

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Avaliação de Risco à Saúde Humana da Aplicação de Resíduos Gerados na Lavra e Beneficiamento do Mármore Bege Bahia como Carga no Setor Polimérico

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA

Dilma Vana Rousseff

Presidente

Michel Miguel Elias Temer Lulia

Vice-Presidente

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO

Celso Pansera

Ministro de Estado da Ciência, Tecnologia e Inovação

Emília Maria Silva Ribeiro Curi

Secretária-Executiva

Adalberto Fazzio

Subsecretário de Coordenação das Unidades de Pesquisa

CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL

Fernando Antonio Freitas Lins

Diretor

Arnaldo Alcover Neto

Coordenador de Análises Minerais

Claudio Luiz Schneider

Coordenador de Processos Minerais

Cosme Antônio de Moraes Regly

Coordenador de Planejamento, Gestão e Inovação

Durval Costa Reis

Coordenador de Administração

Francisco Wilson Hollanda Vidal

Coordenador de Apoio Tecnológico às Micro e Pequenas Empresas

Ronaldo Luiz Corrêa dos Santos

Coordenador de Processos Metalúrgicos e Ambientais

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

ISBN -XX-XX

STA - 86

Avaliação de Risco à Saúde Humana da Aplicação de Resíduos Gerados na Lavra e Beneficiamento do Mármore Bege Bahia como Carga no Setor Polimérico

Roberto Carlos da Conceição Ribeiro

Engenheiro Químico, D. SC. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela EQ-UFRJ, Pesquisador do CETEM/MCTI.

Cristiane Andrade de Lima

Engenheira Química, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela EQ-UFRJ, Pesquisadora do Instituto Estadual do Ambiente - INEA.

Tatiana da Costa Reis Moreira

Engenheira Química, M.Sc. em segurança do trabalho.

CETEM/MCTI

2015

SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

Luiz Gonzaga Santos Sobral

Editor

Andréa Camardella de Lima Rizzo

Subeditora

CONSELHO EDITORIAL

Mariza Bezerra de M. Monte (CETEM), Paulo Sergio M. Soares (CETEM), Saulo Rodrigues P. Filho (CETEM), Sílvia Gonçalves Egler (CETEM), Vicente Paulo de Souza (CETEM), Antonio Carlos A. da Costa (UERJ), Fátima Maria Z. Zotin (UERJ), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (PETROBRÁS), Luis Enrique Sanches (EPUSP) e Virginia S. Ciminelli (UFMG).

A Série Tecnologia Ambiental divulga trabalhos relacionados ao setor minerometalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

O conteúdo desse trabalho é de responsabilidade exclusiva do(s) autor(es).

Valéria Cristina de Souza

Coordenação Editorial

João Henrique de Castro Rocha

Programação Visual

Andréa Batista

Editoração Eletrônica

Andrezza Milheiro

Revisão

Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição

Avaliação de risco a saúde humana da aplicação de resíduos gerados na lavra e beneficiamento do mármore bege bahia como carga no setor polimérico / Roberto Carlos da C. Ribeiro __Rio de Janeiro: CETEM/MCTI, 2015.

41p. (Série Tecnologia Ambiental, 86)

1. Mármore bege bahia. 2. Risco à saúde humana. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Lima, Cristiane Andrade. III. Moreira, Tatiana da C. Reis. II. Título. III. Série.

SUMÁRIO

RESUMO	7
ABSTRACT	8
1 INTRODUÇÃO	9
1.1 Mármore Bege Bahia	9
1.2 A Geração de Resíduos do Mármore Bege Bahia	12
1.3 A Aplicação de Resíduos no Setor Polimérico	15
1.4 Avaliação de Risco	16
2 OBJETIVO	21
3 EXPERIMENTAL	22
3.1 Origem dos Materiais	22
3.2 Tratamento dos Resíduos	22
3.3 Análise Química e Mineralógica do Resíduo	22
3.4 Avaliação de Risco à Saúde Humana	23
3.4.1 Formulação do Problema	23
3.4.2 Avaliação de Exposição	23
3.4.3 Avaliação de Toxicidade	24
3.4.4 Caracterização de Risco	24
3.5 Avaliação de Risco Ecológico	24
3.5.1 Formulação do Problema	25
3.5.2 Avaliação da Exposição	25
3.5.3 Avaliação da Toxicidade	25
3.5.4 Caracterização do Risco	25
3.6 Estudo de Pré-Viabilidade Econômica	26

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	26
4.1 Análises Química e Mineralógica do Resíduo	26
4.2.1 Seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)	26
4.2.2 Caracterização dos Receptores Humanos	26
4.2.3 Caracterização das Possíveis Vias de Exposição	27
4.2.4 Modelo Conceitual de Exposição	28
4.2.5 Sumário dos Resultados da Avaliação de Risco à Saúde Humana	28
4.3 Avaliação de Risco Ecológico	29
4.3.1 Seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)	29
4.3.2 Caracterização dos Receptores Ecológicos	29
4.3.3 Modelo Conceitual	30
4.3.4 Sumário dos Resultados da Avaliação de Risco Ecológico	30
5 CONCLUSÕES	30
6 AGRADECIMENTOS	31
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

RESUMO

O processo de corte e beneficiamento do Mármore Bege Bahia gera uma quantidade significativa de resíduos, grossos e finos, que causam graves problemas ambientais. No entanto, esses resíduos apresentam características de interesse, como granulométrica ultrafina, baixos teores de ferro e sílica e altos teores de carbonatos, para serem utilizados como carga no setor polimérico. Porém, para que esse tipo de resíduo possa ser aplicado, faz-se necessário um conhecimento mais específico dos efeitos que ele pode gerar para os seres humanos. Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi verificar o risco à saúde humana da aplicação de resíduos do mármore Bege Bahia como carga no setor polimérico. Na avaliação de risco à saúde humana, os maiores níveis de risco foram para cobalto, no cenário rural para crianças expostas via ingestão de solo. Na avaliação de risco ecológico, os maiores níveis de risco foram para ferro invertebrados, para micro-organismos, invertebrados terrestres e plantas. Entretanto, cabe ressaltar que apenas foi avaliado neste trabalho o risco potencial à saúde humana oriundo da presença de metais nos rejeitos de rochas. Qualquer outro tipo de parâmetros, tais como micro-organismos patogênicos, pesticidas etc., não foram avaliados neste estudo.

Palavras-chave: avaliação de risco à saúde humana, resíduos do mármore Bege Bahia, Mármore Bege Bahia.

ABSTRACT

The cutting process of Beige Bahia Marble generates a significant amount of waste, thick and thin, that generate **serious** environmental problems. However, these wastes have characteristics of interest, **such** as ultrafine particle size, low iron content and high levels of silica and carbonates, and can be used in polymeric sector. However, for this type of waste **to** be applied, it is necessary more specific knowledge of the effects that it can generate in human health. Thus, **this study aimed at observing** the human health risk caused when Beige Bahia Marble waste is utilized as mineral charge in polymer sector. On risk assessment for human health is biggest levels to cobalt, there are rural scenario for children exposed through ingestion of soil. In Ecological Risk Assessment, the biggest levels of risk was iron in invertebrates, microorganisms and plants. However, it is noteworthy that this work was only evaluated the potential risk to human health arising from the presence of metals in waste rock . Any other parameters , such as pathogenic microorganisms , pesticides , etc. We were not evaluated in this study.

Keywords: Human health risk, Beige Bahia marble waste , Beige Bahia Marble.

1 | INTRODUÇÃO

1.1 | Mármore Bege Bahia

O calcário, conhecido comercialmente como Bege Bahia, é um material do tipo ‘calcrete’ ou caliche, abundante na região do rio Salitre. Esta rocha é tipificada na formação Caatinga, de ambiente continental, o calcrete provém de alteração de calcários de formação salitre, de ambiente marinho. É identificado como mármore quando, além do padrão estético tão apreciado no Brasil, evidenciam-se as propriedades físicas e tecnológicas do material utilizado como rocha ornamental.

Extraído e beneficiado na região de Ourolândia, região centro-norte do Estado da Bahia, no vale do Rio Salitre, o mármore Bege Bahia, corresponde petrograficamente ao calcário não metamórfico.

O mármore Bege Bahia tem a ocorrência média de 20% de materiais muito claros e outros 80% claros, o que demonstra a beleza particular da rocha natural (Figura 1) e características para atender as mais diversas tendências.



Fonte: Autor, 2007.

Figura 1. Aspecto macroscópico do mármore Bege Bahia.

1.2 | A geração de resíduos do Mármore Bege Bahia

A retirada de blocos para a produção de chapas gera uma quantidade significativa de resíduos grosseiros, gerado pela quebra das peças durante o corte, e resíduos finos que aparecem na forma de lama. Esta é geralmente constituída de água, de granalha, de cal e de rocha moída que, após o processo, são lançadas no meio ambiente. Após a evaporação da água, o pó resultante se espalha, contaminando o ar e os recursos hídricos, sendo alguns casos canalizada diretamente para os rios e lagos, ou são acumuladas nas serrarias ou pedreiras (Farias, 1995). No que tange ao processo de extração do mármore Bege Bahia, pode-se verificar nas (Figuras 2 a 6) depósitos do resíduo do mármore Bege Bahia em Ourolândia – BA.

O desdobramento e o polimento ocorrem em vias úmidas e tem como consequência direta a geração de resíduos. No desdobramento o resíduo é composto por água e pó de calcário oriundo do bloco que está sendo serrado. A serragem origina, também, fragmentos de calcário, conhecidos como casqueiros (laterais externas do bloco) assim como pedaços de chapas quebradas durante o processo. Na cidade de Ourolândia – BA, **operam, atualmente**, 16 (dezesesseis) teares, todos diamantados, variando no porte entre os teares “normais” com capacidade para blocos de 8 m³ e os denominados “grandes” com capacidade para desdobrar blocos de 10 m³. Os teares “normais” têm capacidade nominal para serrar 26 blocos de mármore por mês. Os teares “grandes” podem atingir a 42 blocos/mês. Em termos de volume de mármore desdobrado, considerando-se que 10 teares são do tipo normal, **estima-se** que mensalmente sejam serrados 2.080 m³. Os restantes, do tipo grande, desdobram 2.520 m³/mês,

perfazendo um volume nominal máximo de 4.600 m³/mês. Estima-se, com base em informações locais, que sejam gerados na serragem 22% de pó de calcário e 8% de casqueiro representado por, aproximadamente, quatro chapas nas laterais externas do bloco. Nominalmente tem-se uma produção máxima de 1.012 m³/mês de pó de calcário e cerca de 368 m³/mês de casqueiro. Na linha do raciocínio acima apresentado e considerando-se as informações prestadas pelos empreendedores pode-se estabelecer que atualmente são serrados aproximadamente 260 blocos de mármore Bege Bahia gerando 513,90 m³ de pó de calcário e 186,87 m³ de casqueiro.

Na etapa de polimento, além da água e resíduos sólidos, o efluente é composto de outros insumos utilizados: resina, catalisador e material abrasivo. Destes insumos a resina é utilizada em maior escala e segundo Calhau *et al.* (2010), é uma resina poliéster orto-tereftálica insaturada, diluída em monômero de estireno, onde numa possível lixiviação para o meio ambiente poderá contaminar solo e os corpos d'água. A mistura dos efluentes provenientes da serragem e os originados pelo polimento provocará a contaminação do pó de mármore (calcário) oriundo do desdobramento dos blocos, podendo inviabilizar o aproveitamento do mesmo, como um subproduto do mármore em função dos efeitos químicos nocivos da resina no meio ambiente ainda serem pouco conhecidos.

Na etapa de polimento, o volume de efluente gerado é enviado para tanques de decantação construídos em série. O processo de decantação para a remoção de partículas sólidas em suspensão é um dos mais comuns no tratamento da água. Consiste na utilização das forças gravitacionais para decantar

as partículas de densidade superior a da água, depositando-as em uma superfície ou zona de armazenamento. Nestes tipos de tratamento uma parcela da água é recuperada podendo retornar ao processo industrial.

Os resíduos sólidos classificados como inertes, não inertes e perigosos devem ser armazenados de maneira segregada, em locais cobertos. Os possíveis riscos de contaminação ambiental estão intimamente relacionados às unidades de polimento, incluindo os serviços de estucagem e resinagem, considerando a utilização de insumos com potencial poluidor nos processos. Os riscos de contaminação ambiental poderão acontecer com o armazenamento indevido dos insumos e unidades operacionais impróprias, ou seja, que não apresentem infra-estrutura adequada, tais como: pisos impermeabilizados, canais de coleta de efluentes do processo, tanques de armazenamento, locais apropriados para armazenamento dos recipientes dos produtos químicos antes, durante e após a sua utilização. Apresentam-se, a seguir, as linhas gerais dos programas e projetos a serem implantados por cada empreendimento adequando-os às suas peculiaridades.

Os programas e projetos para o descarte ou reuso destes materiais devem considerar a avaliação dos riscos de dano ao meio ambiente e saúde ocupacional dos funcionários. As medidas mitigadoras e de remediação deverão:

- Descrever procedimento de coleta e transporte interno, informando se esta é manual ou mecânica.
- Relacionar as especificações dos equipamentos utilizados em cada etapa.

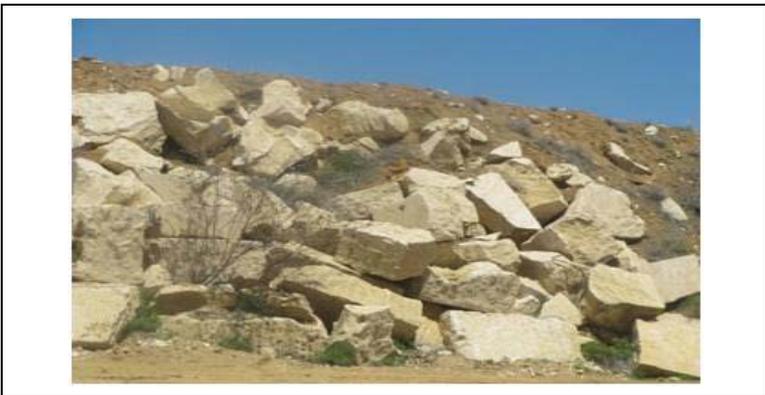
- Descrição das medidas a serem adotadas em caso de rompimento de recipientes, vazamento de líquidos, derrame de resíduos, ou ocorrência de outras situações indesejáveis.
- Descrever procedimentos de higienização dos recipientes e equipamentos e os produtos empregados.
- Apresentar planta baixa do estabelecimento, especificando as rotas dos resíduos.
- Especificar por tipo ou grupo de resíduos, os tipos de recipientes utilizados para o acondicionamento, especificando a capacidade.
- Estabelecer procedimentos para o correto fechamento, vedação e manuseio dos recipientes, de forma a evitar vazamentos e/ou ruptura dos mesmos e portar símbolo de identificação compatível com o tipo de resíduo acondicionado;
- Descrever os procedimentos para higienização dos EPI's, fardamento, equipamentos, recipientes e relação de produtos químicos empregados.
- Relacionar as metas para a redução da geração, bem como os resíduos destinados à reutilização e a reciclagem, especificando classificação e quantidade.
- Especificar destinação dos resíduos passíveis de reutilização ou reciclagem, fornecendo nome da empresa, endereço, telefone/fax e dados do responsável técnico.

- Procedimentos de manejo utilizados na segregação dos resíduos, na origem, coleta interna, armazenamento, transporte utilizado internamente e externamente, reutilização e reciclagem, caso haja e sua destinação final.



Fonte: Autor, 2014.

Figura 2. Disposição de resíduos do mármore Bege Bahia.



Fonte: Autor, 2014.

Figura 3. Pilhas de blocos residuais.



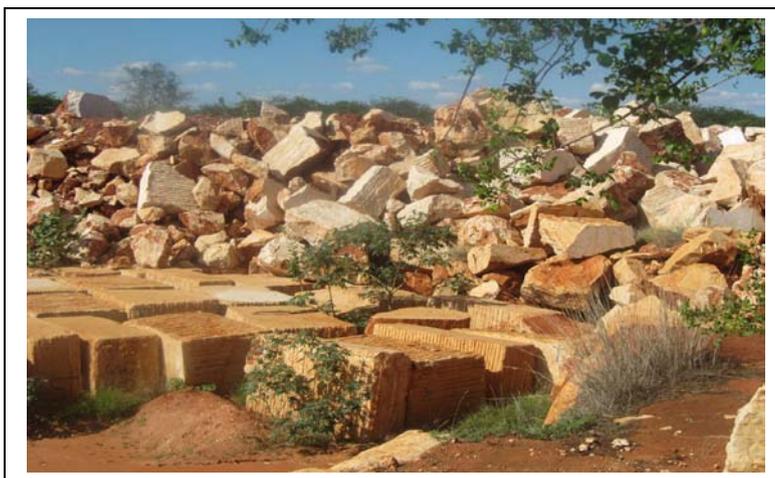
Fonte: Autor, 2014.

Figura 4 Tanques de decantação para o resíduo.



Fonte: Autor, 2014.

Figura 5 Tanques de decantação para o resíduo.



Fonte: Autor, 2014.

Figura 6. Tanques de decantação para o resíduo.

1.3 | A aplicação de resíduos no setor polimérico

A indústria polimérica pode ser uma alternativa para a aplicação dos resíduos na geração de compósitos poliméricos. A adição de cargas minerais aos materiais termoplásticos tem se tornado cada vez mais frequente na indústria de polímeros. As cargas são incorporadas aos plásticos visando melhorar as propriedades térmicas, mecânicas e termo-mecânicas, mudando a aparência superficial e as características de processamento, e em particular reduzindo os custos da composição polimérica. O custo da carga e sua influência no preço final do compósito afeta fortemente a sua escolha (Ramos *et al.*, 1993).

As propriedades de um compósito dependem de alguns fatores, tais como: natureza da matriz, concentração da carga, interação carga-matriz e condições de processamento. No que diz respeito à carga, as características mais importantes são seu tamanho e forma, sua capacidade de agir como agente nucleante para a cristalização e sua capacidade de aderir à matriz.

As interações entre cargas minerais e os polímeros são dificultadas, visto que as cargas minerais apresentam superfícies polares aliadas a elevados valores de área superficial, enquanto que os polímeros são, em sua maioria, apolares. Essa diferença de polaridade prejudica a molhabilidade das cargas minerais pelo polímero e também a sua dispersão.

Durante o processo de mistura entre a carga mineral e o polímero, devido à força de adesão entre as partículas minerais e à tensão interfacial entre estas e o polímero, as partículas de carga mineral tendem a formar agregados. A presença de agregados é particularmente relevante quando da presença de partículas com granulação inferior a 20 μm de diâmetro, situação em que as forças atrativas entre elas podem ser mais importantes que o seu próprio peso. As principais forças que existem entre as partículas de cargas minerais são: forças eletrostáticas, forças de van der Waals e ligações de hidrogênio.

No entanto, para a aplicação de resíduos na matriz polimérica, necessita-se classificar e avaliar o resíduo quanto à sua periculosidade e os riscos que podem causar à saúde humana, bem como os riscos ecológicos que podem gerar.

1.4 | Avaliação de risco

A avaliação de risco à saúde humana fornece uma descrição quantitativa da segurança de um local para os seres humanos. Ela vai além dos padrões ou valores de referência de qualidade ambiental, pois estes valores genéricos não consideram as condições específicas do local, tais como os tipos de pessoas ou seus hábitos alimentares. Além disso, os padrões não estão sempre disponíveis para todos os contaminantes. Por estas razões, a avaliação de risco frequentemente é usada para determinar se os contaminantes específicos de um local representam risco à saúde humana. Os resultados de uma avaliação de risco identificam os compostos químicos de interesse (CQIs) e as sub-áreas dentro da área do estudo que representam risco potencial à saúde humana.

2 | Objetivo

O objetivo deste trabalho foi avaliar o risco ecológico e à saúde humana da aplicação de resíduos gerados na lavra e beneficiamento do Mármore Bege Bahia como carga no setor polimérico.

3 | EXPERIMENTAL

3.1 | Origem dos Materiais

O polipropileno utilizado apresenta índice de fluidez 12g/10 min. (2,16 kg/230°C) e densidade de 0,903 g/cm³.

Os resíduos estudados são oriundos da extração e do beneficiamento do calcário Bege Bahia da região de Ourolândia, localizada no Estado da Bahia.

A amostragem dos resíduos foi realizada em 106 pontos específicos classificados como amostras de 1 a 30 (Bege Bahia), amostras de 31 a 60 (Cava 1) e amostras de 61 a 106 (Travertino). No entanto, após a verificação da homogeneidade química e mineralógica, misturou-se todo resíduo para preparação dos compósitos.

3.2 | Tratamento dos Resíduos

Os resíduos foram peneirados até a obtenção de uma granulometria inferior a 0,037 mm. Após o peneiramento, foram secos em estufa a 70°C, por 24 horas e, em seguida, foram desagregados.

3.3 | Análise Química e Mineralógica do Resíduo

As amostras foram preparadas por prensagem do material a 20 ton por 3 minutos. As pastilhas prensadas foram analisadas em espectrômetro de fluorescência de raios X BRUKER-AXS modelo S4- Explorer, equipado com tubo de ródio;

Para obtenção da análise química semiquantitativa, o espectro gerado a partir da amostra foi avaliado pelo software Spectra plus v.1.6 no modo *standardless method*, sem curva de calibração específica.

3.4 | Avaliação de Risco à Saúde Humana

A avaliação de risco à saúde humana seguiu a metodologia proposta pela agência de proteção ambiental norte-americana (US EPA, 1989), bem como as diretrizes sugeridas na Resolução Conama 420 (2009). Esta avaliação resulta em uma estimativa numérica de risco à saúde humana decorrente da exposição a uma fonte de poluição ambiental. Conceitualmente, tais estimativas podem ser apresentadas como um índice numérico que relaciona os potenciais riscos à saúde humana. Esta metodologia é constituída pelas seguintes etapas:

3.4.1 | Formulação do Problema

A Formulação do Problema é a primeira etapa do processo de avaliação de risco e fornece a base para as etapas seguintes. Para isto, um Modelo Conceitual de Exposição é desenvolvido para compreender quais contaminantes estão presentes no local, bem como os receptores humanos que utilizam a área no presente ou poderão usar no futuro, as vias de contato que são, ou serão, possíveis entre a fonte e os receptores. As combinações de componentes ambientais que permanecem possíveis após este exame inicial do Modelo Conceitual de Exposição foram o enfoque dos esforços para a avaliação de risco à saúde humana.

3.4.2 | Avaliação de Exposição

Este estágio envolveu o uso de resultados analíticos obtidos na caracterização do resíduo Bege Bahia, considerando que o mesmo estaria hipoteticamente disposto no ambiente diretamente no solo sem impermeabilização. Desta forma, o componente-chave da avaliação da exposição foi à avaliação da presença de contaminantes em solo, e as possíveis vias de contato entre os receptores e o meio contaminado como, por exemplo, ingestão e contato dérmico com solo, inalação de poeira dentre outras.

As etapas pertencentes ao processo de avaliação da exposição ambiental estão descritas a seguir:

Identificação dos receptores humanos possivelmente expostos

Nesta etapa, identificaram-se os receptores humanos que possivelmente estariam expostos aos contaminantes presentes no local.

Identificação das potenciais vias de exposição

Nesta etapa, identificaram-se as vias pelas quais os receptores, previamente identificados, poderiam estar expostos aos contaminantes. As vias de exposição foram identificadas considerando-se fontes de liberação, tipos e localização dos agentes tóxicos no local; o provável comportamento ambiental do agente químico; a localização e atividades dos receptores expostos e os pontos de exposição (pontos de potencial contato).

Concentrações utilizadas no cálculo do risco

No cálculo do risco foram utilizadas as concentrações máximas detectadas no resíduo.

Estimativa de dose

Nesta etapa, calculou-se a exposição às substâncias químicas para cada via de exposição identificadas. As estimativas de exposição foram realizadas com auxílio das “Planilhas para Avaliação de Risco em Áreas Contaminadas sob Investigação” elaboradas pela CETESB e disponível no site <http://www.cetesb.sp.gov.br/areas-contaminadas/>.

Especificamente, para esta avaliação foi utilizada, de forma conservadora, a planilha desenvolvida para Residentes de Área Rural.

3.4.3 | Avaliação de Exposição

A avaliação da toxicidade envolve a classificação de contaminantes de acordo com seus potenciais efeitos tóxicos (por exemplo: câncer, efeitos neurológicos, irritação respiratória etc.), e determinação de doses ou concentrações aceitáveis (*i.e.*, concentrações abaixo das quais efeitos indesejáveis à saúde humana não são observáveis).

3.4.4 | Caracterização de Risco

A caracterização do risco é a etapa final do processo de avaliação de risco à saúde humana. Baseado nas informações existentes para a área e no modelo conceitual, uma avaliação quantitativa é realizada para as condições atuais e de futuro

uso potencial. A avaliação quantitativa estima os riscos para vias de exposição específicas de interesse, identificadas no modelo conceitual.

3.5 | Avaliação de Risco Ecológico

A avaliação de risco ecológico envolve uma avaliação da exposição e dos riscos aos receptores ecológicos. Nesta avaliação foram considerados **como** receptores sensíveis os organismos terrestres (plantas, invertebrados terrestres e **micro-organismos**). Essa avaliação seguiu a metodologia proposta pela agência de proteção ambiental americana (US EPA, 1998).

3.5.1 | Caracterização de Risco

Durante este estágio foi realizada uma revisão da literatura, examinando-se os tipos de receptores ecológicos que potencialmente estariam presentes na área de interesse.

Ao final da formulação do problema foi desenvolvido um modelo conceitual relacionando os futuros receptores ecológicos, as vias de exposição e meios contaminados.

3.5.2 | Avaliação da Exposição

A avaliação da exposição foi feita com base nos resultados analíticos de amostras de resíduo (considerado como solo).

3.5.3 | Avaliação da Toxicidade

Esta etapa incluiu a revisão de dados de literatura sobre a toxicidade dos contaminantes aos receptores ecológicos de interesse.

3.5.4 | Caracterização do Risco

Nesta etapa a magnitude e a probabilidade dos riscos foram estimadas para cada receptor. A avaliação de risco para os organismos terrestres (plantas, pequenos mamíferos, invertebrados terrestres e **micro-organismos**) foi baseada na concentração de contaminantes em solo, que foram comparadas aos valores de referência de toxicidade disponíveis na literatura para cada um dos receptores.

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 | Análises Químicas e Mineralógicas do Resíduo

Na Tabela 1 pode-se verificar que o principal componente do resíduo é o cálcio, sendo encontrado naturalmente como carbonato de cálcio (calcita), confirmado no DRX apresentado na Figura 7. O segundo principal componente é o magnésio, encontrado como carbonato de magnésio (dolomita). Esses resultados são compatíveis aos encontrados na literatura (VARELA, PETTER e WOTRUBA, 2006).

A similaridade na composição dos resíduos, nos pontos de coleta, possibilitou a mistura dos mesmos em único material. **Realizou-se** uma pilha e homogeneização para produção dos compósitos.

Tabela 1. Análise química do resíduo de mármore (< 0,037 mm).

Elementos	Amostra Bege Bahia	Amostra Bege Bahia	Amostra Cava 1	Amostra Cava 1	Amostra Travertino	Amostra Travertino
SiO ₂	5,10	5,30	4,20	4,40	5,90	5,90
Al ₂ O ₃	0,40	0,40	0,46	0,51	0,51	0,51
Fe ₂ O ₃	0,22	0,21	0,28	0,22	0,24	0,89
CaO	50,20	49,50	50,70	48,20	47,40	47,10
MgO	4,60	4,90	2,40	2,70	5,60	4,70

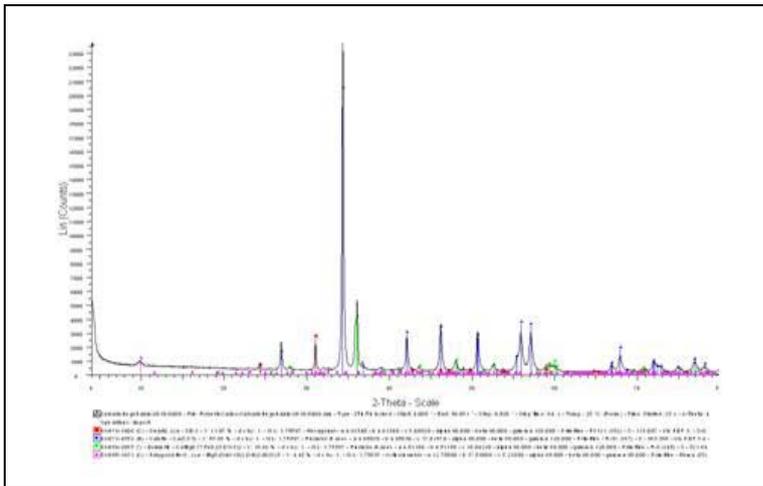


Figura 7. Difratograma de raios-x da amostra de resíduo.

4.2 | Avaliação de Risco à Saúde Humana

O município de Ourolândia é detentor de grandes reservas de mármore Bege Bahia, cuja extração iniciou-se por volta de 1954. No decorrer dos anos a extração mineral desta substância expandiu-se, com o aumento de empreendimentos, tornando-se uma fonte de desenvolvimento regional com geração de empregos e renda. Nas décadas iniciais os empreendimentos instalados eram voltados para a extração e comercialização de blocos de mármore, os quais eram exportados para outras regiões do estado e também do país. A qualidade do produto aliada à sua aceitação no mercado da construção civil despertou o interesse de novos empreendedores, não só para a extração como para o beneficiamento, provocando a migração para a região produtora. Os danos ambientais remontam aos primórdios da

extração mineral na região, pelo fato de nesta época inexistir qualquer preocupação com a preservação do meio ambiente. Este parâmetro começou a tornar-se um compromisso a partir do início de 1980 com a publicação da Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981 e ratificando-se com a publicação da Resolução CONAMA nº 001/1986.

4.2.1 | Seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)

Na tabela 2 encontram-se os teores de metais detectados na amostra de resíduo, bem como sua comparação com valores orientadores nacionais e internacionais para proteção da saúde de receptores humanos para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs).

Tabela 2. Teor de metais na amostra de resíduo e comparação com valores orientadores para proteção da saúde humana.

Parâmetros	Unidade	Referência	Bege Bahia
Antimônio	mg/kg	5	2
Arsênio	mg/kg	35	2
Cádmio	mg/kg	3	10
Chumbo	mg/kg	180	60
Cobalto	mg/kg	35	60,8
Cobre	mg/kg	200	20
Cromo	mg/kg	150	20
Ferro	mg/kg	55000	765
Manganês	mg/kg	1800	72,7
Mercúrio	mg/kg	12	0,0045
Níquel	mg/kg	70	20
Selênio	mg/kg	390	2
Vanádio	mg/kg	390	11,9

CONAMA 420
US EPA

Lista de valores orientadores para solo agrícola, estabelecido na Resolução CONAMA N°420/2009
Regional Screening Levels - Valores apresentados para solo residencial pela US EPA (2014)

Não há valor de referência estabelecido para este parâmetro nos padrões de referência adotados

Valores em vermelho - Superiores aos valores de referência adotados

4.2.2 | Caracterização dos Receptores Humanos

Para a avaliação de risco à saúde humana considerou-se o cenário de exposição hipotético residencial rural, visto que este é o cenário de exposição mais conservador disponível nas planilhas da CETESB.

4.2.3 | Caracterização das Possíveis Vias de Exposição

Para os receptores considerados no cenário hipotético agrícola de exposição, as seguintes vias de exposição foram consideradas:

- Ingestão acidental e contato dérmico com solo.
- Ingestão de vegetais que seriam cultivados na área.
- Inalação de material particulado.
- Ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação do solo.

A seguinte via de exposição foi descartada:

Inalação de voláteis, visto que os contaminantes presentes na área não são caracteristicamente voláteis.

4.2.4 | Modelo Conceitual de Exposição

A partir da identificação das substâncias químicas de interesse, dos receptores potenciais e das vias de exposição, foi desenvolvido um modelo conceitual de exposição para o cenário hipotético de uso de uma área coberta com o resíduo, tal como descrito na Figura 8.

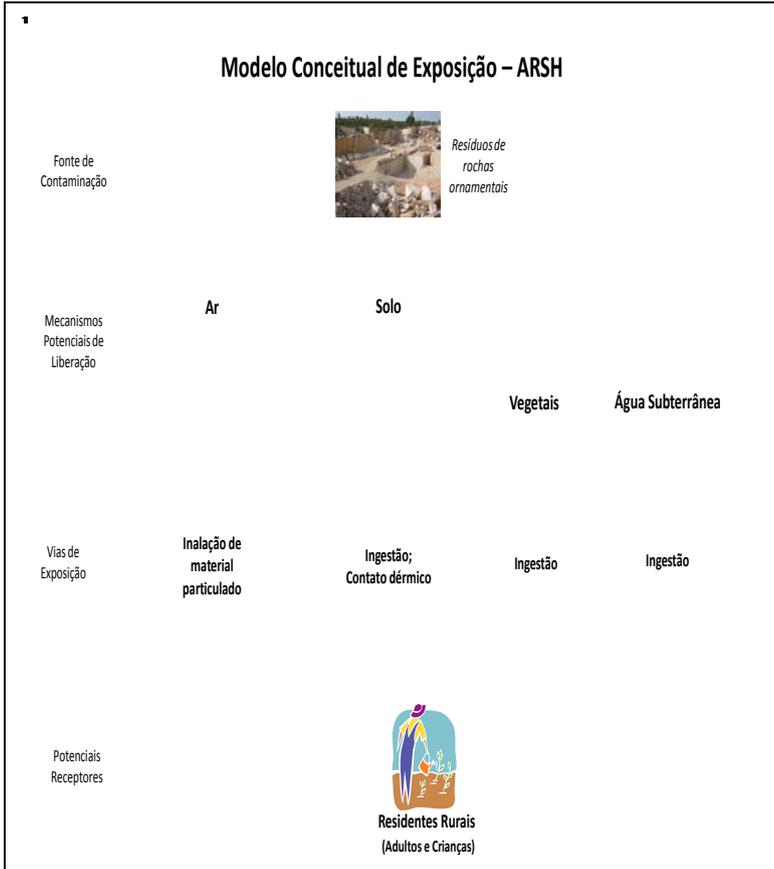


Figura 8. Modelo Conceitual de Exposição para o Cenário Hipotético Agrícola.

4.2.5 | Modelo Conceitual de Exposição

A memória de cálculo do risco nos diferentes cenários de exposição avaliados está apresentada no Anexo I e os resultados encontram-se resumidos a seguir:

Para os residentes rurais, o risco ficou acima do limite considerado aceitável (HQ = 1, Conama 420/2009) apenas para as crianças via ingestão acidental de solo para cobalto (HQ = 2,59). Todas as demais vias de exposição resultaram em riscos considerados aceitáveis.

4.3 | Avaliação de Risco Ecológico

4.3.1 | Seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)

Na Tabela 3 encontram-se os teores de metais detectados nas amostras de resíduo (solo), bem como sua comparação com alguns dos valores orientadores nacionais e internacionais para proteção da saúde de receptores ecológicos para seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs).

Para algumas substâncias não foram encontrados padrões em nenhuma das referências consultadas. Sendo assim, conservadoramente, estas substâncias foram selecionadas como sendo de interesse.

Tabela 3. Teor de metais na amostra de resíduo e comparação com valores orientadores para proteção da saúde de receptores ecológicos.

Parâmetros	Unidade	Referência	Bege Bahia
Antimônio	mg/kg	2	2
Arsênio	mg/kg	15	2
Cádmio	mg/kg	1,3	10
Chumbo	mg/kg	72	60
Cobalto	mg/kg	25	60,8
Cobre	mg/kg	60	20
Cromo	mg/kg	75	20
Ferro	mg/kg	-	765
Manganês	mg/kg	-	72,7
Mercurio	mg/kg	0,5	0,0045
Níquel	mg/kg	30	20
Selênio	mg/kg	5	2
Vanádio	mg/kg	1,59	11,9

Notas:

CONAMA 420
US EPA

Lista de valores de prevenção para solo, estabelecido na Resolução CONAMA Nº420/2009
Ecological Screening Levels - US EPA (2003)

- Não há valor de referência estabelecido para este parâmetro nos padrões de referência adotados

Valores em vermelho - Superiores aos valores de referência adotados ou não há valor de referência

4.3.2 | Caracterização dos Receptores Ecológicos

Na avaliação de risco ecológico foram identificados receptores ecológicos relevantes para o cenário hipotético agrícola. A seguir, encontram-se descritos os receptores de preocupação selecionados:

Pequenos mamíferos, Invertebrados terrestres, micro-organismos: que vivem no solo da área em questão e que poderiam estar expostos via contato com solo.

4.3.3. | Modelo Conceitual

A partir da identificação das substâncias químicas de interesse, dos receptores potenciais e das vias de exposição, foi desenvolvido um modelo conceitual de exposição para o cenário hipotético agrícola, refletindo o entendimento inicial sobre a área com base nos dados disponíveis, tal como descrito na Figura 9.

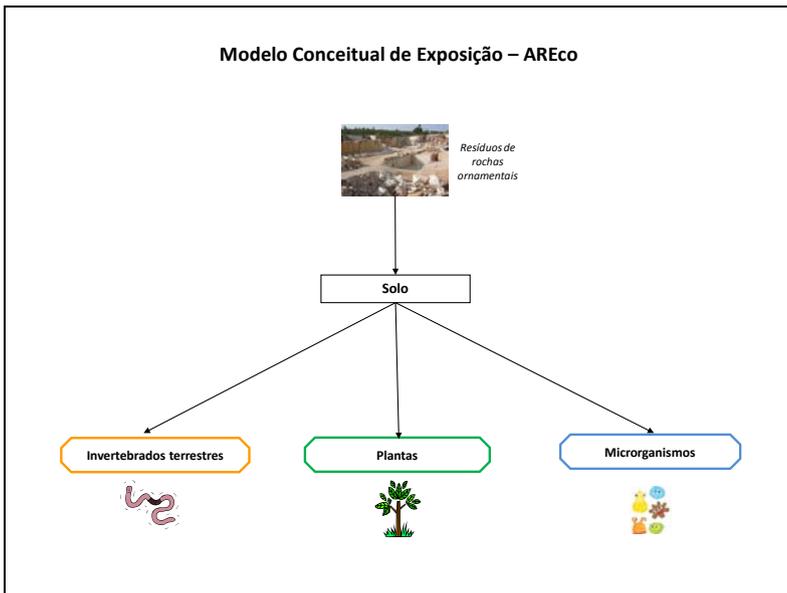


Figura 9. Modelo conceitual de exposição para receptores ecológicos.

4.3.4. | Sumário dos Resultados da Avaliação de Risco Ecológico

A memória de cálculo do risco para receptores ecológicos encontra-se descrita nas Tabelas 4, 5 e 6.

Tabela 4. Resultados de risco para receptores ecológicos (plantas)

Parâmetro	Concentração máxima (mg/kg)	VTR (mg/kg) Plantas	Referência	HQ Plantas
Cádmio	1,00E+01	32	US EPA (2005a)	3,1E-01
Cobalto	6,08E+01	13	US EPA (2005b)	4,7E+00
Ferro	7,65E+02	10	ODEQ (2001)	7,7E+01
Manganês	7,27E+01	500	ODEQ (2001)	1,5E-01
Vanádio	1,19E+01	2	ODEQ (2001)	6,0E+00

Notas:

VTR - Valor de Toxicidade de Referência

HQ = Concentração / VTR

 HQ > 1, proteção dos indivíduos

 HQ > 10, proteção da comunidade

nc - não calculado

nd - VTR não disponível

Tabela 5. Resultados de risco para receptores ecológicos (invertebrados terrestres).

Parâmetro	Concentração máxima (mg/kg)	VTR (mg/kg) Invert.	Referência	HQ Invertebrados
Cádmio	1,00E+01	140	US EPA (2005a)	7,1E-02
Cobalto	6,08E+01	1000	ODEQ (2001)	6,1E-02
Ferro	7,65E+02	200	ODEQ (2001)	3,8E+00
Manganês	7,27E+01	100	ODEQ (2001)	7,3E-01
Vanádio	1,19E+01	nd	-	nc

Notas:

VTR - Valor de Toxicidade de Referência

HQ = Concentração / VTR

 HQ > 1, proteção dos indivíduos HQ > 10, proteção da comunidade

nc - não calculado

nd - VTR não disponível

Tabela 6: Resultados de risco para receptores ecológicos (micro-organismos)

Parâmetro	Concentração máxima (mg/kg)	VTR (mg/kg) Microrg.	Referência	HQ Micro-organismos
Cádmio	1,00E+01	20	Sample <i>et al.</i> (1997)	5,0E-01
Cobalto	6,08E+01	1000	Sample <i>et al.</i> (1997)	6,1E-02
Ferro	7,65E+02	200	Sample <i>et al.</i> (1997)	3,8E+00
Manganês	7,27E+01	100	Sample <i>et al.</i> (1997)	7,3E-01
Vanádio	1,19E+01	20	Sample <i>et al.</i> (1997)	6,0E-01

Notas:

VTR - Valor de Toxicidade de Referência

HQ = Concentração / VTR

 HQ > 1, proteção dos indivíduos HQ > 10, proteção da comunidade

nc - não calculado

nd - VTR não disponível

Os resultados sugerem riscos inaceitáveis para todos os receptores ecológicos avaliados; portanto, a área coberta com resíduo estaria imprópria para o cenário de exposição agrícola.

5 | CONCLUSÕES

Pode-se concluir que dispendo o resíduo inadequadamente diretamente no solo não impermeabilizado, os riscos calculados para receptores humanos (efeitos não cancerígenos) e para receptores ecológicos foram considerados inaceitáveis. Na avaliação de risco à saúde humana, os maiores níveis de risco foram para cobalto, no cenário rural para crianças expostas via ingestão de solo. Na avaliação de risco ecológico, os maiores níveis de risco foram para ferro invertebrados, para **micro-organismos**, invertebrados terrestres e plantas.

Os resultados da análise de risco ambiental demonstram a importância de se dispor corretamente os resíduos de rochas ornamentais e **corroboram os** benefícios das diferentes aplicações dos mesmos em fins mais nobres, como na carga de compostos poliméricos, visando à proteção do meio ambiente (preservação da saúde de receptores humanos e ecológicos).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMARAL, G.; OTTO, A.H.C. et al. Guia Ambiental da Indústria de Transformação e Reciclagem de Materiais Plásticos. Série P+L. CETESB:SINDIPLAST, 90 p. 2011.
- BAIRD, C.; Química Ambiental, 2 ed, Porto Alegre, 2002.
- CCME (Canadian Council of Ministers of Environment). Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. Sumary Tables, Update 6.0.2, November, 2006.
- CETESB (Companhia e Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) Manual de Gerenciamento de Áreas Contaminadas no Estado de São Paulo. 2001.
- CETESB (Companhia e Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo) Decisão de diretoria nº 195-2005-E, de 23 de novembro de 2005.
- COELHO, A.A.M. e VIDAL, F.W.H. Métodos e Tecnologias de Lavra Para a Melhoria da Qualidade e Produtividade dos Blocos de Granito no Ceará. CT2003-086-00 – Livro IV Simpósio de Rochas Ornamentais do Nordeste, 2003.
- FINKLER, M. Desenvolvimento de Compósitos com Base em Resíduo de Tecidos de Algodão e Acrílico em Matriz de Polietileno de Alta Densidade. Tese 17 de outubro de 2005.
- GIBSON, R. F. Principles of composite material mechanics. Mc Graw Hill. 1994.
- HC (Health Canada). Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada. Part I: Guidance on Human Preliminary Quantitative Risk Assessment (PQRA). September, 2004.
- MARTINS, R.L.; BASTIAN, F.L. e THIRÉ, R.M.S.M. Desenvolvimento de Compósitos Reforçados por Fibras Naturais para Aplicações Estruturais. 2012.

- RIBEIRO, R. C. C.; ARRUDA, C. M. R.; VIDAL, F. W. H. e OLIVEIRA, M. G. de. Aproveitamento de Resíduos Oriundos da Lavra e do Beneficiamento do Mármore Bege Bahia Visando a Geração de Compósitos Poliméricos. Novembro de 2011.
- RIBEIRO, R.C.C. Estudos de Aplicação de resíduos de calcário para os setores poliméricos. Relatório técnico elaborado para a empresa MGS-Mármore e Granitos do Seridó Ltda. RT 12-2012.
- SPINACÉ, M. A.S.;DE PAOLI, M. A. A Tecnologia da Reciclagem de Polímeros. Química Nova, v. 28, n. 1, 65-72, 2005.
- SOUZA, L. R.; RIBEIRO, R. C. C. & CARRISSO, R. C. C., Aplicação de Resíduos Oriundos do Corte de Mármore como Carga na Indústria Polimérica. In: XVI Jornada de Iniciação Científica do CETEM. Rio de Janeiro, 2008.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part A. July 1989.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). Supplemental guidance for developing soil screening levels for superfund sites. Office of Emergency and Remedial Response, Washington, DC 20460. Dezembro, 2002.
- US EPA (United States Environmental Protection Agency). Risk Assessment Guidance for Superfund (RAGS): Human Health Evaluation Manual: Part E, Supplemental guidance for dermal risk assessment. Julho 2004.
- VALCARTE, M. B.; BUSALMEN, J. P. & SÁNCHEZ, S. R., The influence of the surface condition on the adhesion of pseudomonas fluorescens (ATCC 17552) to copper and aluminium brass. Internacional Journal of Biodeterioration & Biodegradation, v. 50, n. 1, pp. 61-66, 2002.
- VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment). Intervention values and target values: soil quality standards. The Hague. VROM, 19p. 2000.

WEBSITES CONSULTADOS

IARC – International Agency for Cancer Research

<http://monographs.iarc.fr>

The Risk Assessment Information System (RAIS)

<http://risk.lsd.ornl.gov>

USEPA - IRIS Database for Risk Assessment

<http://www.epa.gov/iris/>

SÉRIES CETEM

As Séries Monográficas do CETEM são o principal material de divulgação da produção científica realizada no Centro. Até o final do ano de 2010, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 200 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED), Gestão e Planejamento Ambiental (SGPA) e Inovação e Qualidade (SIQ). A Série Iniciação Científica consiste numa publicação eletrônica anual.

A lista das publicações poderá ser consultada em nossa homepage. As obras estão disponíveis em texto completo para download. Visite-nos em <http://www.cetem.gov.br/series>.

Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA- 85 – **Extração de Ouro a partir de Placas de Circuito Impresso por Cianetação Intensiva.** Ana Luiza A. M. Santos, Naiara Soares Bello, Luiz Gonzaga Sobral e Débora Monteiro de Oliveira, 2015.

STA-84 – **Biolixiviação de Urânio Proveniente de Minérios com Baixo Teor (fontes não convencionais.** André L. Ventura Fernandes, Tatiane Franco Machado e Débora Monteiro de Oliveira, 2015.

STA-83 – **Tecnologias Limpas para a Arte Pedra-sabão – Mata dos Palmitos, Ouro Preto-MG, Brasil.** Patricia Correia de Araujo, Adão Benvindo da Luz, Maria da Conceição da S. Freitas e Zuleica Carmem Castilhos, 2015.

INFORMAÇÕES GERAIS

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ

Geral: (21) 3865-7222

Biblioteca: (21) 3865-7218 ou 3865-7233

Telefax: (21) 2260-2837

E-mail: biblioteca@cetem.gov.br

Homepage: <http://www.cetem.gov.br>

NOVAS PUBLICAÇÕES

Se você se interessar por um número maior de exemplares ou outro título de uma das nossas publicações, entre em contato com a nossa biblioteca no endereço acima.

Solicita-se permuta.

We ask for interchange.