

# ESTUDO TÉCNICO-ECONÔMICO CONCEITUAL PARA O REAPROVEITAMENTO DE REJEITO DE MINERAÇÃO NA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA DE ELEMENTOS DE FRICÇÃO

*Roberto Petry*

*Orientador: Prof. Me. Diogo Peixoto Cordova*

## ABSTRACT

The mining activity is responsible for the production of a large quantity of tailings and waste material. Over the last few decades environmental laws and requirements have been tightened regarding the disposal and recovery of materials and areas for future use. This case study is located in the district of Minas do Camaquã, in the municipality of Caçapava do Sul, state of Rio Grande do Sul, where an old dam of copper mining with about 122 ha has no future use. The tailings were deposited in the dam during 13 years, until the end of the copper mining carried out by Companhia Brasileira de Cobre (CBC). Previous technical work was done with the objective of characterizing the material deposited there, suggesting possible uses. The objective of this work is to conceptually analyze the technical and economic feasibility of using the tailings material as raw material in the manufacture of friction elements in the automotive industry. As methodology, sampling, drying and classifications techniques, fluorescence and x-ray diffraction assays were used from the tailings samples. The tests were performed in partnership with a manufacturer of friction elements, based in the city of Caxias do Sul / RS. Positive results were obtained in these trials, suggesting a sustainable reuse of mining waste, which today has no economic value, and thus reducing some of the environmental liabilities existing in this case study. A conceptual economic study was also performed, suggesting a possible operationalization of the tailings production process, obtaining a conceptual production cost that can be considered coherent when compared with commercially similar materials. The obtained results allow to conclude that the material has the qualities to be used in the composite of the friction elements, in an economically viable way, but future tests are still necessary in order to define the most appropriate proportions.

Keywords: minas do camaquã, tailings, copper, reuse, environment, mine closure.

## RESUMO

A atividade de mineração é responsável pela produção de uma grande quantidade de rejeitos e material estéril, sendo que ao longo das últimas décadas tornaram-se mais rígidas as leis e exigências ambientais quanto a disposição e recuperação dos materiais e das áreas para uso futuro. O estudo de caso deste trabalho se localiza no distrito de Minas do Camaquã, no município de Caçapava do Sul, estado do Rio Grande do Sul, onde uma antiga barragem de rejeitos de mineração de cobre, com cerca de 122 ha, segue sem uso futuro bem definido. Os rejeitos foram depositados na barragem ao longo de 13 anos, até a paralisação da mineração de cobre realizada pela Companhia Brasileira de Cobre (CBC). Trabalhos técnicos anteriores foram realizados com objetivo de caracterizar o material de rejeito, ali depositado, sugerindo possíveis usos. O objetivo deste trabalho é analisar conceitualmente a viabilidade técnica e econômica da utilização do material de rejeito como matéria prima na fabricação de elementos de fricção na indústria automotiva. Como metodologia, foram empregadas técnicas de amostragem, secagem e peneiramento, ensaios de fluorescência e de difração de Raio-X a partir das amostras de rejeito. Os ensaios foram realizados em parceria com uma empresa fabricante dos elementos de fricção, sediada na cidade de Caxias do Sul/RS. Resultados positivos foram obtidos nestes ensaios, sugerindo um reaproveitamento sustentável do rejeito de mineração, hoje sem nenhum valor econômico, e assim diminuindo parte do passivo ambiental existente neste estudo de caso. Um estudo econômico conceitual foi também realizado, sugerindo uma possível operacionalização do processo de produção do rejeito, sendo obtido um custo de produção conceitual que pode ser considerando coerente quando comparado com materiais comercialmente

semelhantes. Os resultados obtidos permitem concluir que o material possui as qualidades para ser utilizado no composto dos elementos de fricção, de maneira economicamente viável, porém sendo ainda necessários ensaios futuros com o fim de definir as proporções mais adequadas.

Palavras-chave: minas do camaquã, barragem, cobre, reaproveitamento, meio ambiente, fechamento de mina.

## 1 Introdução

Uma das atividades mais antigas da humanidade é a mineração. A partir da revolução industrial ocorreu uma crescente necessidade de minério para suprir a indústria. Junto com a extração mineral existe uma grande geração de resíduos que pode se tornar um problema ambiental. Quando estes resíduos não são reaproveitados acabam sendo estocados em bacias de contenção. Estas possuem altíssimos custos de construção e manutenção e ainda existe o risco de rompimento e desastres ambientais (Kato, 2000).

Existem diversos trabalhos que apresentam diferentes possibilidades de reaproveitamento dos resíduos da mineração de metálicos, como por exemplo, a incorporação destes materiais em massas cerâmicas. Mas quando se trata de rejeitos de minérios metálicos quase não existem estudos sobre o reaproveitamento deste tipo de resíduos (Araujo, 2009).

As empresas de mineração atualmente realizam estudos para minimizar os impactos ambientais, através de ações mitigadoras. Estratégias para este fim são as que aproveitam os rejeitos/resíduos, agregando valor aos subprodutos e também reduzindo os impactos ambientais. Como exemplo, os rejeitos de minério de Ferro que muitas vezes são utilizados em materiais de construção, na fabricação de artefatos cerâmicos e para fornecer elementos traços aos fertilizantes (Wolff, 2009; Zhang et al., 2006).

O estudo de caso deste trabalho se localiza no distrito de Minas do Camaquã, distante 70 km de Caçapava do Sul e 310 km de Porto Alegre, no estado do Rio Grande do Sul (Figura 1). A área onde está localizada a barragem de rejeitos é próxima da antiga mineração de cobre das Minas do Camaquã, realizada pela Companhia Brasileira de Cobre (CBC).

Inicialmente a lavra era realizada por via subterrânea desde os primórdios do século XVIII. A partir de 1980 a CBC passou por um processo de atualização, utilizando equipamentos mecanizados e modernos para a época, além de investir em exploração com novos mapeamentos e sondagens reavaliando as reservas e apresentando um novo relatório chamado “Projeto Expansão Camaquã”. Este relatório introduzia o projeto de lavra a céu aberto, reavaliando as reservas que já existiam nas minas São Luiz e Uruguai, e com um aumento na escala de produção de 1500 para 5500 toneladas/dia. Com a implantação da lavra a céu aberto da mina Uruguai, mais a lavra da mina subterrânea São Luiz, foi necessária a criação de uma barragem de rejeitos com capacidade para suportar esse acréscimo (Nogueira, 2012).

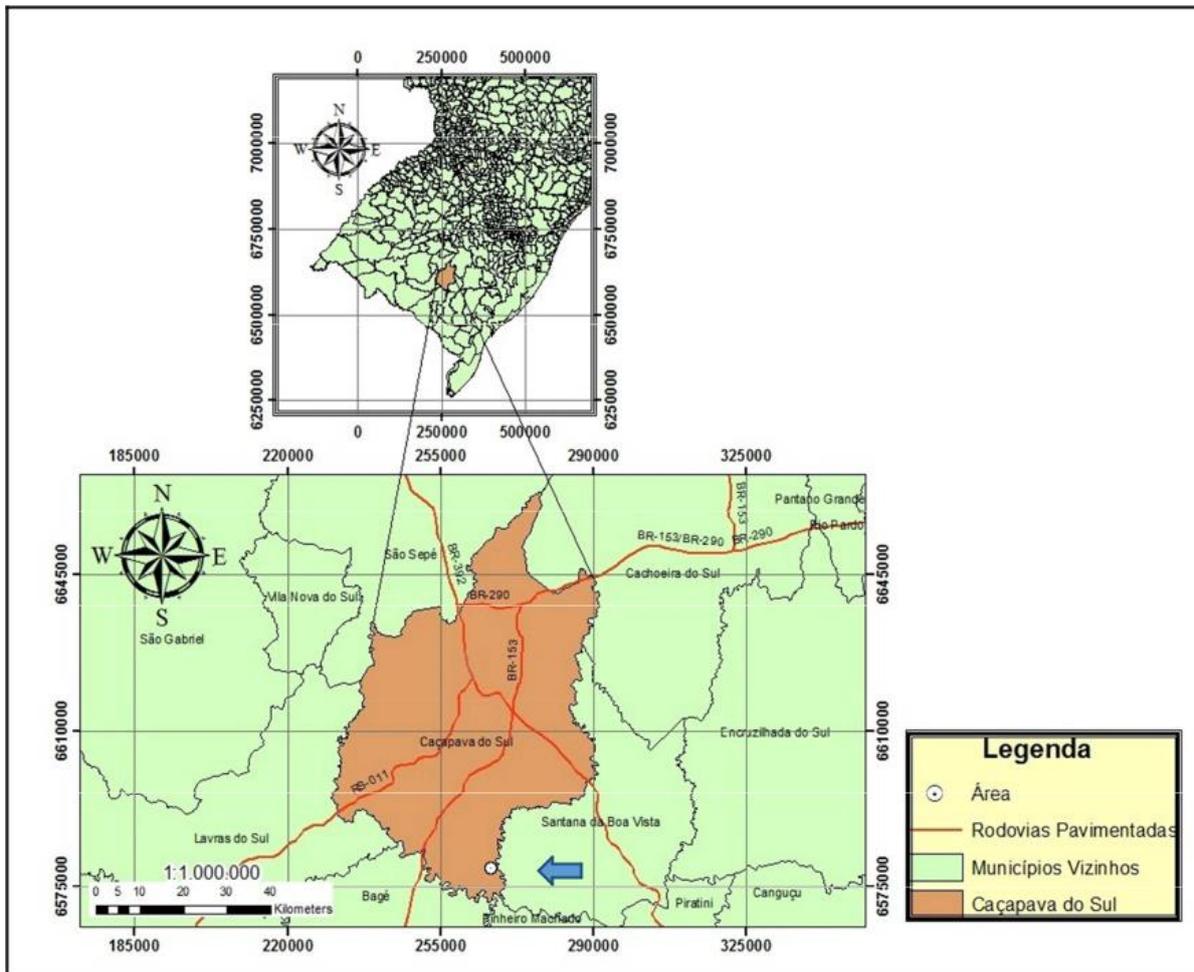


Figura 1 - Mapa de situação e localização do estudo de caso

A CBC encerrou suas atividades de lavra em novembro de 1996 devido a vários fatores, dos quais podemos citar: as dificuldades em manter uma alta produtividade de cobre e o baixo preço do minério que concorria com o cobre importado do Chile. Esses fatores somados tornaram inviável a continuidade de suas atividades, ficando desde então esse material sem perspectivas de reaproveitamento (Fleck, Zago, 2013).

Conforme dados fornecidos pela CBC, a barragem de rejeitos ocupa hoje uma área de 122,28 há (Figura 2), que durante 13 anos recebeu todo o rejeito do sistema de concentração de cobre da empresa. A produção de rejeito era de aproximadamente 224 t/h de material em polpa com turnos de trabalho de 24 h/dia, 313 dia/ano, somando um total de 21.874.944 t de rejeitos armazenados na barragem segundo o projeto da barragem (Abib, 1979).



*Figura 2 - Mapa de localização da barragem*

Fleck e Zago (2013) realizaram estudos e a caracterização destes rejeitos para um possível reaproveitamento. Foram realizados ensaios granulométricos, análises mineralógicas, além de análises de composição química por absorção atômica e por espectrômetro de raio-x.

### ***1.1 Objetivo Geral***

Analisar a viabilidade técnica e econômica no uso de material de rejeito da antiga mineração de cobre de Minas do Camaquã como matéria prima na fabricação de elementos de fricção na indústria automotiva. Possibilitar um reaproveitamento sustentável do rejeito de mineração, diminuindo o passivo ambiental existente neste estudo de caso.

### ***1.2 Objetivos Específicos***

- i. Executar um plano de amostragem representativo do material na barragem de rejeitos;
- ii. Preparar as amostras segundo os critérios estabelecidos.
- iii. Analisar os resultados obtidos, definindo a viabilidade técnica de utilização do rejeito de mineração para este fim.
- iv. A partir de resultados positivos, foi elaborado de um estudo econômico conceitual da extração e comercialização do rejeito.

## 2 Revisão Bibliográfica

### 2.1 Caracterização do material de rejeito, composição e granulometria

No trabalho realizado por Fleck e Zago (2013) é apresentado um estudo preliminar a respeito dos principais elementos, bem como análise granulométrica dos materiais constituintes da barragem de rejeitos das Minas do Camaquã. Neste trabalho foi realizada a amostragem de 43 pontos da barragem de rejeito, sendo que posteriormente estas amostras passaram pelos processos de secagem, homogeneização e quarteamento.

Para a análise de granulometria foi realizado o peneiramento a seco com peneiras da serie Tyler. A análise mineralógica foi realizada através dos seguintes passos: o primeiro estágio foi o fracionamento das amostras, abrangendo a classificação por tamanhos, por densidade e suscetibilidade magnética, além da quantificação dos minerais de interesse para o presente estudo. Também foi realizada a separação dos minerais ferromagnéticos, a análise por densidade, a identificação e quantificação dos minerais presentes. A identificação dos minerais presentes foi realizada após a separação magnética e a separação por densidade com lupa da marca Quimis cuja capacidade de aumento é de 4 vezes. As análises dos elementos químicos foram realizadas através de duas metodologias, análises químicas por absorção atômica na UFRGS (Tabela 1) além da análise dos elementos químicos pelo Espectrômetro de Raio-X na UNIPAMPA.

Tabela 1 - Resultados das análises químicas realizadas na UFRGS

<b>Resultados das análises químicas UFRGS</b>					
<b>Ponto</b>	<b>Cobre (%)</b>	<b>Ferro (%)</b>	<b>Alumínio (%)</b>	<b>Zinco (%)</b>	<b>Prata (%)</b>
<b>2</b>	0,255	14,25	5,47	0,006	0,0035
<b>5</b>	0,261	5,68	7,81	X	X
<b>7</b>	0,088	6,71	7,92	X	X
<b>9</b>	0,258	5,93	6,73	X	X
<b>10</b>	0,263	5,96	5,8	0,011	0,0039
<b>11</b>	0,266	10,62	8,99	X	X
<b>Composta</b>	0,089	13,31	X	X	0,0055

Fonte: Fleck e Zago (2013)

Quanto aos resultados obtidos na análise granulométrica, se observa que a maioria das granulometrias, em torno de 82,8% em peso, se concentra entre os tamanhos 0,25 mm (malha de 60 #) e 0,0625 mm (malha de 250 #), já a densidade média das mesmas fica abaixo de 2,80 mg/l conforme análises densimétricas realizada em alguns pontos. Quanto aos resultados obtidos da análise mineralógica, a maioria dos minerais do rejeito são feldspatos e quartzo, sendo esses os elementos considerados ganga na concentração do cobre (Tabela 2).

Tabela 2 - Resultados das análises mineralógicas

Análise mineralógica	
Mineral	Quantidade (%)
Feldspatos	38,48
Quartzo	38,03
Ferromagnesianos	15,6
Outros	7,89

Fonte: Fleck e Zago (2013)

## 2.2 Processo de fabricação das pastilhas de freio e lonas

Segundo Nicholson (1995), podemos falar que além do método de fabricação a fórmula do material de atrito é tão importante quanto. Na figura 3 é apresentado um fluxograma do processo de fabricação de elementos de fricção como pastilhas e lonas de freio.

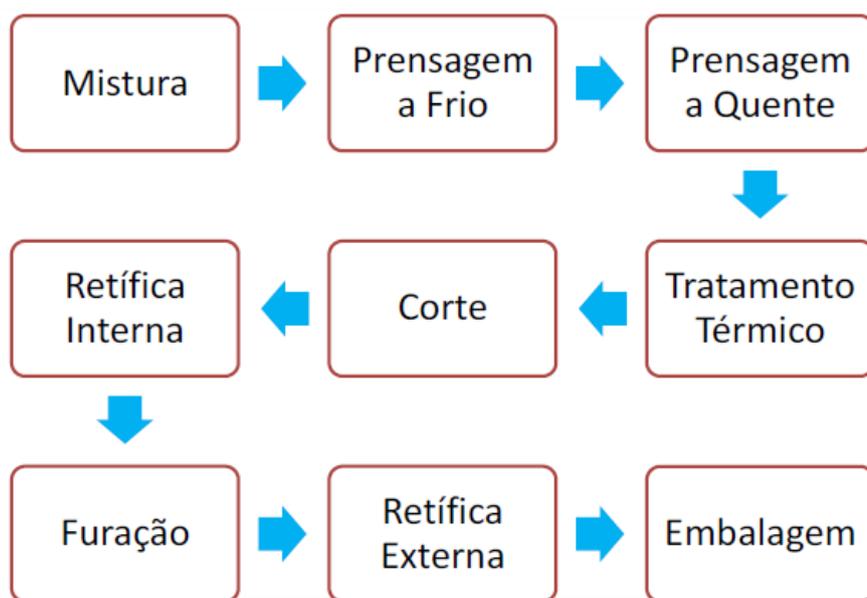


Figura 3 - Fluxograma do processo de fabricação de elementos de fricção. Fonte: Betanin (2015).

A placa metálica que compõe a pastilha de freio é produzida e cortada de acordo com o formato específico de cada sistema de freio e o material de atrito é preparado separado e prensado a esta chapa. Para a produção do elemento de atrito é preciso homogeneizar o material e para obter um resultado satisfatório devem ser observados os seguintes parâmetros: temperatura, velocidade de rotação do misturador, a ordem de adição dos componentes e o tempo total da mistura. Após a mistura completa dos componentes acontece a fusão entre a plaqueta e o material de atrito.

As formulações utilizadas na fabricação dos elementos de fricção são separadas em quatro grupos:

- I. As orgânicas são compostas por matérias primas predominantemente orgânicas, menor custo e produzem baixo nível de ruído;
- II. As semi-metálicas são compostas por matérias primas orgânicas somado com metais (organometálicas), as fórmulas contêm latão, aço, ferro e/ou alumínio, custo e durabilidade superior, promovendo um nível de ruído maior.
- III. As metálicas usam matérias-primas metálicas tendo um custo, ruído e vida útil maior;
- IV. Por último, as sinterizadas ou cerâmicas com sua formulação composta de metais e cerâmicas, materiais esse em pó como alumínio, cobre, bronze, ferro, cerâmicas que são aplicadas para moldagem em altas temperaturas e pressões, possuem alto custo e desempenho elevado.

### ***2.3 Ensaios para análise do desempenho de elementos de fricção***

Segundo o Manual Técnico da Fras-le (2012) nos elementos de fricção o fator de maior importância é o coeficiente de atrito. O valor do coeficiente de atrito deve ser praticamente constante em uma determinada faixa de temperatura. A estabilidade do atrito é um fator primordial em função da temperatura, velocidade, pressão e fatores externos. Não necessariamente a falta de freio é culpa do material de atrito, podendo ser falha do sistema hidráulico ou a ar.

O desgaste dos materiais de atrito é necessário para que se possa assegurar a renovação da superfície de atrito. Um material de atrito de boa qualidade deve ser também um isolante térmico que protege as partes mais profundas, sobre as quais está instalado, das altas temperaturas geradas durante os acionamentos do freio.

No ensaio de *fade* é feita a verificação do efeito da temperatura no comportamento do atrito, por meio de quinze frenagens consecutivas, seguindo uma escala logarítmica, onde a temperatura inicial da primeira frenagem é 100°C e a da décima quinta chega a 550°C. Já o ensaio de recuperação é realizado após o ensaio de *fade*, com o objetivo de analisar a eficiência de frenagem depois de serem atingidas altas temperaturas, pois os materiais de boa qualidade possuem a capacidade de recuperar suas propriedades originais com o resfriamento.

A durabilidade ou vida útil do material de atrito é um fator de extrema importância e depende da qualidade selecionada para a aplicação. O fator que determina o quão durável será o elemento de fricção é a temperatura. Os materiais de atrito são aglutinados por resinas orgânicas, impondo limitações na sua temperatura de utilização e, caso os freios sejam operados constantemente em temperaturas elevadas, o desgaste dos materiais de atrito será acelerado.

## **3 Materiais e Métodos**

A metodologia que foi adotada para realização do trabalho consistiu inicialmente da re-amostragem do material de rejeito nos mesmos 43 pontos coletados por Fleck e Zago (2013), com uso de aparelho GPS. Dado o fato de que a amostragem havia sido realizada a 6 anos atrás, a área da barragem apresentou uma certa recuperação e conseqüente avanço da vegetação das bordas para o centro. Com isso apenas 24 dos pontos originais puderam ser re-

amostrados, e 5 novos pontos de amostragem foram incluídos de maneira a representar os novos limites da barragem, o que pode ser observado na (Figura 4). Além disso, cabe salientar que a coleta de amostras se deu com trado simples, de pequeno alcance de profundidade, cerca de 30cm da superfície. Diferentemente da amostragem realizada por Fleck e Zago (2013) que era a uma profundidade média de 1m.

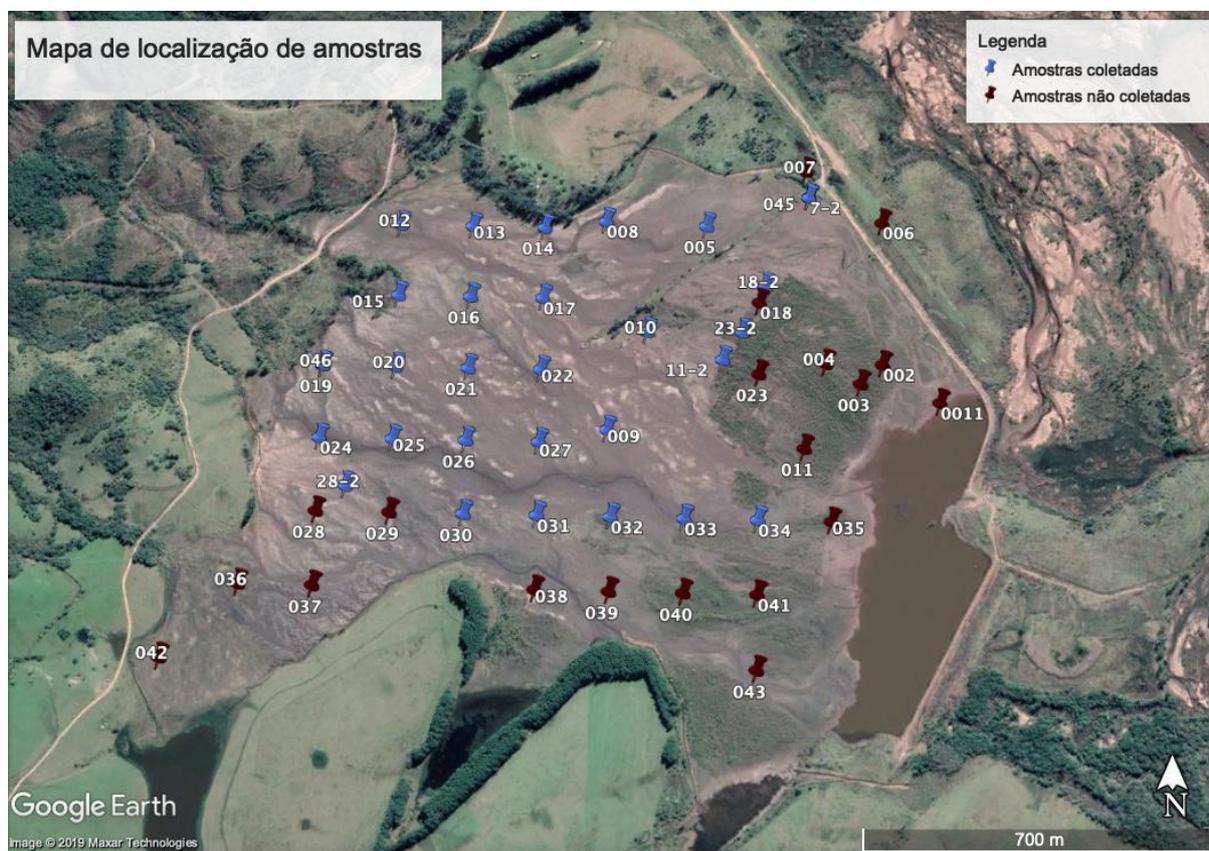


Figura 4 – Mapa de localização das amostras coletadas. Em vermelho os pontos onde não foi possível a realização de coleta de amostras devido avanço da área de vegetação.

Após a coleta das amostras, o material de rejeito foi homogeneizado e preparado no laboratório da UNIPAMPA (LATRAM) com a diminuição da umidade natural através da utilização de secagem temporizada por cerca de 48 horas em estufa para secagem, regulado em uma temperatura aproximada de 60°.

Posteriormente a etapa de secagem foi realizada o peneiramento com objetivo de limitar a granulometria máxima do material, aplicando se dois cortes granulométricos diferentes. Um dos cortes em peneira de 0,5mm, onde praticamente todo o material foi passante e outro corte em peneira de 0,125mm. Esses cortes foram definidos em comum acordo com a empresa fabricante das pastilhas de freio, já para a realização dos ensaios de caracterização técnica do material.

De maneira a realizar-se uma complementação e comparação dos resultados entre as amostras superficiais e aquelas em profundidade de 1m, coletadas por Fleck e Zago (2013), estas também foram enviadas para análise, tendo sido doadas pelos autores do trabalho. Após a amostragem, secagem de amostras e corte granulométrico, foi realizado o envio das amostras e acompanhamento no laboratório da empresa parceira. Ensaios de fluorescência de Raio-X (FRX) e Difração de Raio-X (DRX) foram realizados no laboratório da empresa, para

definição de porcentagem de materiais voláteis, cinzas, massa específica, densidade aparente e teor de elementos principais. A partir dos resultados positivos dos ensaios, o estudo passou a ser realizado com o foco de analisar a viabilidade econômica do uso do material, sob a análise de um fluxo de caixa anual simplificado. A figura 5 resume a metodologia utilizada durante o trabalho.

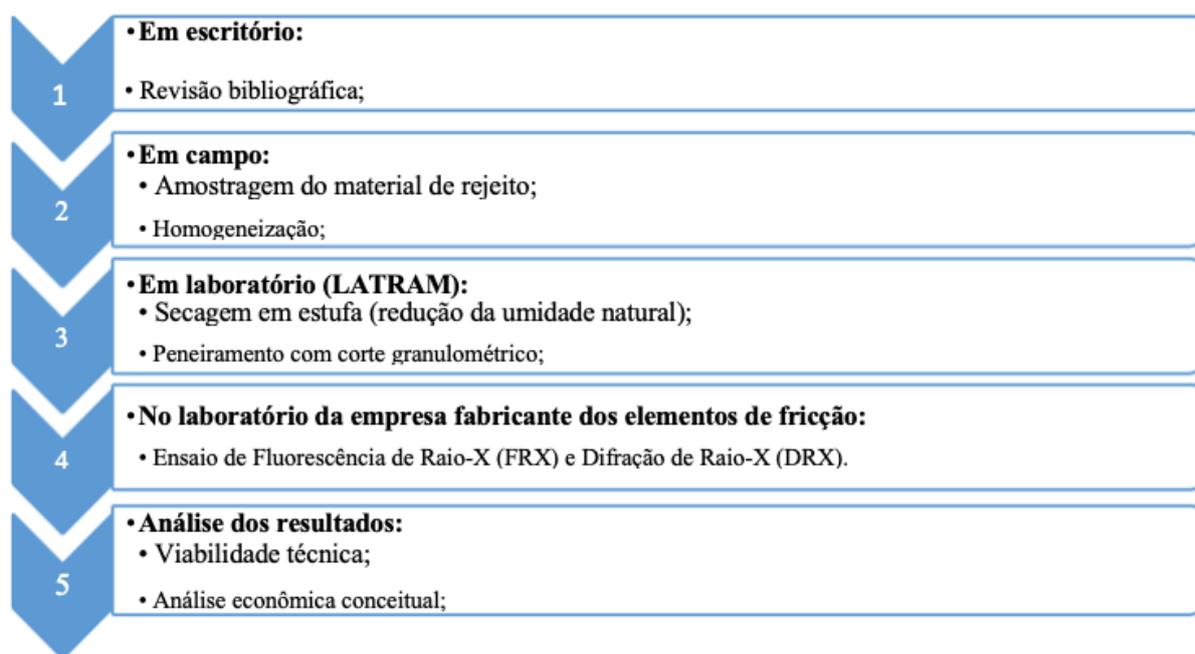


Figura 5 – Metodologia adotada para realização do trabalho

## 4 Análise dos resultados e discussões

### 4.1 Resultados dos ensaios de análise química

As amostras do material de rejeito da barragem das Minas do Camaquã, coletadas em superfície e a 1m metro de profundidade, após secagem, foram peneiradas em duas granulometrias, 0,5mm e 0,125mm, como mostra a figura 6.

A partir das amostras enviadas para a empresa parceira, realizaram-se análises da viabilidade do material como matéria prima alternativa aquelas atualmente empregadas na fabricação dos elementos de fricção. Com o resultado dos ensaios preliminares obtivemos que a granulometria e os teores de voláteis e cinzas são compatíveis com o uso no processo fabril atualmente utilizado pela empresa.

Foi constatado ainda nessa análise que as amostras coletadas a 1m de profundidade e as coletadas na superfície possuem diferentes teores de Silício, Alumínio, Magnésio, Cobre e Manganês. Também foram encontrado traços de zircônio nas amostras com granulometrias inferiores a 0,125mm indicando que existe uma maior ocorrência de minerais contendo esse elemento em granulometrias menores.

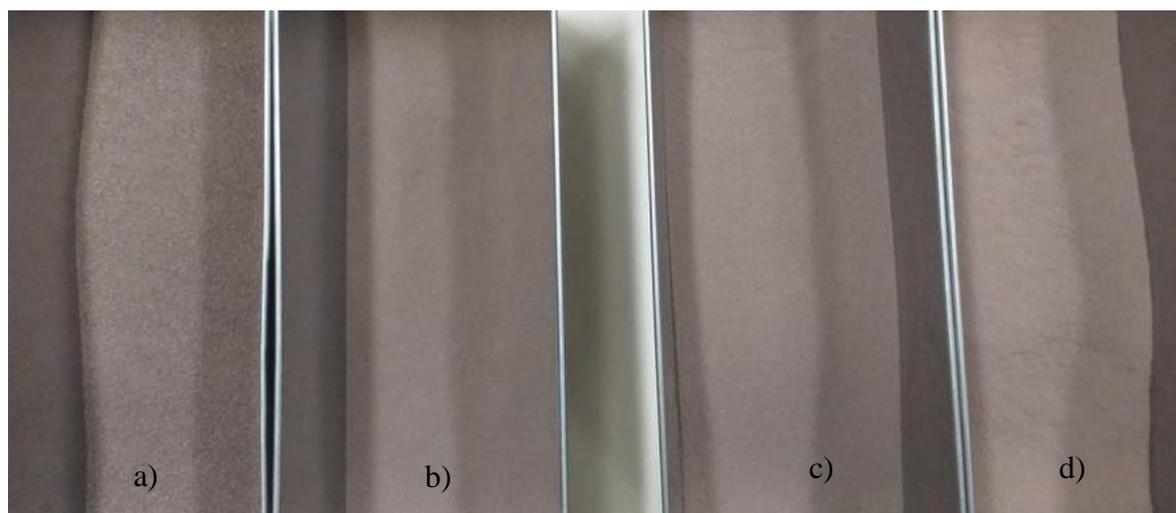


Figura 6 - Amostras peneiradas e enviadas a empresa parceira. (A) Superficial passante em 0,5mm Superficial passante em 0,125mm (C) 1m de profundidade passante em 0,5mm (D) 1m de profundidade passante em 0,125mm.

Como visto na Tabela 3, os altos teores de Si e Al encontrados nas amostras indicam grande possibilidade de uso do material de rejeito como carga atritante, dentro da composição dos elementos de fricção.

Tabela 3 - Análise de quantificação de elementos químicos por fluorescência de Raio X.

Elemento	Unidade	30 cm da Superfície		1m da Superfície	
		0,5 mm	0,125 mm	0,5 mm	0,125mm
<b>Teor de Si</b>	%	61,5	60,7	63,6	63,2
<b>Teor de Al</b>	%	14,4	14,3	12,9	13,0
<b>Teor de Fe</b>	%	10,5	11,2	10,8	11,3
<b>Teor de K</b>	%	4,7	4,4	4,3	4,3

Também foi realizada a quantificação de fases por Difração de Raios X - DRX, onde o resultado está de acordo com a quantificação de elementos químicos realizada por FRX, confirmando a presença predominante de quartzo e alguns minerais compostos pelos demais elementos encontrados por FRX, como mostra a tabela 4. Não foi possível associar alguns elementos às fases encontradas por DRX, porém, à exceção do elemento Bário (Ba), esses elementos foram encontrados em quantidades inferiores a 0.5% na investigação por FRX.

Tabela 4 - Quantificação de Fases por Difração de Raios X.

Elementos Principais		
<b>Quartzo</b>	%	78,0
<b>Chamosita</b>	%	9,6
<b>Hematita</b>	%	4,8
<b>Dolomita</b>	%	4,7
<b>Potássio</b>	%	2,9

Altos teores de quartzo são comumente associados à incidência de ruído na fabricação de elementos de fricção. No entanto, segundo a empresa diversas cargas minerais com teores similares continuam em uso, em quantidades controladas, devido ao seu baixo custo. A divergência entre a composição química do material em profundidade e em superfície é considerada pequena, mas é sugerida a investigação em profundidades maiores buscando avaliar sua variação. Para uso em materiais de atrito, seria proposta a homogeneização da mistura de material extraído, com a intenção de obter uma composição química mais constante entre os lotes de envio. Segunda a análise realizada o material de rejeito pode ser avaliado como produto para substituição das cargas atritantes atuais.

#### ***4.2 Estudo de viabilidade econômica***

Com os resultados positivos da viabilidade técnica do reaproveitamento do material de rejeito, foi realizado um estudo preliminar de viabilidade econômica para retirada, transporte e comercialização do material a ser utilizado na fabricação de elementos de fricção. Também foi levada em consideração a questão da umidade do material, que nos períodos de chuvas de inverno passaria dos 10% de umidade, limite aceitável pela empresa fabricante dos elementos de fricção. Dessa forma foi feita uma análise econômica que considera o uso de antigos galpões desativados da mineradora, distantes cerca de 2,5 km da barragem, como local para armazenamento do material de rejeito com o objetivo de homogeneização e de secagem natural do material (figura 7).

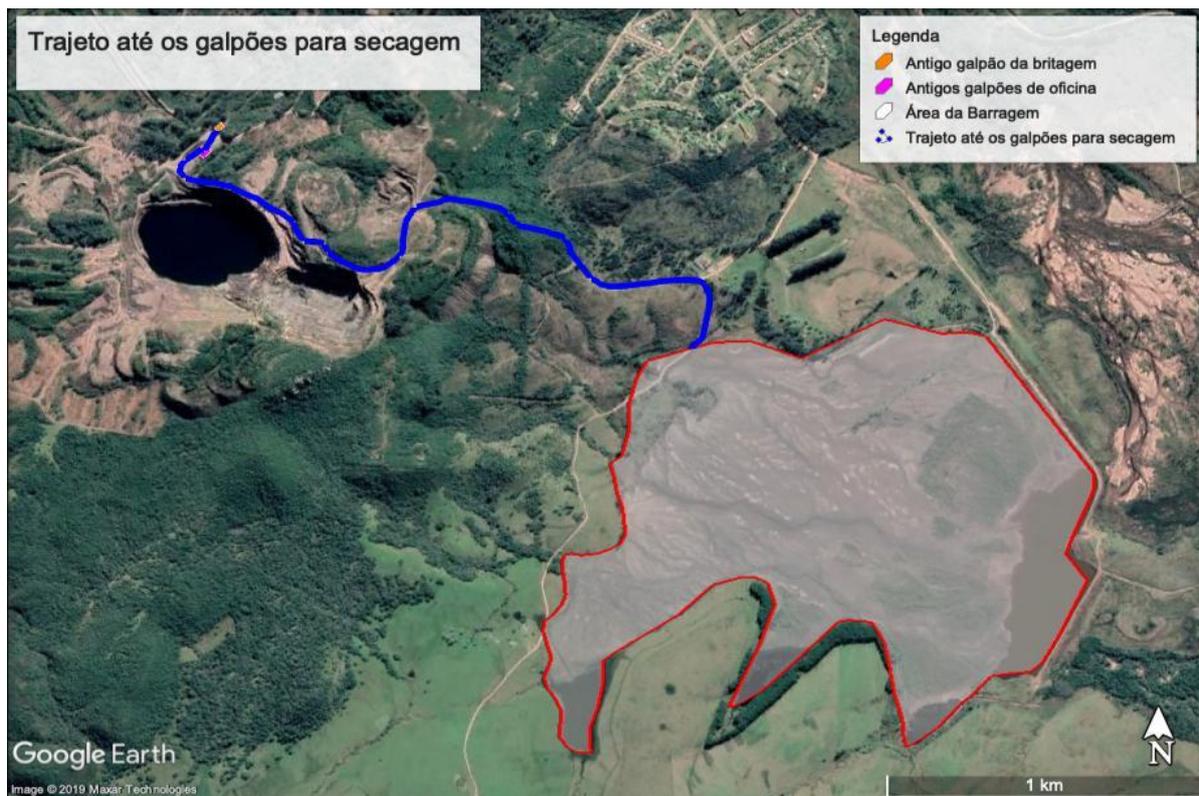


Figura 7 – Mapa mostrando o trajeto de cerca de 2,5 km a ser percorrido entre a barragem e os galpões de homogeneização.

Os galpões possuem uma capacidade de armazenamento da ordem de  $1.680 \text{ m}^3$  (considerando uma pilha com altura média de 2,5m para fácil manuseio da escavadeira). Observando-se a média histórica dos últimos 30 anos na cidade de Caçapava do Sul, os períodos de maior pluviosidade e temperaturas médias menores ocorrem entre junho e outubro de cada ano, portanto nestes períodos do ano seria necessário manter um estoque razoável nos galpões da empresa, realizando homogeneização com material seco armazenado de outros períodos e o material com umidade elevada retirado da barragem, sendo realizado um processo de secagem natural. Para esta homogeneização se considera a utilização de uma carregadeira de  $1,3$  a  $1,9 \text{ m}^3$  com custo mensal na faixa de R\$ 25.000,00 com o operador para 220h/mês e consumo de combustível de aproximadamente 20 litros/hora segundo o fabricante. Para este trajeto entre barragem e galpões seriam utilizados caminhões basculantes próprios da empresa, com capacidade de  $16 \text{ m}^3$ . Nos galpões ainda seriam utilizados silos para carregamento do material de rejeito em *bigbags* de aproximadamente 1 tonelada cada um.

Para o posterior carregamento dos *bigbags* nos caminhões se planeja a utilização de ponte rolante, instalado no teto do galpão, ou como alternativa o uso de empilhadeira. Para a retirada do material da barragem é necessária a utilização de um conjunto escavadeira-caminhão. No estudo foi considerada a contratação de uma escavadeira, a partir de orçamentos realizados na região, sendo obtido o valor médio para locação mensal de uma escavadeira de capacidade de  $1,8 \text{ m}^3$ , de R\$ 25.000,00 com o operador para 220h/mês. O consumo de diesel para um equipamento deste porte é de aproximadamente 25 litros/hora segundo o fabricante.

Já para o transporte de Minas do Camaquã até a empresa distante 400 km, localizada na cidade de Caxias do Sul/RS, foram considerados caminhões rodoviários de Peso Bruto Total (P.B.T.) de 45 toneladas, sendo a média de preço do frete de aproximadamente 100,00 R\$/tonelada transportada.

Em média segundo informações obtidas com a empresa fabricante de elementos de fricção, poderiam chegar a utilizar cerca de 50t do material de rejeito diariamente. Portanto, com base nesse dado foi possível estimar os custos atuais envolvidos para uma produção de cerca de 18.000 t/ano. O custo de extração do material com a escavadeira é um alto custo fixo mensal, e devido a baixa produção exigida seria inviável seu aluguel mensal. Dessa forma se planeja a utilização da escavadeira somente durante 6 meses do ano. Durante estes seis meses todo o material necessário seria movimentado e armazenado nos galpões e parte também na área externa. Sendo retomado das pilhas com a carregadeira que irá trabalhar nos 12 meses do ano. Dessa forma foi realizado o cálculo econômico simplificado para obtenção do custo de produção por tonelada do material, agregando-se ainda uma porcentagem de custos extras que não foram devidamente detalhados, como licenciamento ambiental da extração do material, custos administrativos, etc., como mostra a tabela 5.

O material de rejeito por não possuir valor agregado não tem um preço de mercado estabelecido, dessa forma a melhor comparação seria a do valor de mercado da areia fina, pois seu principal componente é o quartzo e sua granulometria é muito semelhante.

Considerando um contrato entre a CBC e a empresa compradora do material, com duração a partir de 2 anos, passaria a ser interessante para a CBC adquirir equipamentos próprios para operacionalizar a produção. Assim diminuindo o custo do produto e gerando maior retorno financeiro.

Tabela 5 - Viabilidade econômica da retirada do material.

	<b>Preço</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Valor Anual</b>
<b>Escavadeira com operador</b>	R\$ 25.000,00/mês	6	R\$ 150.000,00
<b>Consumo de diesel</b>	R\$ 3,80/litro	18.480 litros	R\$ 70.224,00
<b>Caminhão com motorista</b>	R\$ 100,00/tonelada	18.000 t	R\$ 1.800.000,00
<b>Carregadeira com operador</b>	R\$ 25.000,00/mês	12	R\$ 300.000,00
<b>Consumo de diesel</b>	R\$ 3,80/litro	29.568 litros	R\$ 112.358,40
<b>Empilhadeira</b>	R\$ 3.000,00/mês	12	R\$ 36.000,00
<b>Custos Gerais Administrativos</b>	R\$ 5.000,00/mês	12	R\$ 60.000,00
<b>Custos ambientais e licenciamento</b>	R\$ 5.000,00/mês	12	R\$ 60.000,00
<b>TOTAL ANUAL</b>			<b>R\$ 2.588.582,40</b>
<b>Custo unitário de produção e entrega</b>			<b>R\$ 143,81/tonelada</b>

O material de rejeito por não possuir valor agregado não tem um preço de mercado estabelecido, dessa forma a melhor comparação seria a do valor de mercado da areia fina, pois seu principal componente é o quartzo e sua granulometria é muito semelhante.

Considerando um contrato entre a CBC e a empresa compradora do material, com duração a partir de 2 anos, passaria a ser interessante para a CBC adquirir equipamentos próprios para operacionalizar a produção, ou seja, atinge-se o *payback* do investimento inicial. Com isso diminuindo o custo do produto e gerando maior retorno financeiro para a CBC.

### 4.3 Recuperação natural da área e aspecto ambiental

A área da barragem de rejeitos encontra-se paralisada, sem lançamento de rejeitos desde o ano de 1996, quando ocorreu a paralisação das atividades de mineração. Fleck e Zago (2013) realizaram as coletas na região e dos 43 pontos amostrados naquela ocasião somente 24 puderam ser amostrados na coleta realizada este ano. Isso ocorreu devido o fato que as áreas revegetadas nestes últimos 6 anos aumentaram drasticamente, dessa forma os pontos não coletados estavam com muita matéria orgânica na camada superficial, ou ainda árvores de pequeno porte que foram plantadas durante os últimos 5 anos pela CBC como tentativa de reestabelecer a vegetação da área desertificada. Possivelmente deve haver uma tendência de crescimento da vegetação nas áreas da barragem com menor profundidade de rejeito.

Do ponto de vista ambiental atualmente a área da barragem encontra-se ainda sem um uso futuro bem definido. Portanto toda e qualquer forma de tentativa de recuperação da área com reestabelecimento da vegetação natural e ecossistema é de extrema relevância. Nesse ponto dada a baixa quantidade de material que seria recuperado da barragem, cerca de 18.000 toneladas/ano, haveria material disponível para pelo menos 1000 anos. Com o retorno financeiro da venda do rejeito para este fim, poderia haver reinvestimento para recuperação

ambiental da área, ou ainda investimentos na elaboração de outros estudos de usabilidade do material.

## 5 Conclusão e considerações finais

Com os resultados positivos das análises feitas com a empresa parceira, concluímos que o material de rejeito das minas do Camaquã pode ser utilizado como componente na fabricação de elementos de fricção, porém a porcentagem a ser utilizada do rejeito na formulação para fabricação do elemento de fricção precisa ainda ser dosada corretamente para manter uma boa relação custo/benefício, pois devido a grande presença de quartzo em granulometria mais grosseira ocorre o aumento do desgaste e a incidência de ruídos nos conjuntos que formam o sistema de freios, pastilha ou lonas, na linha automotiva.

Como sugestões para trabalhos futuros, sugere-se a realização de ensaios específicos de coeficiente de atrito, *fade*, dilatação térmica, entre outros, seguindo as normas técnicas estabelecidas. Sugere-se também maior estudo do comportamento do material em profundidade, para isso sendo necessário o uso de sonda mecanizada. Além dessas questões, a legislação ambiental referente ao reaproveitamento econômico, proveniente da retomada do material da barragem, também precisa ser mais explorada frente ao órgão ambiental do estado do Rio Grande do Sul (FEPAM).

## 6 Referências Bibliográficas

- ABIB, PAULO. Projeto expansão Camaquã. Caçapava do Sul, (1979).
- ARAÚJO, P. A. S. Caracterização de matérias primas regionais e desenvolvimento de formulação de massas cerâmicas para porcelanato. Dissertação de Mestrado. Natal: UFRN, 2009.
- BETANIN, Vilmar. Palestra Técnica Sistemas e Materiais para Freios. Duroline, (2015).
- FRAS-LE. Manual Técnico Linha Leve 2012. Caxias do Sul, 2012.
- FLECK, A; ZAGO, L.E. Estudo e caracterização para o reaproveitamento do rejeito remanescente da mineração de cobre das Minas do Camaquã Caçapava do Sul – RS, 107 pp, (2013).
- KATO, Ricardo Bentes. APLICAÇÃO DO RESÍDUO DA MINERAÇÃO DO COBRE PARA MELHORIA DO DESEMPENHO DE MISTURAS ASFÁLTICAS. REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 14, n. 1.
- NICHOLSON, G.; **Facts About Friction – 100 Years of Brake Linings & Clutch Facings**; P&W Price Enterprises, Inc., 1995.
- NOGUEIRA, Jader Escobar et al. Mineiros e engenheiros: memória, identidade e trabalho nas Minas do Camaquã entre 1970 e 1996. 2012.
- WOLFF, A. P. Caracterização de Rejeitos de Minério de Ferro de Minas da Vale. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mineral) – Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais, 2009.

ZHANG, S.; XUE, X., DUAN, P., et al. (2006). Current situation and comprehensive utilization of iron one tailings resources. *Journal of mining Science*. V.42, n.4, p.403-407.