de resíduos sólidos em geral. Existem hoje no mercado cimentos especiais que possuem em sua composição alguns tipos de resíduo, como a cinza volante – material resultante da queima de combustível em usinas – por exemplo. Certos resíduos sólidos têm a capacidade de melhorar as características de materiais da construção civil, e suas aplicações vão desde utilizados na melhoria de acabamentos, à correção granulométrica do solo, dar resistência à ataques de agentes agressivos, oferecer ganho de resistência à compressão e redução de vazios em blocos concretos.

Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (2016), estima-se que só a produção de rejeitos de minério de ferro no período de 2010 a 2030 ultrapasse 4.500.000 (mil) toneladas de resíduos. Porquanto, fica claro a necessidade de se estudar métodos alternativos para a destinação dos rejeitos de mineração. Dentre algumas das propostas de utilização dos rejeitos de minérios, estão a aplicação na formulação de argamassa (SILVA, A., 2008) e a correção do solo aproveitando rejeito de mineração na blindagem de calcário comercial (MACHADO, A. *et al.*, 2014). Neste trabalho, busca-se estudar a utilização de teores distintos de rejeito de calcário da Minerax de Xambioá-TO na composição do traço da formulação convencional de argamassa para revestimento. Uma vez que apresentando resultados bem-sucedidos, novas tecnologias poderão ser criadas para a normatização da aplicação destes resíduos na construção civil, contribuindo ainda mais para o desenvolvimento sustentável.

1.1 PROBLEMÁTICA

Frequentemente noticiam-se acidentes relacionados a barragens de rejeitos de mineração, seja por rompimento ou vazamentos. Estes acontecimentos trazem grandes prejuízos ao meio ambiente, muitas vezes irreparáveis, afetando-o de todas

as formas (meio biótico, antrópico e físico), sendo que a maior parte dessas ocorrências está associada à falta de manutenção, ou negligência das empresas e mineradoras em relação aos reservatórios que estão próximos de um colapso. A realidade é que quando desastres envolvendo barragens de mineração acontecem, os danos ao meio ambiente podem ser incalculáveis. Frente a isso, é possível fazer a destinação final desses resíduos na construção civil?

1.2 HIPÓTESE

Por possuir em sua composição substâncias químicas reagentes às do cimento, além da matéria fina, o rejeito de calcário demonstra potencial para melhorar qualitativamente as características da argamassa de revestimento. Supõe-se que o uso desse rejeito na concentração ideal irá aumentar consideravelmente a resistência à compressão e tração, e melhorar a trabalhabilidade da argamassa durante o tempo de pega.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Verificar o comportamento mecânico de corpos de prova de argamassa com traço de 1:3 e fator a/c de 0,60, com a substituição de diferentes teores de rejeito de calcário na composição do traço, bem como sua viabilidade econômica.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a resistência à compressão de blocos de argamassa com a substituição de teores diversos de rejeito de calcário (5%, 10% e 15%) à um traço de 1:3, parâmetros adotados de acordo com o estudo de Silva (2008);
- Comparar a resistência à tração dos blocos, nos mesmos parâmetros descritos acima;
- Analisar economicamente a produção de um metro cúbico de argamassa com teores de rejeito de calcário, tomando como base metodológica a comparação de custos da

produção de argamassa comum, com distintos traços de argamassa com substituição parcial de areia por rejeito de calcário.

1.4 JUSTIFICATIVA

Segundo estudos, a atividade mineralógica do Brasil tende a crescer progressivamente com o passar dos anos, pois há uma ampla diversidade de minérios com potencial de exploração. Como consequências de uma maior demanda por minerais, obviamente haverá o aumento na produção de resíduos sólidos, que impactarão diretamente o meio ambiente. Esses fatores, associados à corrupção e falta de fiscalização podem desencadear acidentes ambientais cada vez mais recorrentes.

O desenvolvimento sustentável tem se tornado gradativamente mais importante na atual fase da construção civil, sendo pauta de debates e delimitador de métodos construtivos, principalmente em obras públicas. A tendência é que muito em breve esse conceito de sustentabilidade seja predominante dentro das engenharias. Portanto, viabilizar possibilidades de utilização de rejeitos da mineração nas áreas da construção civil se faz totalmente plausível, dado ao alto custo de manutenção e expansão da capacidade de um reservatório de rejeito de minério, e os riscos que esse método de descarte de resíduos dispõe, tem-se uma alternativa ambientalmente correta que tende a diminuir com o passar do tempo os graves acidentes já relacionados aqui.

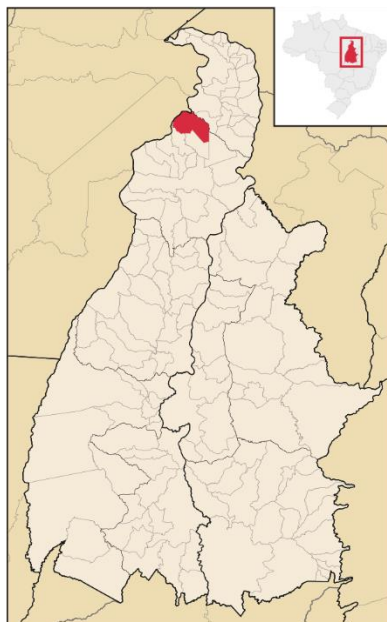
Caso apresente resultados bem-sucedidos, esta pesquisa pode favorecer o desenvolvimento de tecnologias que venham a normatizar o uso de resíduos sólidos da mineração dentro da construção civil, reduzindo ainda mais as chances de acidentes ambientais decorrentes da mineração, oferecendo uma alternativa para a destinação final dos rejeitos de minério e contribuindo com o desenvolvimento sustentável, além de incentivar estudos de outras aplicações desses rejeitos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 LOCAL DO OBJETO DE ESTUDO

Pode-se dizer que Xambioá, no Tocantins, tem uma relação íntima com a exploração mineral, pois seu surgimento se deu a partir da descoberta de uma jazida de cristal da rocha quartzo, em 1952, na região da chapada do Chiqueirão. Quando a região, que até então era habitada somente por etnias indígenas, passou a ser povoada por não-indígenas. Em 2013, por exemplo, Xambioá contribuiu, por meio de suas riquezas minerais, na elevação do equivalente a 3,6% do PIB Industrial do Tocantins (Portal “folha do bico”). Grande parte dessa arrecadação se dá devido a implantação da Votorantim Xambioá como polo de produção de cimento na região, que possui grande quantidade de minério de calcário. Este empreendimento rende mais de 600 empregos diretos, além de ter beneficiado a população da cidade com obras de pavimentação e capacitações profissionais (SANTANA *et al.*, 2014). Com isso, outras empresas também adentraram na exploração do Minério de Calcário na cidade, dentre elas, a Minerax, do grupo J. Demito

Figura 1 – Localização do Município Xambioá - Tocantins



Fonte: Wikipédia

2.1.1 MINERAX - XAMBIOÁ

A empresa iniciou seus trabalhos de mineração no município no ano de 2012, e de acordo com o grupo J. Demito, gera cerca de 200 empregos, produzindo cerca de 500 mil toneladas por ano, numa reserva de 18 milhões de toneladas, conseguindo atender demandas de outros Estados vizinhos. A Minerax também tem carga como lema o bem-estar dos seus colaboradores, gestões eficientes e a prática sustentável. (J. DEMITO, 2012)

A blendagem de calcário do empreendimento produz cimento, calcário corretivo e brita siderúrgica. Essa produção acaba gerando uma quantidade significativa de rejeitos, que são repassados a empresas terceirizadas para sua destinação final.

Figura 2 – Jazida de exploração de calcário da Minerax.



Fonte: Google Earth

2.2 CALCÁRIO

Conforme Sampaio e Almeida (2008), o calcário possui uma vasta variedade de usos, podendo ser usado como matéria prima para a fabricação de diversos produtos, em diversas indústrias. “A calcita (CaCO_3) é o principal constituinte mineralógico dos calcários e mármore de elevada pureza”.

O calcário representa aproximadamente 15% de todas as rochas sedimentares. Há também os depósitos de calcário precipitado diretamente de águas com elevados teores de sais minerais. As reservas de calcário, ou rochas carbonatadas, são praticamente intermináveis, porém a sua ocorrência com elevada pureza corresponde a menos de 10% das reservas de carbonatos lavradas em todo mundo (FREAS, HAYDEN, PYOR, 2006, *apud* MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009, p. 7).

De acordo como o Ministério de Minas e Energia (2009), a produção de calcário no Brasil estaria assegurada para mais de 400 anos, considerando a quantidade de reservas de calcário no país. Ainda segundo o MME, o mais comum no Brasil é a ocorrência de lavras a céu aberto por questões econômicas, uma vez que “não se justificam esforços exploratórios detalhados (pesquisa geológica), necessários para uma estimativa de reservas lavráveis, mesmo que observações geológicas menos rigorosas sugiram a existência de volumes significativos de reservas”. O MME também descreve os usos mais comuns do calcário no país, sendo eles: na indústria de tintas, construção civil, produção de cimento, agricultura e outros.

A respeito da geração de resíduos minerais, ressalva-se que para que se permita um melhor aproveitamento dos resíduos sólidos da exploração de calcário, a tendência é que linhas de pesquisa, formações de recursos humanos e a fiscalização, basicamente têm o papel de se integrarem setorialmente. Para complementar, geralmente esses resíduos, por possuírem pouco valor, não têm índices altos de produção de estéril. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2009)

2.3 REJEITOS DE MINERAÇÃO

Os rejeitos da atividade mineralógica são compostos por partículas de finos e substâncias químicas encontradas na jazida de exploração, e costumam ser dispostos à céu aberto, em barragens de aterro, apesar de haverem outras formas de destinação final, menos danosas ao meio ambiente, porém mais caras.

A política nacional de resíduos sólidos (BRASIL, 2010, p.17) classifica os resíduos sólidos quanto à sua origem e periculosidade, sendo este último dividido em duas formas: resíduos perigosos, que tem características corrosivas, inflamáveis, reativas, tóxicas, entre outros; e resíduos não perigosos, os que não são equiparados a resíduos domiciliares.

No caso dos rejeitos da mineração de calcário, a NBR 10004 (ABNT, 2004) classifica-os como resíduos sólidos não perigosos, e os caracteriza como resíduo de mineral não-metálico, de acordo com a tabela de anexo “H” da norma.

2.4 RESERVATÓRIOS DE REJEITO

De acordo com o ITV - Instituto Tecnológico Vale (20--) os primeiros estudos de projetos estruturais de barragens se iniciaram no ano de 1850, mas há registros de que os conceitos de barragens já existiam bem antes do nascimento de Cristo, cerca de 2900 a.C. A vale também define barragens de rejeitos como “estruturas constituídas com terra, enrocamento, rejeitos e até mesmo concreto, para armazenar resíduos de alguns processos industriais”.

Somente no Brasil, existem hoje mais de 1400 barragens, o que corresponde à 0,4% da concentração mundial – mais de 56 mil barragens (INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE, 20--). Minas Gerais contém cerca de 770 barragens de rejeitos de mineração, sendo que, em 2012, a FMA constatou que quase 10% desse número apresentavam riscos de intervenções urgentes, e mais 60% continha algum tipo de não conformidade ou anomalia (SANT’ANA FILHO, 2013, p. 38). Esses dados demonstram a gravidade da situação mineralógica no país, onde, com apenas os números de um estado, já pode-se afirmar que pelo menos 55% das barragens de

rejeitos não atendem completamente às exigências da política nacional de resíduos sólidos.

Conforme Tanus (2018), “os padrões internacionais definem como grandes barragens as maiores de 15 metros de altura (medidos da fundação até a crista”. Conjuntamente, considera-se como grande barragem as que tenham entre 10 e 15 metros, se essas enquadrarem-se dentro dos seguintes requisitos: comprimento de crista com mais de 500 metros; capacidade do reservatório de mais de um milhão de metros cúbicos; descarga máximo de inundação maior que 200 metros cúbicos por segundo; possuir problemas de fundação especialmente difíceis; possuir design incomum. (TANUS, 2018, p. 6)

Tem-se que a mineração é um dos setores básicos da economia de um país, [...] sendo fundamental para o desenvolvimento de uma sociedade. Alguns beneficiamentos de minérios exigem moagem e controle das faixas granulométricas dos materiais particulados além do adicionamento da água e dos produtos químicos na planta de tratamento, o que faz com que os resíduos gerados sejam transportados em forma de polpa. Esta polpa é conduzida até uma bacia de acumulação confinada por uma barragem, onde os sólidos sedimentam e as águas são tratadas e clarificadas. Atualmente a disposição de rejeitos em barragens tem sido um dos principais aspectos focalizado nos estudos para elaboração do plano de negócio de uma empresa de mineração, devido às dificuldades para obtenção das licenças ambientais e seu custo com manejos. (SANT’ANA FILHO, 2013, p. 32)

Para exploração mineral, o comum é que sejam utilizadas barragens de aterro hidráulico, que transportam os rejeitos por meio de tubulações de água. De acordo com Souza (2013), como citado por Tanus (2018), a barragem de aterro hidráulico é econômica, entretanto, a compactação dos espaldares não é precisa, o que resulta no fornecimento de areia fofa, que fica sujeita ao efeito de liquefação se submetida a solicitação muito rápida, como devido a sismos.

Segundo o ITV (20--), há três métodos construtivos de barragens por aterro hidráulico: alteamento à montante, alteamento à jusante e método de linha de centro. Sendo que todas necessitam da construção de um dique de partida, alternando apenas a direção em que o alteamento é realizado:

- No método à montante os rejeitos são depositados a partir da crista do dique de partida, formando um amontoado de rejeito, onde o material rejeitado irá se adensar e servir de fundação para futuros diques.

Figura 3 – Método à montante. Fonte: ITV



- Para o método à jusante a estabilidade da estrutura é o diferencial, pois os alteamentos seguintes ao do dique de partida são feitos na direção da corrente de água, de forma independente e sendo possível construir o alteamento com o mesmo material do dique de partida.

Figura 4 – Método à jusante. Fonte: ITV



- Já o método da linha de centro é semelhante ao de montante, onde os rejeitos são lançados a partir da crista do dique de partida, seguidos da formação de diques sucessivos, porém mantendo-se no mesmo eixo de simetria. Conforme o instituto, este é considerado o método mais seguro de barragens de aterro.

Figura 5 – Método da linha de centro. Fonte: ITV



2.5 IMPACTOS AMBIENTAIS

De acordo com o Art. 1º da resolução Conama nº 1, tem-se que impacto ambiental é toda e qualquer alteração das propriedades físicas, químicas, biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, segurança e bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais. (BRASIL, 1986).

A indústria de mineração causa impactos em todos os meios, e como dito anteriormente, muitas vezes alguns desses impactos são irreversíveis. O desmatamento é um fator inevitável para a exploração mineral, e causa outras consequências diretamente ligadas a isso, como a possibilidade do surgimento de erosões, a poluição visual e o depósito de partículas no ar. Para que os impactos sejam minimizados, a NBR 14004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005) estabelece que no sistema de gestão ambiental deve-se identificar os aspectos ambientais que estejam associados com as atividades e afins, considerando as condições de operação normais e anormais. Entre as considerações de determinação desses aspectos estão inclusas as emissões para o ar, lançamentos na água e solo e questões locais como energia emitida (calor, radiação, vibração). A norma também recomenda a determinação dos impactos positivos e negativos, potenciais e reais e suas significâncias nos critérios legais e ambientais.

Segundo Medeiros (1995), a avaliação de impacto ambiental (AIA) deve ser concebida, antes de tudo, como um instrumento preventivo de política pública. Que só se torna eficiente quando possa se

constituir num elemento de auxilia a decisão, uma ferramenta de planejamento e concepção de projetos para que se efetive um desenvolvimento sustentável como forma de sobrepor ao viés economicista do processo de desenvolvimento, que aparecendo como sinônimo de crescimento econômico ignora os aspectos ambientais, culturais, políticos e sociais. (apud, SILVA, 2008, p. 22).

Sant'Ana Filho (2013) afirma que “os impactos paisagísticos são resultantes dos aspectos das escavações a céu aberto, como também da disposição dos rejeitos em superfície, das barragens de rejeitos, além do pátio de beneficiamento e manobras”. Ele também salienta que como podem ocorrer situações de riscos na maneira como se procedem as etapas de disposição dos rejeitos, é necessário que se desenvolva estratégias de gestão dos resíduos sólidos, afim de balancear a redução dos riscos de contaminação com a minimização dos custos financeiros.

2.6 POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS

A política nacional de resíduos sólidos, lei de número 12.305, de 2 de agosto de 2010, normatiza o gerenciamento de resíduos sólidos, onde estabelece das questões de responsabilidades legais, disposição final dos resíduos sólidos, das políticas de diretrizes e ações e dos papéis estaduais e municipais.

A lei objetiva, de acordo com o art. 7º do capítulo II – dos princípios e objetivos, proteger a saúde pública e qualidade ambiental; a não geração ou redução e reutilização dos rejeitos, ambientalmente dispostos; desenvolvimento de tecnologias limpas, redução do volume e periculosidade dos resíduos perigosos; a gestão dos resíduos sólidos; a articulação entre o poder público; capacitação técnica continuada na área de resíduos sólidos; regularidade e funcionalidade do sistema de gerenciamento, visando garantir a sustentabilidade operacional e financeira. (BRASIL, 2010, p. 13)

O art. 9º da política nacional de resíduos sólidos disciplina *in verbis* “Art. 9º. Na gestão e gerenciamento de resíduos sólidos, deve ser observada a seguinte ordem de prioridade: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos

resíduos sólidos e disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos”. (BRASIL, 2010, p. 15).

(BRASIL, 2010, p. 25) Art. 21. O plano de gerenciamento de resíduos sólidos tem o seguinte conteúdo mínimo:

- I – descrição do empreendimento ou atividade;
- II – diagnóstico dos resíduos sólidos gerados ou administrados, contendo a origem, o volume e a caracterização dos resíduos, incluindo os passivos ambientais a eles relacionados;
- III – observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa e, se houver, o plano municipal de gestão integrada de resíduos sólidos:
 - a) explicitação dos responsáveis por cada etapa do gerenciamento de resíduos sólidos;
 - b) definição dos procedimentos operacionais relativos às etapas do gerenciamento de resíduos sólidos sob responsabilidade do gerador;
- IV – identificação das soluções consorciadas ou compartilhadas com outros geradores;
- V – ações preventivas e corretivas a serem executadas em situações de gerenciamento incorreto ou acidentes;
- VI – metas e procedimentos relacionados à minimização da geração de resíduos sólidos e, observadas as normas estabelecidas pelos órgãos do Sisnama, do SNVS e do Suasa, à reutilização e reciclagem;
- VII – se couber, ações relativas à responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos produtos, na forma do art. 31;
- VIII – medidas saneadoras dos passivos ambientais relacionados aos resíduos sólidos;
- IX – periodicidade de sua revisão, observado, se couber, o prazo de vigência da respectiva licença de operação a cargo dos órgãos do Sisnama.

A lei 12.305 também estabelece das responsabilidades jurídicas dos geradores de resíduos no art. 25 que “o poder público, o setor empresarial e a coletividade são responsáveis pela **efetividade das ações voltadas para assegurar a observância da Política Nacional de Resíduos Sólidos** e das diretrizes e demais determinações estabelecidas nesta lei e em seu regulamento”, e proíbe que os resíduos sólidos sejam

lançados em quaisquer corpos hídricos, praias e mares ou “in natura a céu aberto, excetuados os resíduos de mineração” no art. 47. Sobre as disposições transitórias e finais, determina-se que os danos causados sejam reparados, “independentemente existência de culpa” (BRASIL, 2010).

2.7 O USO DE RESÍDUOS DE MINÉRIOS NA ENGENHARIA CIVIL

Geralmente os estudos envolvendo rejeitos de mineração buscam utilizar esse material como matéria prima, o que reduziria o consumo de matéria não renovável e seria ambientalmente correto, além de financeiramente viável. As áreas da engenharia civil, em virtude da necessidade de fazer com que sejam cada vez mais sustentavelmente corretas, estão sempre sob estudos que buscam viabilizar métodos alternativos de construção que não agredam menos o meio ambiente, e como utilizam muitos recursos da mineração, é importante que esses recursos sejam aproveitados por completo.

Para Silva (2008) os resíduos de rochas provenientes da mineração e dos diversos tipos de beneficiamento estão sendo largamente estudados em razão do grande impacto ambiental provocado quando descartados indiscriminadamente na natureza e do enorme potencial que estas possuem como matéria prima. Em geral esses resíduos são descartados em lagos, rios, faixas de domínios de rodovias e ao redor de mineradoras (ou empresas de beneficiamento) causando uma série de agressões à fauna e flora, bem como à saúde da população, principalmente quando se encontra em forma seca e pulverulenta.

Machado F., Pessoa e Sabadia (2015) constataram por meio de estudos de campo que os resíduos da produção de cal na região de Sobral e Coreaú, no Ceará, demonstra potencial significativo no uso do resíduo para corrigir problemas nas estradas vicinais, ainda que forma empírica. Em razão disso, pretendeu-se determinar se uma quantidade ideal desse rejeito poderia melhorar as características qualitativas do CBR de pavimentação, chegando à conclusão que o material é muito eficiente para a destinação neste tipo de emprego, e que o valor agregado do CBR tende a crescer à medida que se aumenta o teor de rejeito.

Antes do desastre de Marina ocorrer, pesquisadores da UFMG já haviam construído uma casa de 46 metros quadrados, oriunda de rejeitos da exploração de minério de ferro, onde foram reaproveitados tanto os rejeitos, quanto o estéril. Um dos pesquisadores, Evandro da Gama, salienta que o aproveitamento desses rejeitos faria desnecessárias as grandes barragens de rejeitos. E afirma que uma das vantagens da aplicação na construção de casas é que o calor é reduzido nos interiores, e que a absorção de umidade nas paredes é menor. (REVISTA PESQUISA FAPESP, 2016)

2.8 ARGAMASSA

A argamassa possui diversas aplicações e é de extrema importância para os métodos construtivos atuais, podendo ser utilizada para revestimento, vedação e assentamento, compostas por aglomerantes como cimento e cal, e por agregado miúdo – areia.

Os ensaios recomendados para as argamassas de assentamento, conforme a NBR 13281, são os seguintes: resistência à compressão, densidade de massa aparente nos estados fresco e endurecido, resistência à tração na flexão, coeficiente de capilaridade, retenção de água e resistência de aderência à tração. (THOMAZ et al., 2009, p.13).

Para a execução de fundações profundas do tipo raiz, a utilização de argamassa também é necessária devido a necessidade de o furo da estaca ser preenchido com uma massa flúida, uma vez que a armadura é inserida após o preenchimento do furo, e a presença de agregados graúdos pode dificultar o processo, visto que o aço utilizado costuma ser de elevada espessura e amarração.

O traço de argamassa não é normatizado como os de concreto, porém existem referências bibliográficas que auxiliam na escolha do traço ideal para cada finalidade, onde o traço costuma ser tabelado, e geralmente, é determinado inclusive a finura recomendada do agregado miúdo, de acordo com estudos realizados.

As argamassas também podem ser pré-fabricadas – chamadas argamassas colantes – onde são classificadas de acordo com as características às quais são

recomendadas, sendo elas: AC – I, AC – II, AC – III e AC – III E; que vão desde assentamentos em áreas internas e com pouca agressão, a ambientes externos, com grande exposição e desgaste.

3 METODOLOGIA

Na elaboração de um conhecimento científico, são utilizados um conjunto de métodos e técnicas de pesquisa que fornecem uma maneira de analisar a realidade a partir da confrontação de teses, hipóteses ou teorias. É o conjunto das ferramentas que podemos utilizar durante a investigação para formar a linha de raciocínio da pesquisa.

A Metodologia, em um nível aplicado, examina, descreve e avalia métodos e técnicas de pesquisa que possibilitam a coleta e o processamento de informações, visando ao encaminhamento e à resolução de problemas e/ou questões de investigação. (PRODANOV; FREITAS, 2013 p. 14)

A metodologia de abordagem desse trabalho será análise estatística, que de acordo com Lakatos e Marconi (2003), permite a representação gráfica dos dados sintetizados, facilitando o entendimento e interpretação do estudo. Classificam-se os dados em subgrupos, de maneira em que as hipóteses sejam comprovadas ou não.

3.1 LOCAIS DE REALIZAÇÃO DO ESTUDO

Para a realização deste estudo, o rejeito de calcário coletado será de uma jazida da empresa Minerax de Xambioá – TO, como descrito nos referenciais, e a consumação da pesquisa ocorrerá no laboratório de materiais e estruturas, e no laboratório de solos do CEULP – Centro Universitário Luterano de Palmas.

3.2 ENSAIOS LABORATORIAIS

Atendendo-se às determinações da NBR 10007/2004 que compreende dos métodos da coleta e armazenagem das amostras de resíduos sólidos – o rejeito de calcário – foi feita uma amostragem simples, que por seguida foi acomodada em sacos

de fibra, de forma que a amostra não pudesse sofrer quaisquer danificações das suas características.

Para a moldagem dos corpos de prova cilíndrico, as orientações seguidas foram conforme a norma NBR 5738/2015, que determina os seguintes procedimentos: a) aplicação de camada de óleo vegetal no molde, b) preparação da argamassa, c) preenchimento do molde com a argamassa e realização do adensamento de forma manual, em duas camadas que receberam 12 golpes com uma haste de ferro, d) após o adensamento, deram-se leves batidas na face externa do molde, para completar os vazios, e) colocar o molde em local protegido e esperar 24 horas para desmoldar e identificar, f) armazenar no tanque de cura.

3.2.1 FORMULAÇÃO DA ARGAMASSA

Para a formulação do traço referencial de argamassa, adotou-se o traço de 1:3 em massa, tabelado de acordo com Guimarães (et al., 2004), sendo este, um traço considerado rico, ideal para a execução de contra pisos, reboco e fundações profundas. E os materiais escolhidos foram o Cimento Portland V-ARI-RS e areia fina.

A fim de comparar o comportamento mecânico do rejeito da mineração de calcário na argamassa em substituição de parte da areia, foram escolhidas 3 diferentes porcentagens: 5%, 10% e 15%, de acordo com métodos adotados em outros estudos experimentais. Para isso, o rejeito teve de ser preparado para estar com a granulometria semelhante à da areia fina, de acordo com a NBR 7225/1993 – materiais de pedra e agregados naturais; portanto, passou-se o material em duas peneiras: a malha de 0,42mm, e a de 0,075mm, possibilitando, assim, descartar o material que estivesse fora das peneiras, por ser muito fino, ou muito grosso.

Foram produzidos 12 corpos de prova para cada traço, totalizando a produção de 48 CP's, sendo que, para a execução dos ensaios laboratoriais, era necessário obter os resultados de compressão dos corpos de provas em 3 idades – 7, 14 e 28 dias, reservando para cada idade uma quantidade de 3 corpos de prova de cada traço; para a obtenção dos resultados de tração, os outros 3 corpos de prova de cada traço foram reservados.

Tabela 1 – Traço da formulação de argamassa.

Traço 1:3 a/c = 0,60 (Kg)	Cimento	Areia	Rejeito	Água
T0 - Ref.	10,00	30,00	0,00	6,00
T1 - Sub. 5%	10,00	28,50	1,50	6,00
T2 - Sub. 10%	10,00	27,00	3,00	6,00
T3 - Sub. 15%	10,00	25,50	4,50	6,00

Fonte: Autoria própria.

3.2.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

A determinação da resistência à compressão é normatizada pela NBR 5739/2007. Mantém-se os corpos de prova em cura úmida até o dia indicado para a realização do ensaio. Passados os dias, com a utilização de um paquímetro, tomam-se as medidas das extremidades do corpo de prova cilíndrico, tanto na vertical quanto na horizontal para poder determinar possíveis correções que são estabelecidas pela norma. Após isso, deve-se calcular a área do corpo de prova e colocá-lo no centro dos pratos da prensa hidráulica, que mostra como é a distribuição da carga cisalhante no corpo de prova até o momento de ruptura. Determinada a resistência à compressão, deve-se analisar no concreto qual o tipo de ruptura ele se enquadrou, de acordo com a NBR.

Figura 6 – Execução do ensaio de compressão em prensa hidráulica.

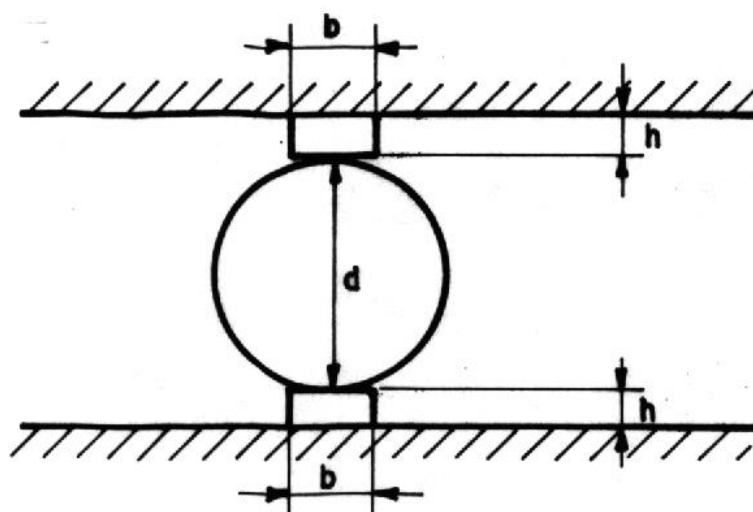


Fonte: Arquivo pessoal.

3.2.2 DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

Para a determinação da resistência à tração, fez-se o rompimento dos corpos de prova após a cura de 28 dias. Os procedimentos foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 7222/2011 – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos, que consiste na inserção do corpo de prova deitado no prato da prensa hidráulica, que, em seguida deve ser submetido à uma tensão de crescimento constante, até o momento de ruptura.

Figura 7 – Ensaio de determinação da resistência a tração por compressão diametral.



Fonte: NBR 7222 (ABNT, 2011, p. 3)

3.2.3 VERIFICAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA

Na verificação econômica da substituição de parte do cimento por rejeito de calcário no concreto analisou-se de forma comparativa o custo de produção de argamassa do traço sem teor de rejeitos e o custo de produção do concreto com a substituição parcial de areia por rejeito de calcário. Tomando como partida a predeterminação dos custos unitários dos materiais necessários para a dosagem: Cimento Portland, agregado miúdo, rejeito de calcário e água; e por seguinte determinação o custo total da produção. Após isso, compararam-se os preços com os custos da produção de argamassa com rejeito de calcário na composição, nas suas devidas proporções. A partir dos valores levantados será possível definir, em reais (R\$), a diferença de custo entre os parâmetros e, por fim, determinou-se se a produção é viável ou não.

4 RESULTADOS

Após a moldagem dos corpos de prova, eles foram imersos em um tanque composto por uma solução saturada de hidróxido de cálcio, onde ficaram armazenados lá até a realização dos ensaios, ou seja, aos 7, 14 e 28 dias de cura. Ao completar as idades necessárias, a partir dos dados obtidos nos ensaios, pôde-se discorrer a respeito do estudo.

4.1 RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

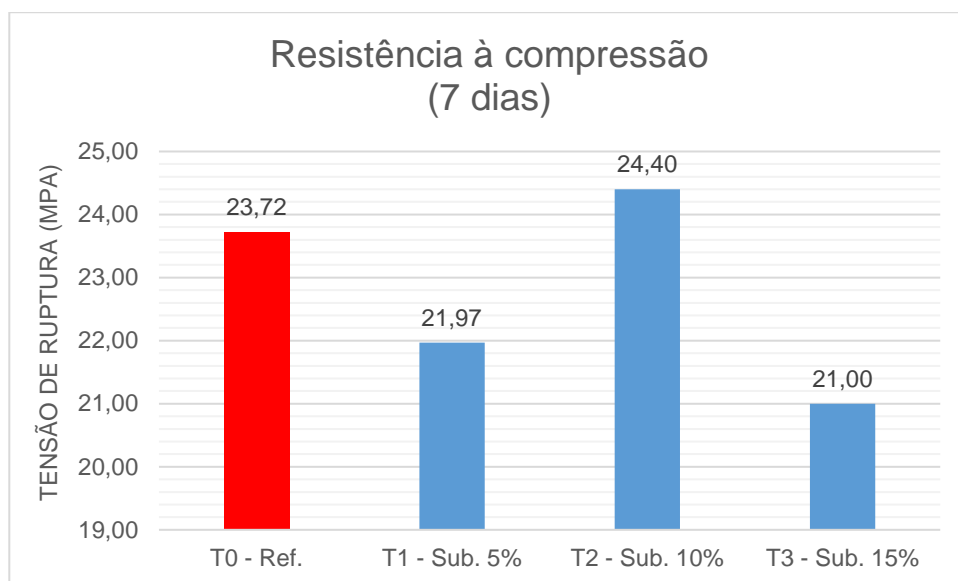
Aos 7 dias, o rejeito de calcário na composição de argamassa melhorou consideravelmente a resistência à compressão dos corpos de prova no traço T2 – substituição de 10% de rejeito, sendo 2,81% mais resistente que o traço referencial, enquanto os outros dois traços, comparados ao traço referencial, resistiram menos que o traço referencial, com divergências de resistências de -7,96% (substituição de 5%), e -12,93% (substituição de 15%).

Tabela 2 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 7 dias.

Traços	Tensão de ruptura à compressão (Mpa)			Média
	CP 1	CP 2	CP 3	
T0 - Ref.	-	25,70	21,70	23,72
T1 - Sub. 5%	23,50	21,50	20,90	21,97
T2 - Sub. 10%	23,20	25,90	24,10	24,40
T3 - Sub. 15%	22,50	19,70	20,80	21,00

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 1 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 7 dias.



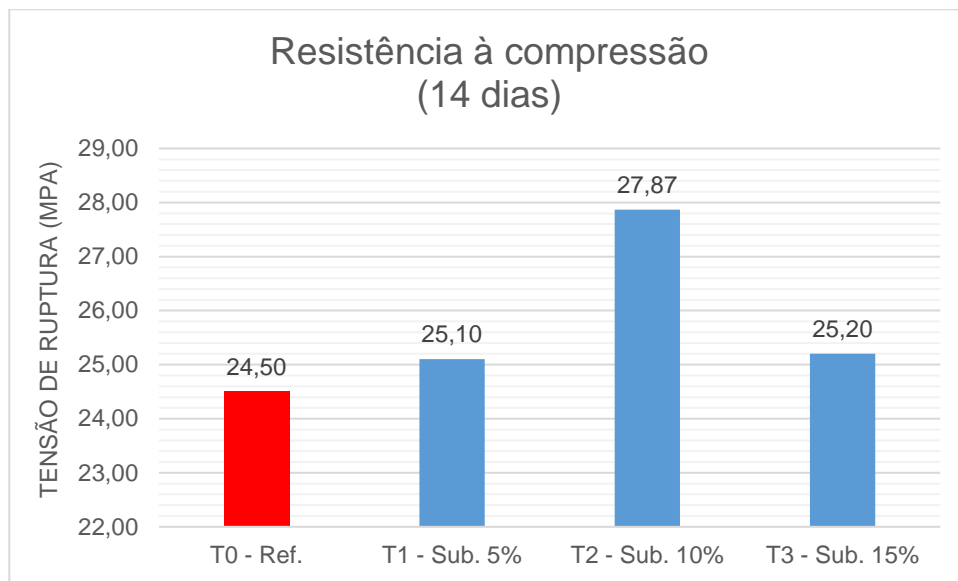
Fonte: Autoria própria.

Após 14 dias de cura imersa, os resultados do ensaio de ruptura à compressão mostraram que o traço com substituição de 10% manteve-se com o melhor desempenho, com aproximadamente 12,08% de maior resistência, em comparação com o traço referencial; já o traço com substituição de 5% ganhou mais 2,39% de resistência, e o traço com substituição de 15% obteve 2,78% mais resistência.

Tabela 3 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 14 dias.

Traços	Tensão de ruptura à compressão (Mpa)			Média
	CP 1	CP 2	CP 3	
T0 - Ref.	24,50	24,10	24,90	24,50
T1 - Sub. 5%	25,00	25,20	-	25,10
T2 - Sub. 10%	29,00	28,00	26,60	27,87
T3 - Sub. 15%	25,50	25,50	24,60	25,20

Gráfico 2 - Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 14 dias.



Fonte: Autoria própria.

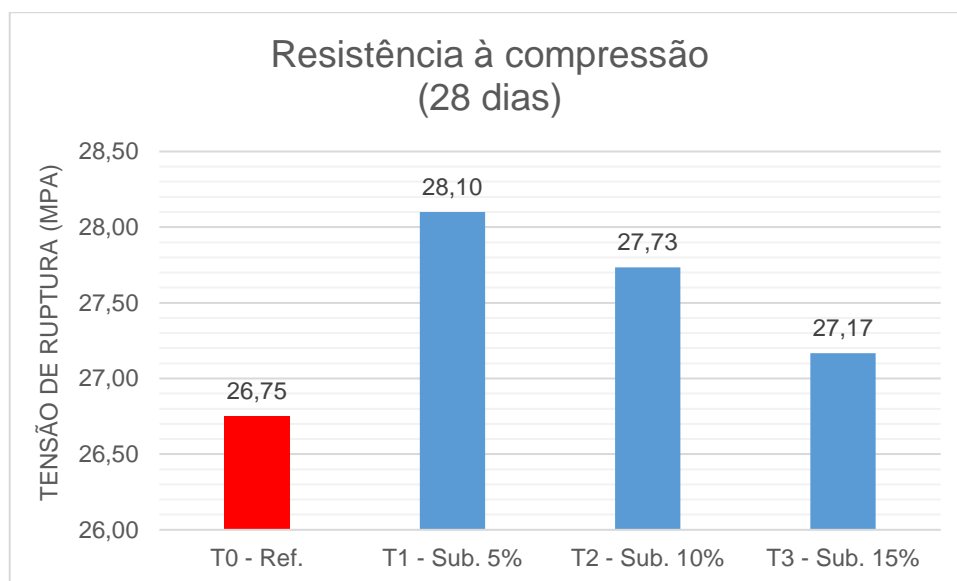
Aos 28 dias, após a cura completa dos corpos de prova, os resultados obtidos na execução do ensaio de resistência à compressão foram: para o traço referencial, resistência média de 26,75 Mpa; para o traço 1 – substituição de 5% de areia por rejeito de calcário, resistência média de 28,10 Mpa; para o traço 2 – substituição de 10%, resistência média de 27,73 Mpa; e para o traço 3 - substituição de 15%, resistência máxima de 27,17 Mpa. Ou seja, o traço 1 obteve o melhor desempenho entre todos, porém com baixa variância de valores entre as médias, onde T1 ganhou 4,80% de resistência em comparação com o traço referencial, enquanto T2 e T3 ganharam 3,55% e 1,53%, respectivamente.

Tabela 4 – Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 28 dias.

Traços	Tensão de ruptura à compressão			Média
	CP 1	CP 2	CP 3	
T0 - Ref.	26,00	27,50	-	26,75
T1 - Sub. 5%	28,10	28,10	-	28,10
T2 - Sub. 10%	27,40	27,70	28,10	27,73
T3 - Sub. 15%	26,40	26,40	28,70	27,17

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 3 - Tensões de ruptura à compressão dos CP's aos 28 dias.



Fonte: Autoria própria.

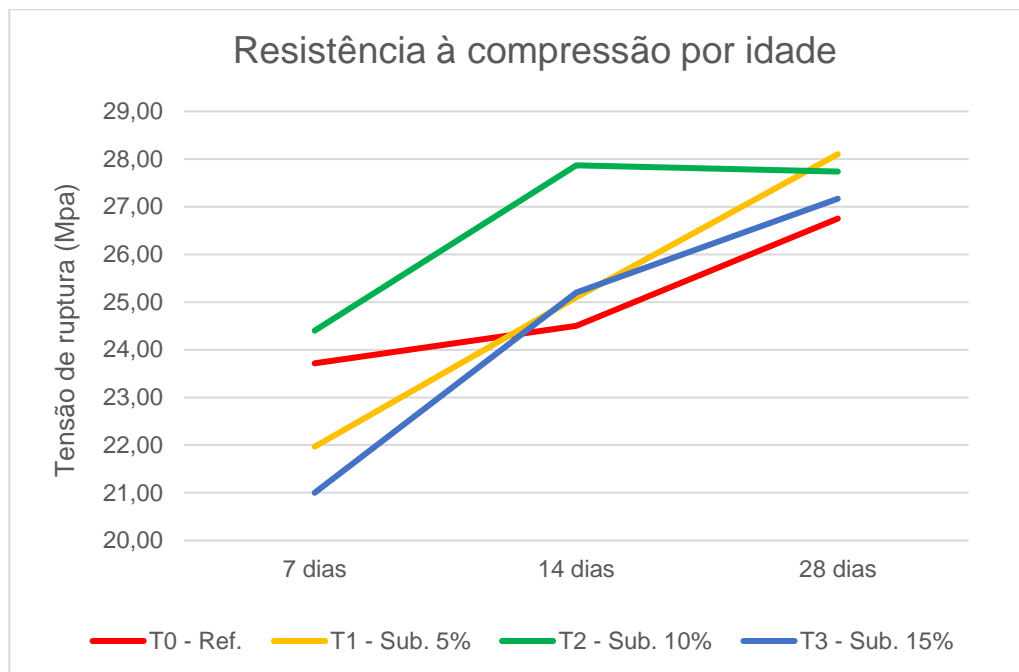
Assim, pode-se demonstrar o comportamento característico da argamassa nas idades analisadas. De acordo com o gráfico 4, percebe-se que o traço com substituição de 10% de areia por rejeito de calcário se mostrou mais eficaz no ganho de resistência nas duas primeiras idades comparado aos outros traços estudados, mas resistiu menos que o traço com substituição de 5% após a cura completa.

Tabela 5 – Resistência média, em Mpa, à compressão dos CP's à cada idade.

Traços	7 dias	14 dias	28 dias
T0 - Ref.	23,72	24,50	26,75
T1 - Sub. 5%	21,97	25,10	28,10
T2 - Sub. 10%	24,40	27,87	27,73
T3 - Sub. 15%	21,00	25,20	27,17

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 4 – Resistência à compressão dos CP's à cada idade.



Fonte: Autoria própria.

Para o traço T1 – substituição de 5%, observou-se no decorrer das idades que o rejeito nessa concentração reduz o ganho de resistência até os 7 dias de cura, em comparação com o traço referencial (T0), entretanto, nas duas últimas idades, 14 e 28 dias, há uma elevação da resistência à compressão, ultrapassando a resistência do traço T0. O traço T2 – substituição de 10% demonstra que esse teor de rejeito é o que se comporta melhor no ganho de resistência das primeiras idades, onde, tanto aos 7, como aos 14 dias, obteve melhor desempenho em comparação ao T0, além de também resistir melhor na cura completa, apesar de que, se comparado a T1, resiste pouco menos aos 28 dias. Já o traço T3 – substituição de 15% se comporta de maneira similar a T1, com menor resistência nos primeiros dias de cura em comparação a T0, mas acentuando o ganho de resistência a partir dos 14 dias.

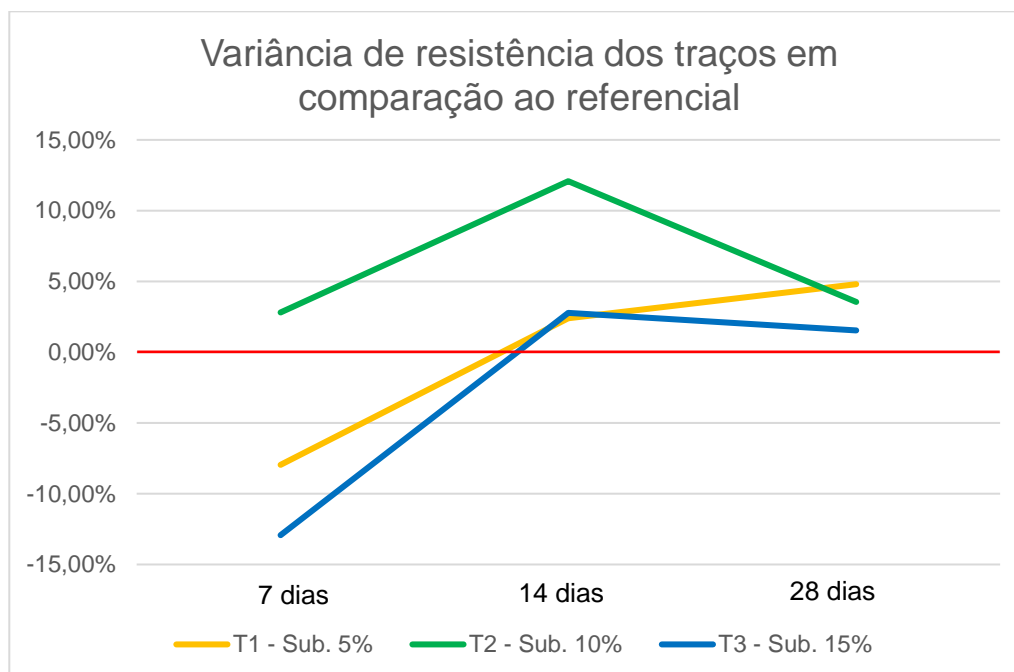
Durante a execução da moldagem dos corpos de prova, percebeu-se que os traços se tornavam menos maleáveis à medida em que se aumentava a concentração de rejeito, o que sugere que há um maior consumo de água. Isso também pode ter influenciado no ganho de resistência dos traços com teores de rejeito em relação ao traço referencial, uma vez que a porosidade da argamassa reduziu.

Tabela 6 - Variância de resistência dos traços em comparação ao traço referencial.

Traços	7 dias	14 dias	28 dias
T1 - Sub. 5%	-7,96%	2,39%	4,80%
T2 - Sub. 10%	2,81%	12,08%	3,55%
T3 - Sub. 15%	-12,93%	2,78%	1,53%

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 5 – Variância de resistência dos traços em comparação ao traço referencial.



Fonte: Autoria própria.

Analisando a variância da resistência a compressão dos traços com teores de rejeito de calcário na argamassa em comparação ao traço referencial, observa-se que o traço T1 e T3 tiveram alta variância negativa aos 7 dias em relação à resistência do traço T0 (referencial), e com baixa variância a partir dos 14 dias. O traço T2 se destacou por ter sido o único a variar positivamente em relação ao traço referencial na idade de 7 dias, e chegando a resistir mais de

12% na idade de 14 dias. Após a cura completa, a variância de todos os traços se manteve abaixo dos 5%.

Ao comparar os resultados obtidos nos ensaios com a pesquisa de Silva (2008), notou-se que há similaridade no comportamento dos traços com proporções de rejeito de calcário, com uma tendência de menor resistência à medida em que se aumentam as proporções, entretanto, enquanto na pesquisa de Silva o traço referencial teve melhor desempenho que os demais, nesta, ocorreu o contrário; aos 28 dias de cura, os traços com rejeito de calcário obtiveram uma maior resistência à compressão, apesar de os valores serem pouco significativos, isso pode se dar em razão da concentração de calcário dos rejeitos estudados serem diferentes, sendo o rejeito utilizado por Silva menor concentrado em calcário que o utilizado neste trabalho. Sendo que no caso do rejeito utilizado neste trabalho, há uma grande concentração de calcário devido ao processo de beneficiamento da Minerax.

4.2 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO

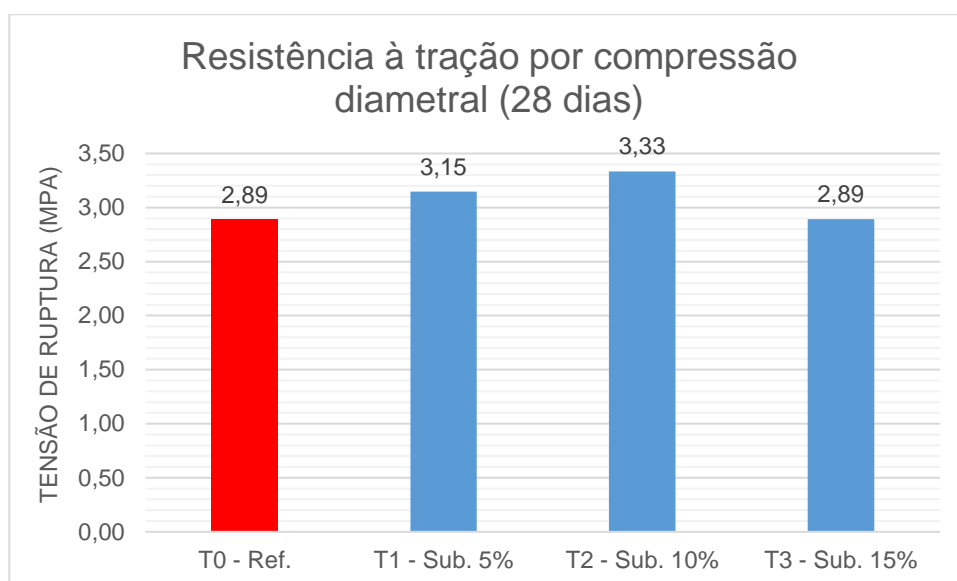
Após 28 dias de cura, com a execução do ensaio de determinação de tração por compressão diametral tornou-se possível determinar a resistência máxima suportada para cada corpo de prova. Sabe-se que a resistência à tração costuma ser próxima de 10% da resistência à compressão em concretos ou argamassas (RELAÇÃO... 2013), e nesta pesquisa, os resultados obtidos foram:

Tabela 7 – Resistência à tração por compressão diametral dos CP's aos 28 dias.

Traços	Tensão de ruptura à tração			Média
	CP 1	CP 2	CP 3	
T0 - Ref.	3,31	3,26	2,09	2,89
T1 - Sub. 5%	3,28	3,26	2,90	3,15
T2 - Sub. 10%	3,42	3,17	3,41	3,33
T3 - Sub. 15%	2,70	3,23	2,75	2,89

Fonte: Autoria própria.

Gráfico 6 – Resistência à tração por compressão diametral dos CP's aos 28 dias.



Fonte: Autoria própria.

Com isso, pode-se concluir que o traço T2 resiste melhor aos esforços de tração quando comparado aos outros traços. Porém, apesar de a substituição de areia por rejeito de calcário mostrar-se relevante para elevar o ganho de resistência à compressão, este comportamento não se repete para tração, visto a resistência de todos os traços na idade de 28 dias possui baixa variância, o que demonstra que o rejeito de calcário na composição de argamassa não interfere na resistência à tração.

4.3 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

Com a utilização do programa estatístico Sisvar 5.6, por meio de média harmônica foi possível realizar a análise de variância significativa ao teste de Tukey que demonstrou que o traço T2 – 10% de rejeito de calcário tem variância significativa para o ensaio de compressão aos 14 dias, enquanto ao restante não há significativa variância entre os tratamentos.

Tabela 8 – Valores médios dos testes de compressão aos 7,14 e 28 dias e tração aos 28 dias, com relação aos diferentes traços.

	COMPRESSÃO 7 DIAS	COMPRESSÃO 14 DIAS	COMPRESSÃO 28 DIAS	TRAÇÃO
p>F	0,47 ns	0,009*	0,64 ns	0,43 ns
TRATAMENTOS				

CV%	12,20	3,71	14,02	11,83
TUKEY				
T0 - Ref.	21,43 a	24,50 b	25,63 a	2,88 a
T1 - Sub. 5%	21,96 a	24,06 b	24,13 a	3,14 a
T2 - Sub. 10%	24,40 a	27,86 a	27,73 a	3,33 a
T3 - Sub. 15%	21,00 a	25,20 b	27,16 a	2,89 a

NS – não significativo; * significativo ao Teste de Tukey a 5%.

4.4 ANÁLISE ECONÔMICA

Para realizar a análise da viabilidade econômica, levou-se em consideração o custo unitário de cada um dos constituintes da argamassa. Sendo o custo de 95 reais para o metro cúbico de areia, 20 reais a tonelada de rejeito de calcário, e 22,50 reais o preço do saco de cimento. Sendo assim, orçou-se a produção de 1 metro cúbico de argamassa.

Tabela 9 – Custo dos materiais para a produção de 1m³ de argamassa comum.

Materiais	Kg	Valor unitário		Valor total	
Cimento	530,79	R\$	0,450	R\$	238,85
Areia	1592,36	R\$	0,053	R\$	84,04
Água	318,47	R\$	0,012	R\$	3,76
				R\$	326,66

Fonte: Autoria própria.

Tabela 10 – Custo da produção de 1m³ de argamassa com substituição de 5% de areia por rejeito de calcário.

Materiais	Kg	Valor unitário		Valor total	
Cimento	530,79	R\$	0,450	R\$	238,85
Areia	1512,74	R\$	0,053	R\$	79,84
Rejeito	79,62	R\$	0,020	R\$	1,59
Água	318,47	R\$	0,012	R\$	3,76
				R\$	324,05

Fonte: Autoria própria.

Tabela 11 – Custo da produção de 1m³ de argamassa com substituição de 10% de areia por rejeito de calcário.

Materiais	Kg	Valor unitário	Valor total
Cimento	530,79	R\$ 0,450	R\$ 238,85
Areia	1433,12	R\$ 0,053	R\$ 75,64
Rejeito	159,24	R\$ 0,020	R\$ 3,18
Água	318,47	R\$ 0,012	R\$ 3,76
			R\$ 321,44

Fonte: Autoria própria.

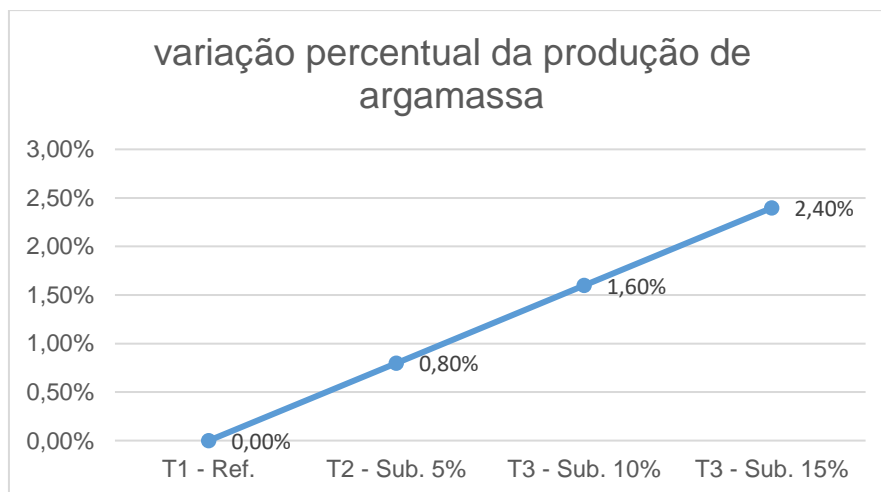
Tabela 12 – Custo da produção de 1m³ de argamassa com substituição de 15% de areia por rejeito de calcário.

Materiais	Kg	Valor unitário	Valor total
Cimento	530,79	R\$ 0,450	R\$ 238,85
Areia	1353,50	R\$ 0,053	R\$ 71,43
Rejeito	238,85	R\$ 0,020	R\$ 4,78
Água	318,47	R\$ 0,012	R\$ 3,76
			R\$ 318,83

Fonte: Autoria própria.

Para produzir um metro cúbico de argamassa sem rejeito de calcário, o valor total é de 326,66 reais, enquanto a produção de argamassa com substituição de areia por rejeito de calcário reduz em 2,61 reais para o T1 – substituição de 5%, 5,22 reais para o T2 – substituição de 10%, e 7,83 reais para o T3 – substituição de 15%.

Gráfico 7 – variação percentual da produção de 1 metro cúbico de argamassa para cada traço em relação ao referencial.



Fonte: Autoria própria.

Como o custo unitário do rejeito de calcário é mais barato que o da areia, quanto maior for a substituição da areia pelo rejeito, maior será o lucro, sendo que a cada 5% de rejeito, há um acréscimo de lucro de 0,80% do custo total. Porém é necessário atentar-se à quantidade que será substituída, para que não haja prejuízo nas qualidades mecânicas da argamassa.

A produção da argamassa com substituição parcial para a região do município de Xambioá é viável economicamente, mas deve-se atentar ao fato de que estes preços podem mudar se for o caso da utilização do rejeito em regiões distantes do município, uma vez que o transporte do material pode influenciar no aumento do custo de produção. Além disso, a variação de preço não é muito alta, entretanto, ao oferecer uma alternativa de disposição final do rejeito, torna importante a consideração da execução em regiões mais distantes da cidade de Xambioá.

5 CONCLUSÕES

A realização deste trabalho possibilitou comprovar que a utilização de rejeito de calcário em reação com o Cimento Portland e agregados miúdos é eficiente e benéfica na concentração ideal para os parâmetros estudados, podendo reduzir o consumo de matéria prima (areia), que tem relação direta com a proteção ao meio ambiente, uma vez que também oferece uma alternativa de disposição dos resíduos sólidos que hoje, são dispostos à céu aberto.

A substituição de areia por rejeito de calcário na argamassa mostrou que, para os traços de 5% e 15% em comparação ao traço referencial, é plausível realizar, pois as características estudadas mantiveram-se semelhantes, com poucas diferenças para as aplicações do material (argamassa) na construção; e que para o traço de 10%, esses parâmetros de estudo se mostraram melhores do que os outros traços por ter ganho maior resistência nas primeiras idades, e, apesar de resistir menos que o traço T1 - com 5% de rejeito de calcário, variou menos que 1,30%, valor praticamente insignificante. Entretanto, pode-se assumir que a resistência tende a cair e prejudicar o desempenho mecânico da argamassa se essa proporção de substituição parcial de areia se aumente acentuadamente, já que, após a cura completa, quanto maior foi a concentração de rejeito de calcário, menor foi a resistência final, e, ainda que ambos tenham resistido mais que o traço referencial, o traço T3 (15% de rejeito de calcário) variou apenas 1,53% comparado ao referencial, por isso, deve-se atentar à chance de que uma concentração maior que 15% em substituição de areia possa prejudicar o desempenho da argamassa. No caso da resistência à tração, os traços obtiveram pouca variância entre eles, tendo como melhor resultado o traço T2, com substituição de 10%, mas vale ressaltar que o traço T3, com substituição de 15% de areia por rejeito de calcário resiste menos aos esforços de tração, em comparação ao T1 e T2, o que sugere que pode haver perda de resistência à tração caso esse teor de rejeito seja maior que 15%.

Verificou-se que para fins econômicos, quanto maior for a concentração de rejeito em substituição de areia, maior será o lucro em relação ao custo de produção de argamassa composta apenas por cimento e areia, entretanto, deve-se também atentar-se ao fato de que a concentração muito alta de rejeito pode acabar sendo prejudicial, não só pela tendência à perda de resistência à tração

e compressão, como também pela maior exposição da argamassa a possíveis agentes agressivos que podem estar presentes na composição do rejeito.

Os resultados obtidos com esse trabalho podem contribuir para o desenvolvimento de novas pesquisas que assegurem que a substituição de areia por rejeito de calcário, e talvez rejeitos de outros minerais não-metálicos, é realmente benéfica. Isso facilitaria a empresas que ainda utilizam o método de barragens à montante para a disposição final de rejeitos comecem a desativar estes tipos de obras, reaproveitando parte dos rejeitos e secundamente adotando métodos mais seguros para disposição final de grandes volumes de rejeito.

Para pesquisas futuras, pode-se:

- Aumentar as proporções de rejeito de calcário;
- Verificar a absorção de água;
- Realizar ensaios de arrancamento;
- Analisar o coeficiente de dilatação;
- Estudar o comportamento mecânico da utilização do rejeito de minério no concreto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Congresso. Câmara dos Deputados. Lei nº 12305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. 2. ed. Brasil: Edições Câmara, Disponível em: <https://fld.com.br/catadores/pdf/politica_residuos_solidos.pdf>. Acesso em: 07 set. 2018.

BRASIL. José Otávio da Silva. Ministério de Minas e Energia. **PERFIL DO CALCÁRIO**. JMendo Consultoria, 2009. 56 p. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/1138775/1256650/P27_RT38_Perfil_do_Calcario.pdf/461b5021-2a80-4b1c-9c90-5ebfc243fb50>. Acesso em: 08 out. 2018.

DUARTE, Anderson Pires. **CLASSIFICAÇÃO DAS BARRAGENS DE CONTENÇÃO DE REJEITOS DE MINERAÇÃO E DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS NO ESTADO DE MINAS GERAIS EM RELAÇÃO AO POTENCIAL DE RISCO**. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2008. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUDB-8AUPNJ>>. Acesso em: 04 out. 2018.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO (IBRAM). Informações **sobre a economia mineral brasileira 2015**. Brasília, 2015^a, 25 p. Disponível em: <<http://www.ibram.org.br/sites/1300/1382/00005836.pdf>>. Acesso em: 02 set. 2018.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (Brasil). **Tratamento de rejeitos é solução alternativa e economicamente viável à barragem de mineradoras**. 2016. Disponível em: <http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1043>. Acesso em: 05 out. 2018.

INSTITUTO TECNOLÓGICO VALE (Ed.). **Tecnologia de Barragens e Disposição de Rejeitos**. 20---. Disponível em: <<http://www.itv.org/linha-de-pesquisa/tecnologia-de-barragens-e-disposicao-de-rejeitos/>>. Acesso em: 06 out. 2018.

MACHADO, Ângela Franciely et al. APROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINERAÇÃO NA BLENDAGEM DE CALCÁRIO COMERCIAL PARA CORREÇÃO DO SOLO. In: I ENCONTRO DE CIÊNCIA DO SOLO DA AMAZÔNIA ORIENTAL, 2014, Gurupi. **Anais...**, Gurupi: Amazon Soil, 2014. p. 17 - 27. Disponível em: <<http://www.gurupi.uft.edu.br/amazonsoil/pdf/03.pdf>>. Acesso em: 21 ago. 2018.

MACHADO, Francisco Pessoa; PESSOA, Antônia de Castro Côrtes; SABADIA, José Antonio Beltrão. Aproveitamento de Rejeitos de Caieiras na Melhora Significativa da Resistência dos Índices de Pavimentação de Estradas e Mitigação de Dano Ambiental. **Revista de Geologia**, [s. L.], v. 28, n. 1, p.54-70, jan./jun. 2015. Semestral. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufc.br/geologia/article/viewFile/1764/1507>>. Acesso em: 10 out. 2018.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas S.a., 2003.

MINERADORA lucra com eliminação de barragem de rejeitos. 2013. Disponível em: <<https://www.noticiasdeminerao.com/sustentabilidade/news/1132407/mineradora-lucra-com-elimina%C3%A7%C3%A3o-barragem-rejeitos>>. Acesso em: 01 out. 2018.

POTENCIAL mineral do Tocantins é divulgado em exposição internacional do setor. 2017. Disponível em: <<https://conexaoto.com.br/2017/09/19/potencial-mineral-do-tocantins-e-divulgado-em-exposicao-internacional-do-setor>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

PROANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani César de. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo, RS: Feevale, 2013. 276 p.

REVISTA PESQUISA FAPESP. [s. L.], fev. 2016. Mensal. Disponível em: <<http://revistapesquisa.fapesp.br/2016/02/19/rejeitos-da-mineracao/>>. Acesso em: 09 out. 2018.

SAMPAIO, João Alves; ALMEIDA, Salvador Luiz Matos de (Ed.). Clacário e Dolomito: Usos e Especificações. In: BRASIL. Adão Benvindo da Luz, Fernando A. Freitas Lins. Cetem - Centro de Tecnologia Mineral (Org.). **Rochas e Minerais Industriais**. 2. ed. Rio de Janeiro. 2008. Cap. 16, p. 363.

SANTANA, Maciano da Silva et al. OS IMPACTOS SOCIOAMBIENTAIS EM XAMBIOÁ-TO COM A IMPLANTAÇÃO DA FÁBRICA DE CIMENTO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEÓGRAFOS, 7., 2014, Vitória, Es. **Anais...**, Vitória, Es: Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2014. Disponível em: <[http://www.cbgb2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404071844_ARQUIVO_Os impactossocioambientaisemXambioa-TOcomaimplantacaodafabricadecimento.pdf](http://www.cbgb2014.agb.org.br/resources/anais/1/1404071844_ARQUIVO_Os%20impactossocioambientaisemXambioa-TOcomaimplantacaodafabricadecimento.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2018.

SANT'ANA FILHO, Joaquim Nery de. **ESTUDO DE REAPROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS DAS BARRAGENS DE MINÉRIO DE FERRO PARA**

FABRICAÇÃO DE BLOCOS INTERTRAVADOS DE USO EM PÁTIOS INDUSTRIAIS E ALTO TRÁFEGO. 2013. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013. Disponível em: <<http://www.reciclos.ufop.br/media/uploads/downloads/DissertacaoJoaquim.pdf>>. Acesso em: 20 ago. 2018.

RELAÇÃO entre compressão e resistência à tração do concreto. 2013. Disponível em: <<http://www.clubedoconcreto.com.br/2013/12/relacao-entre-compressao-e-resistencia.html>>. Acesso em: 30 abr. 2019.

RIO DE JANEIRO. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Ministério do Meio Ambiente (Comp.). **Resoluções do Conama.** Brasília: Rio+20, 2012. 1126 p.

SILVA, Achiles Dias Alves da. **Aproveitamento de Rejeito de Calcário do Cariri Cearense na Formulação de Argamassa.** 2008. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Minerais e Rochas Industriais, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

TANUS, Henrique Moraes. **IMPORTÂNCIA DA INSPEÇÃO NA PREVENÇÃO DE FALHAS EM BARRAGENS:** Estudo de caso. 2018. 103 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10023356.pdf>>. Acesso em: 03 out. 2018.

7 RELATÓRIO ANTIPLÁGIO

CopySpider Scholar

Documentos candidatos

reciclos.ufop.br/med... [2,1%]

sigaa.ufm.br/sigaa/... [1,24%]

researchgate.net/pub...
[0,67%]

boranaobra.com.br/bo...
[0,24%]

comunidade.rockconte...
[0,22%]

passeidireto.com/arq...
[0,15%]

itv.org/linha-de-pes... [0,14%]

scholarworks.umass.e...
[0,04%]

quatorrodas.abril.co... [0,04%]

Arquivo de entrada: TCC II Thiago .docx (7188 termos)

Arquivo encontrado		Total de termos	Termos comuns	Similaridade (%)	
reciclos.ufop.br/med...	Visualizar	23185	626	2,1	
sigaa.ufm.br/sigaa/...	Visualizar	15831	283	1,24	
researchgate.net/pub...	Visualizar	7090	96	0,67	
boranaobra.com.br/bo...	Visualizar	1413	21	0,24	
comunidade.rockconte...	Visualizar	2259	21	0,22	
passeidireto.com/arq...	Visualizar	741	12	0,15	
itv.org/linha-de-pes...	Visualizar	333	11	0,14	
scholarworks.umass.e...	Visualizar	4364	5	0,04	
quatorrodas.abril.co...	Visualizar	1012	4	0,04	
r.search.yahoo.com/_...	-	-	-	-	Parece que o documento foi removido do site ou nunca existiu. HTTP