

# SÉRIE Tecnologia Ambiental

**Avaliação de risco à saúde humana da utilização de resíduos oriundos da lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia na produção de pisos geradores de energia**

**Cristiane Andrade de Lima  
Roberto Carlos da Conceição Ribeiro  
Caroline Martins de Souza  
Manuella de Lima Ribeiro  
Pedro Paulo Cardoso Lima**



## **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**Avaliação de risco à saúde humana da utilização de resíduos oriundos da lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia na produção de pisos geradores de energia**

## **PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA**

**Luiz Inácio Lula da Silva**

Presidente

## **MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO**

**Luciana Santos**

Ministra de Estado

**Luis Manuel Rebelo Fernandes**

Secretário Executivo

**Isa Assef dos Santos**

Subsecretária de Unidades de Pesquisa e Organizações Sociais

## **CETEM – CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

**Silvia Cristina Alves França**

Diretora

**Robson Araujo D'Avila**

Coordenador Substituto de Administração - COADM

**Andréa Camardella de Lima Rizzo**

Coordenadora de Planejamento, Gestão e Inovação - COPGI

**Paulo Fernando Almeida Braga**

Coordenador de Processamento e Tecnologias Minerais - COPTM

**Marisa Nascimento**

Coordenadora de Processos Metalúrgicos e Ambientais - COPMA

**Leonardo Luiz Lyrio da Silveira**

Coordenador de Rochas Ornamentais - CORON

**Arnaldo Alcover Neto**

Coordenador de Análises Minerais - COAMI

# SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

ISSN 0103-7374

STA - 136

## **Avaliação de risco à saúde humana da utilização de resíduos oriundos da lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia na produção de pisos geradores de energia**

**Cristiane Andrade de Lima**

Engenheira Química, D.Sc., Instituto Estadual do Ambiente/INEA

**Roberto Carlos da Conceição Ribeiro**

Engenheiro Químico, D.Sc., Pesquisador do CETEM/MCTI

**Caroline Martins de Sousa**

Engenheira Ambiental, M.Sc., pesquisadora colaboradora do CETEM/MCTI

**Manuella de Lima Ribeiro**

Estagiária do CETEM, aluna de graduação de Engenharia Química da UERJ

**Pedro Paulo Cardoso Lima**

Bolsista de Iniciação Científica do CETEM/MCTI

**CETEM/MCTI**

2025

# SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL

**Editor:** Luis Gonzaga Santos Sobral

**Subeditor:** Andréa Camardella de Lima Rizzo

**CONSELHO EDITORIAL:** Saulo Rodrigues P. Filho (UNB), Jorge Rubio (UFRGS), José Ribeiro Aires (CENPES), Luis Enrique Sánchez (EPUSP), Virginia Sampaio Ciminelli (UFMG), Luís Alberto Dantas Barbosa (UFBA), Ricardo Melamed (UNB), Marcello F. Veiga (University of British Columbia-Canadá), Bruce Marshall (University of British Columbia-Canadá).

Não existe uma definição única que se enquadre na ampla diversidade que o tema “Tecnologias Ambientais” abrange. Em primeiro lugar, o campo das Tecnologias Ambientais é caracterizado por um alto grau de diversidade e heterogeneidade. Em geral, o termo é usado para incluir tecnologias e aplicações que supostamente ajudam a reduzir o impacto negativo da atividade industrial e dos serviços, de usuários privados ou públicos, no meio ambiente. O conceito se refere, normalmente, a tecnologias “no final do processo” (end-of-pipe) integradas a tecnologias limpas e de recuperação de áreas contaminadas. No entanto, também pode abranger questões de sentido mais amplo, como monitoramento, medição, mudança de produtos ou gerenciamento de sistemas ambientais. As tecnologias ambientais são, portanto, de natureza interdisciplinar e podem ser aplicadas em qualquer etapa da cadeia produção-consumo. Tendo isso em mente, a *Série de Tecnologia Ambiental* tem por objetivo congrega especialistas, tais como: pesquisadores, tecnologistas, professores etc., do CETEM em particular, para que divulguem suas pesquisas em áreas tão diversas para servirem como estímulo para os novos e futuros pesquisadores.

There is no single definition that fits the wide diversity that the theme “Environmental Technologies” covers. First, the field of Environmental Technologies is characterized by a high degree of diversity and heterogeneity. In general, the term is used to include technologies and applications that are supposed to help reduce the negative impact of industrial activities and services, by private or public users, on the environment. The concept usually refers to technologies “at the end of the process” (end-of-pipe) integrated with clean technologies and recovery of contaminated areas. However, it can also cover broader issues such as monitoring, measuring, changing products or managing environmental systems. Environmental technologies are, therefore, of an interdisciplinary nature and can be applied at any stage of the production-consumption chain. Bearing this in mind, the “Environmental Technology Series” aims at bringing together specialists, such as: researchers, technologists, professors etc., from CETEM in particular, to disseminate their research in such diverse areas to serve as a stimulus for new and future researchers.

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

Copyright © 2025 CETEM/MCTI

Todos os direitos reservados.  
A reprodução não autorizada desta publicação, no todo ou em parte,  
constitui violação de copyright (Lei 5.988)

Valéria Cristina de Souza  
Diagramação e Editoração Eletrônica

André Luiz Costa Alves  
Projeto Gráfico

Informações:  
CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Av. Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
Homepage: [www.cetem.gov.br](http://www.cetem.gov.br)

CIP – Catalogação na Publicação

A945

Avaliação de risco à saúde humana da utilização de resíduos oriundos da lavra e beneficiamento do mármore Bege Bahia na produção de pisos geradores de energia / Cristiane Andrade de Lima [et al.] – Rio de Janeiro : CETEM/MCTI, 2025. 44 p. - (Série Tecnologia Ambiental ; 136).

ISBN 978-65-5919-069-0.

1. Rochas ornamentais. 2. Resíduos de rochas. 3. Mármore Bege Bahia. 4. Avaliação de riscos à saúde - I. Lima, Cristiane Andrade. II. Ribeiro, Roberto Carlos da Conceição. III. Sousa, Caroline Martins. IV. Ribeiro, Manuella de Lima. V. Lima, Pedro Paulo Cardoso. VI. Centro de Tecnologia Mineral. VII. Série.

CDD 552.4

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do CETEM/MCTI  
Bibliotecário(a) Rosana Silva de Oliveira CRB7 – 5849

# SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
1   INTRODUÇÃO	11
1.1   Mármore Bege Bahia	11
1.2   Geração de Resíduos	13
1.3   Aplicações Industriais	16
1.4   Avaliação de Riscos à Saúde Humana	17
2   OBJETIVO	25
3   MATERIAS E MÉTODOS	26
3.1   Formulação do Problema	26
3.2   Avaliação da Exposição	27
4   RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
4.1   Seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)	29
4.2   Caracterização dos Receptores Humanos	30
4.3   Caracterização das Possíveis Vias de Exposição	30
4.4   Modelo Conceitual de Exposição	30
4.5   Sumário dos Resultados da Avaliação de Risco à Saúde Humana - ARSH	31
5   CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	33
ANEXOS	

## RESUMO

Muitos metais são essenciais para o crescimento de todos os tipos de organismos, quando em baixas concentrações; mas podem danificar sistemas biológicos, dependendo da concentração existente, condições de uso e susceptibilidade do organismo envolvido. Uma dificuldade surge ao se converter o risco associado a um particular agente químico em uma medida do risco total representado por todos os agentes poluentes liberados em um determinado local ou região. Neste contexto, buscam-se relacionar a intensidade da poluição com os potenciais riscos à saúde humana e/ou ao meio ambiente e expressá-los como estimativas numéricas comparáveis. Para tal, foram desenvolvidas metodologias para avaliação de risco à saúde humana face a um cenário de contaminação por resíduos gerados na lavra e no beneficiamento do Mármore Bege Bahia. Os resultados de uma avaliação de risco permitem identificar os compostos químicos de interesse (CQIs), bem como as subáreas dentro da área de estudo que representam risco. Estas informações podem ser usadas para orientar decisões de gerenciamento de riscos, incluindo decisões de se e onde ações de remediação seriam necessárias. O objetivo foi avaliar se os resíduos da lavra e do beneficiamento do Mármore Bege Bahia representam risco à saúde humana e/ou ao meio ambiente. Para tal foi utilizada uma abordagem toxicológica baseada nas metodologias de avaliação de risco à saúde humana propostas pela US EPA (United States Environmental Protection Agency) com a possibilidade de utilização dos resíduos como carga na formação de pisos geradores de energia. Os resultados indicaram que não há risco à saúde em nenhuma forma de contato

ou ingestão para quem tem acesso aos aterros bem como da utilização do resíduo como carga mineral na formação do piso gerador de energia.

**Palavras-chave**

Resíduos de rochas, mármore Bege Bahia, avaliação de risco à saúde humana.

## **ABSTRACT**

Many metals are essential for the growth of all types of organisms, should in low concentrations, but can damage biological systems, depending on the existing concentration, conditions of use and susceptibility of the organism involved. A difficulty arises when converting the risk associated with a particular chemical agent into a measure of the total risk posed by all polluting agents released in a given location or region. In this context, we seek to relate the intensity of pollution with the potential risks to human health and/or to the environment, and express them as comparable numerical estimates. To this end, methodologies were developed to assess the risk to human health in the face of a scenario of contamination by the waste generated in the mining and processing of Beige Bahia Marble. The results of a risk assessment allow you to identify the chemical compounds of interest (CQIs), as well as the subareas within the study area that represent risk. This information can be used to guide risk management decisions, including decisions as to whether and where remediation actions would be necessary. The objective was to evaluate whether waste from the mining and processing of Bahia Bege Marble poses a risk to human health and/or to the environment. To this end, methodologies were developed to assess the risk to human health in the face of a scenario of contamination of waste generated in the mining and processing of Beige Bahia Marble. The results of a risk assessment allow you to identify the chemical compounds of interest (CQIs), as well as the subareas within the study area that represent risk. This information can be used to guide risk management decisions, including decisions as to whether and where remediation actions would be necessary. The objective was

to evaluate whether waste from the mining and processing of Bahia Beige Marble poses a risk to human health and/or the environment. To this end, a toxicological approach was used based on human health risk assessment methodologies proposed by the US EPA (United States Environmental Protection Agency) with the possibility of using waste as a load in the formation of energy-generating floors. The results indicated that there is no health risk in any form of contact or ingestion for those who have access to landfills, as well as the use of waste as a natural load in the formation of the energy-generating floor.

**Keywords**

Rock waste, Bahia Beige Marble, risk assessment to human health.

## 1 | INTRODUÇÃO

### 1.1 | Mármore Bege Bahia

A Bahia posiciona-se como o terceiro maior produtor de rochas ornamentais do Brasil, possuindo a mais completa diversidade de cores de rochas do país, que vão desde as suas mais famosas rochas azuis, passando para uma variedade de cores incluindo-se mármore, granitos, arenitos e conglomerados.

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.

Descoberto há mais de 50 anos como rocha para revestimento, o mármore Bege Bahia teve sua extração e comercialização iniciada a partir da década de 70. Inicialmente extraído em bloquetes para recorte de pequenas peças, desde sua inserção no mercado já recebeu vários nomes, até ficar consagrado como Bege Bahia, uma referência à cor da rocha e seu Estado de origem.

A extração e produção do mármore Bege Bahia, teve início com Guilhermino Jatobá, Gian Franco Biglia e José de Castro que, sem dúvidas, enfrentaram desafios enormes à época para a extração e beneficiamento da rocha, em função da infraestrutura precária em relação ao transporte, energia, mão de obra, comunicação e inexistência de tecnologia e insumos apropriados.

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

O Município de Orolândia situa-se na macrorregião centro-norte da Bahia e no Território de Identidade de Piemonte da Chapada Diamantina (Alto do Vale do Rio Salitre) pertencendo, de acordo com Plano Diretor de Regionalização da Saúde do Estado da Bahia, à macrorregião Centro Norte como município satélite da microrregião de Jacobina, integrante da mesorregião Centro-Norte Baiano. O acesso a partir de Salvador se realiza pelas rodovias pavimentadas BR-324, BR-116 e BA 368 num percurso total de 415 km. Para circulação dentro do município as vias são de terra ou cascalho.

Orolândia limita-se a leste com o Município de Jacobina, à sul com Várzea Nova e Morro do Chapéu, à oeste com Sento Sé e Umburanas, e ao norte com Mirangaba. A área municipal é de 1.333 km<sup>2</sup>. A sede municipal tem altitude de 576 metros e coordenadas geográficas 10°58'00" de latitude sul e 41°01'00" de longitude oeste. As jazidas ocorrem na formação geológica "caatinga", nas várias tonalidades da cor Bege. De ocorrência calcária plana e sedimentação secundária, as pedreiras são cobertas por uma grande quantidade de casqueiro, que é removido para abertura de poços, tanto por meio do rebaixamento de pisos quanto do tombamento de bancadas de até seis metros. Nesses casos, é utilizado o fio diamantado, buscando sempre o maior aproveitamento da matéria prima e pisos mais compactados sem infiltração. Após a extração dos blocos, ocorre a seleção da matéria prima.

## 1.2 | Geração de Resíduos

Sabe-se que todo o processo gera uma quantidade significativa de resíduos, tanto grosseiros, gerado pela quebra das peças durante o corte, e resíduos finos que aparecem na forma de lama. Após a evaporação da água, o pó resultante é acumulado nas serrarias ou pedreiras (FARIAS, 1995) ou encaminhado para aterros específicos.

O desdobramento e o polimento ocorrem em vias úmidas e tem como consequência direta a geração de efluente. No desdobramento o efluente é composto de água e resíduo sólido (pó de calcário) oriundo do bloco que está sendo serrado. A serragem origina, também, fragmentos de calcário, conhecidos como casqueiro (laterais externas do bloco) assim como pedaços de chapas quebradas durante o processo. Estes resíduos sólidos não são compatibilizados como integrante do efluente. Em Ourolândia, atualmente, operam 16 (dezesesseis) teares, todos diamantados, variando no porte entre os teares “normais” com capacidade para blocos de  $8\text{m}^3$  e os denominados “grandes” com capacidade para desdobrar blocos de  $10\text{m}^3$ . Os teares “normais” têm capacidade nominal para serrar 26 (vinte e seis) blocos de mármore por mês. Os teares “grandes” podem atingir a 42 (quarenta e dois) blocos/mês. Em termos de volume de mármore desdobrado, considerando-se que 10 (dez) teares são do tipo normal, tem-se que mensalmente sejam serrados  $2.080\text{ m}^3$ . Os restantes, do tipo grande, desdobram  $2.520\text{ m}^3/\text{mês}$ . Perfazendo um volume nominal máximo de  $4.600\text{ m}^3/\text{mês}$ . Estima-se, com base em informações locais, que sejam gerados na serragem 22% (vinte e dois por cento) de pó de calcário e 8% (oito por cento) de casqueiro representado por, aproximadamente, quatro chapas nas laterais externas do bloco. Nominalmente tem-se uma produção máxima de  $1.012\text{ m}^3/\text{mês}$  de pó de calcário e

cerca de 368 m<sup>3</sup>/mês de casqueiro. Na linha do raciocínio acima apresentado e considerando-se as informações prestadas pelos empreendedores e contidas nos formulários (Apêndices) pode-se estabelecer que atualmente são serrados aproximadamente 260 blocos de mármore Bege Bahia gerando 513,90 m<sup>3</sup> de pó de calcário e 186,87 m<sup>3</sup> 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 ortotereftálica 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 à 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.

Nas Figuras 1 a 3 estão apresentados depósitos de resíduos do Mármore Bege Bahia.



**Figura 1:** Blocos residuais do Mármore Bege Bahia.



**Figura 2:** Resíduos grosseiros do Mármore Bege Bahia.



**Figura 3:** Depósito de resíduos finos do Mármore Bege Bahia.

### 1.3 | Aplicações Industriais

Devido à homogeneidade do resíduo, constituído praticamente de carbonato de cálcio, muitos estudos foram realizados por Ribeiro, et al 2011 (a); Ribeiro e Conceição (2011 b); Ribeiro, et al 2013, Ribeiro, et al 2015 (a), Ribeiro, e Oliveira 2015 (b), Ribeiro et al 2015 (c), Ribeiro, R. C. C et al 2016 (a), Ribeiro et al. 2016 (b) na aplicação, principalmente no setor polimérico. No entanto, torna-se cada vez mais importante a realização de estudos de avaliação de risco à saúde humana para o aproveitamento racional e seguro desses resíduos.

## 1.4 | Avaliação de Riscos à Saúde Humana

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 subáreas dentro da área do estudo que representam risco potencial à saúde.

A metodologia de avaliação de risco é extensamente utilizada e reconhecida por agências reguladoras e pela comunidade científica. Os métodos e procedimentos têm estado disponíveis por muitos anos, e tem crescido o número de pessoas especializadas no desenvolvimento de ações de gerenciamento de questões ambientais com base no risco (LIMA, 2009).

A metodologia de Avaliação de Risco à Saúde Humana foi introduzida a cerca de 20 anos e sua implementação tem sido atribuída ao interesse mundial em se definir uma metodologia ampla, na qual se possam incluir os vários aspectos relacionados à toxicidade das substâncias, unindo causas e efeitos de uma maneira quantitativa.

O objetivo principal da avaliação de risco à saúde humana é a identificação e quantificação dos riscos à saúde humana, decorrentes de uma contaminação ambiental, uma vez que a saúde humana e a segurança da população devem ser priorizadas, dentre

os bens a proteger expostos, na avaliação de risco em uma área contaminada (CETESB, 2001b).

A estrutura da metodologia de avaliação de risco à saúde humana proposta pela Agência de Proteção Ambiental Norte-Americana, a “United States Environmental Protection Agency” (US EPA, 1989a) foi desenvolvida de maneira que facilitasse a apresentação e o entendimento dos resultados pelo público em geral. Esta metodologia tem sido amplamente utilizada em problemas de poluição ambiental, como ferramenta importante no processo de gerenciamento ambiental (HOFFMAN et al. *apud* FERNANDES e VEIGA, 1999; LIMA, 2004). Esta metodologia é baseada em princípios de toxicologia humana e no conhecimento das propriedades físico-químicas e comportamento ambiental dos contaminantes.

A maior dificuldade surge em se converter um risco associado com um particular agente químico para uma medida de risco total representado por todos os agentes poluentes liberados em um determinado local ou região. Desde 1986, a US EPA discute a questão com proposições de modelos de avaliação dose resposta para misturas de substâncias. O paradigma proposto começa com a formulação do problema e com o estabelecimento de modelos que determinem inequivocamente a relação dose-resposta para as misturas. A escolha do efeito crítico e os critérios para atribuir o peso de evidência são determinantes na avaliação de risco de misturas (LIMA, 2004).

Embora um enfoque único não seja recomendado para as avaliações de risco por exposições a múltiplas substâncias, recomendam-se diretrizes gerais para a avaliação de riscos para qualquer situação em que uma população está exposta ou potencialmente exposta, a dois ou mais compostos, que causem

preocupação. No método utilizado deve-se assumir o fenômeno de aditividade de doses (ou de resposta), considerando todas as doses estimadas para as diferentes substâncias como doses da mesma substância, apenas diferenciando-as entre substâncias cancerígenas e não-cancerígenas, não sendo incorporada nenhuma forma de interação antagônica ou sinérgica entre as substâncias. Afirma-se que a aditividade de dose (ou de resposta) é teoricamente válida e, portanto, é a que melhor se aplica para avaliar exposições de múltiplos elementos, de ação similar e que não interatuam. Propõe-se que a suposição de aditividade produza geralmente cálculos neutros de risco (ou seja, nem conservadores nem indulgentes) e que seja aceitável para compostos que induzam tipos similares de efeitos nos mesmos locais de ação (US EPA, 1989a).

A metodologia de avaliação de risco à saúde humana (US EPA, 1989a) pode ser definida como uma metodologia quantitativa que utiliza modelos biológicos e estatísticos e resulta em estimativas numéricas, ou índices, que relacionam a intensidade da poluição aos riscos à saúde humana. Tais índices são comparáveis entre si e podem ser utilizados no gerenciamento ambiental, com vistas à seleção da melhor técnica de remediação. Esta metodologia é composta pelas etapas listadas a seguir, que são interligadas:

De acordo com esta metodologia, as seguintes etapas devem ser seguidas para se quantificar os riscos:

a) Formulação do problema.

A formulação do problema é a primeira etapa da Avaliação de Risco à Saúde Humana e consiste em se identificar os agentes tóxicos de interesse, suas transformações físico-químicas e transferências inter-compartimentos ambientais (US EPA, 1989a).

A base inicial de dados para execução da avaliação de risco é constituída pelas informações coletadas na etapa de investigação ambiental. Muitas vezes o planejamento da Avaliação de Risco tem como base estudos ambientais desenvolvidos em etapas anteriores. Nestes estudos são geradas informações passíveis de serem utilizadas na Avaliação de Risco. Entretanto, no planejamento deve ser levantado o grau de detalhamento que cada dado ou grupo de informações deve ter para que o processo de Avaliação de Risco seja cumprido de forma satisfatória.

A formulação do problema é usada para focar as etapas subsequentes da avaliação. Este foco é fornecido usando um princípio fundamental da avaliação de risco; isto é, não há risco se não houver nenhuma ligação entre a fonte contaminada e os receptores. Ou seja, três elementos são requeridos: i) fonte de contaminação; ii) os receptores; e iii) as vias de exposição entre a fonte de contaminação e os receptores (Figura 4). Na ausência de algum desses três elementos (fonte, via de exposição ou receptor) o risco não existe. Esta estrutura fonte/via de exposição/receptor serve como base para a investigação do local e é também a base para todas as etapas seguintes de uma avaliação de risco (US EPA, 1989a).



**Figura 4:** Três elementos do risco.

A presença de todos os três elementos da Figura 4 não indica necessariamente um risco inaceitável. Todavia, a combinação destes indica um potencial de existência de risco. Este potencial é investigado mais detalhadamente na formulação do problema. Para formulação do problema é utilizado o método de seleção preliminar, que fornece (US EPA, 1989a):

- Fonte: compostos químicos de interesse que ocorrem em concentrações superiores aos valores orientadores e/ou aos níveis de referência ou background.
- Via de exposição: vias de exposição críticas que servem como rotas primárias de exposição aos compostos químicos de interesse.
- Receptor: receptores preocupantes que apresentem elevados níveis de exposição local.

O método de seleção preliminar dos contaminantes, vias de exposição e receptores está resumidamente esboçado a seguir (US EPA, 1989a):

Seleção dos contaminantes: O objetivo da seleção preliminar dos contaminantes é focar a avaliação nos contaminantes químicos de maior preocupação. Não são incluídos na avaliação de risco: os compostos químicos que na área de estudo apresentarem teores equivalentes ou inferiores às concentrações de referência; os que apresentarem teores na área de estudo inferiores aos valores orientadores; e/ou os que são classificados como nutrientes essenciais ou os fundamentalmente não-tóxicos. Os compostos químicos restantes, que apresentem potencial para aumentar o risco à saúde, são denominados compostos químicos de interesse (CQIs) e serão considerados na avaliação de risco. Seleção das vias de exposição: O objetivo da seleção das vias de exposição é o de

determinar quais são todas as possíveis rotas de exposição pelas quais os receptores podem estar expostos aos contaminantes da área de estudo. Uma lista de possíveis vias de exposição é desenvolvida. Essa lista é então avaliada para que se possa determinar se cada via é aplicável aos receptores.

- Seleção dos receptores: O objetivo da seleção dos receptores é o de selecionar um conjunto representativo dos receptores que podem estar expostos na área do estudo aos contaminantes presentes na água, no solo, no sedimento, no ar e nos alimentos.

Uma vez que a seleção preliminar está completa, a formulação do problema segue com a elaboração do modelo conceitual das interações fonte/vias de exposição/receptor que será o direcionador preliminar do risco no local. Os modelos conceituais são geralmente apresentados na forma de diagramas ou desenhos. Eles constituem o registro visual dos resultados da formulação do problema e podem ser usados para comunicar o que deverá ser abordado nas etapas seguintes da avaliação de risco.

#### b) Avaliação da exposição.

Na avaliação de exposição é determinada a intensidade, frequência, duração e caminhos da exposição humana, atual ou futura, a determinado contaminante. A estimativa da exposição pode ser baseada diretamente em dados de monitoramento ambiental ou estimada pelo uso de modelos específicos para as condições existentes (US EPA, 1989a).

A avaliação é desenvolvida observando-se os usos atuais e prevendo-se os usos futuros da área em estudo e seu entorno, sendo necessário (US EPA, 1989a):

- Entender os mecanismos de liberação e transporte do contaminante no meio físico;
- Identificar as populações expostas;
- Identificar todas as vias potenciais de exposição;
- Estimar as concentrações nos pontos de exposição, para cada via específica.

A avaliação das informações obtidas permite a elaboração dos cenários de exposição, onde são identificadas as várias possibilidades para que um contaminante, a partir da origem da contaminação, atinja as populações potencialmente receptoras. Os resultados da avaliação da exposição são os valores de ingresso dos compostos indicadores para cada via de exposição específica (atual ou futura) (US EPA, 1989a).

#### c) Avaliação de toxicidade.

A proposta do processo da avaliação de toxicidade é avaliar o potencial de contaminantes para causar efeitos adversos em indivíduos expostos e providenciar, quando possível, uma estimativa de inter-relação entre a extensão da exposição ao contaminante e o aumento da probabilidade e/ou severidade dos efeitos adversos (CASTILHOS et al., 2005).

Nesta etapa, os bancos de dados toxicológicos servem como fonte de informações sobre a toxicologia dos compostos de interesse e os efeitos adversos à saúde. Esta etapa pode ser dividida em duas atividades principais (US EPA, 2002):

- Identificação dos efeitos adversos - determinação do tipo e magnitude do efeito adverso à saúde que é causado pela exposição a um agente tóxico específico.

- Determinação da dose-resposta - processo de avaliação quantitativa da toxicidade, relacionando-se a dose do contaminante que foi recebida com a incidência de efeitos adversos à saúde em uma dada população exposta.

Esta avaliação pode ser referida a efeitos tóxicos cancerígenos e não-cancerígenos, decorrentes de exposição ambiental.

d) Caracterização e quantificação dos riscos.

A caracterização do risco integra todos os dados obtidos nas etapas anteriores, tendo como objetivo quantificar o risco. Neste momento, as concentrações do contaminante, medidas nos pontos de exposição e as concentrações teóricas estimadas por meio de modelos de transporte de massa, são comparadas com os dados toxicológicos específicos do composto de interesse. Esta comparação serve para determinar se os níveis de contaminação atuais ou futuros da área podem produzir algum efeito adverso à saúde humana, segundo os índices toxicológicos utilizados.

A caracterização de risco serve como ponte entre a avaliação do risco e o gerenciamento do risco e é, portanto, uma etapa-chave no processo de tomada de decisão. Deve conter não somente a apresentação da estimativa quantificada do risco, como também a discussão e interpretação dos resultados para ajudar no julgamento do significado do risco (US EPA, 1989a).

Tendo em vista que os mecanismos de toxicidade são diferentes para os efeitos cancerígenos e para os não-cancerígenos, as abordagens para a quantificação do risco também são diferentes.

## **2 | OBJETIVO**

A pesquisa teve como objetivo avaliar os riscos causados à saúde humana na utilização de resíduos oriundos da lavra do Mármore Bege Bahia na produção de pisos geradores de energia.

### 3 | MATERIAS E MÉTODOS

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) para os resíduos do Mármore Bege Bahia.

O resíduo se trata de um carbonato de cálcio, sendo cerca de 50% CaO, 49% perda por calcinação (relacionado aos carbonatos) e 1% de sílica já caracterizado por difração e fluorescência de raios-X; no entanto, para avaliação de traços de metais para determinação da avaliação de risco à saúde humana foram realizados ensaios por meio de absorção atômica e ICP-OS da Coordenação de Análises Minerais (COAMI) do CETEM que serviram de base para as formulações descritas a seguir.

#### 3.1 | 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.

## 3.2 | Avaliação da 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 a 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:

### 3.2.1 | Identificação dos receptores humanos possivelmente expostos

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

### 3.2.2 | 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).

### 3.2.3 | Concentrações utilizadas no cálculo do risco

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

### 3.2.4 | 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.

### 3.2.5 | Avaliação de toxicidade

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).

### 3.2.6 | 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.

## 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 | Seleção das Substâncias Químicas de Interesse (SQIs)

Na Tabela 1 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 e, com isso, selecionar as Substâncias Químicas de Interesse (SQIs).

**Tabela 1:** 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	1
Chumbo	mg/kg	180	60
Cobalto	mg/kg	35	20
Cobre	mg/kg	200	20
Cromo	mg/kg	150	20
Ferro	mg/kg	55000	765
Manganês	mg/kg	1800	73
Mercurio	mg/kg	12	0
Níquel	mg/kg	70	20
Selênio	mg/kg	390	2
Vanádio	mg/kg	390	12

**CONAMA 420**

Lista de valores orientadores para solo agrícola, estabelecido na Resolução CONAMA Nº420/2009

**US EPA**

*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 | 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.

## 4.3 | Caracterização das Possíveis Vias de Exposição

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

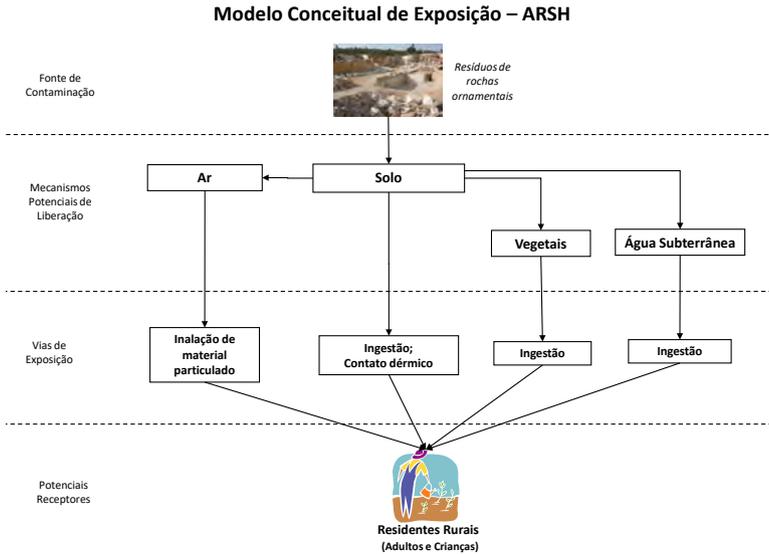
- Ingestão acidental e contato dérmico com solo.
- Ingestão de vegetais que seriam cultivados na área.
- Inalação de material particulado.
- Ingestão de água subterrânea a partir da lixiviação do solo.

A seguinte via de exposição foi descartada:

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

## 4.4 | 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 5.



**Figura 5:** Modelo conceitual de exposição para as pilhas de resíduos.

## 4.5 | Sumário dos Resultados da Avaliação de Risco à Saúde Humana - ARSH

A memória de cálculo do risco, nos diferentes cenários de exposição avaliados, está apresentada no anexo A e os resultados indicaram que para os residentes rurais não há risco à saúde humana nas pilhas de resíduos dispostos nos aterros, muito menos quando o resíduo for aplicado na matriz da resina na produção do piso gerador de energia.

## 5 | CONCLUSÕES

Pôde-se concluir que para os residentes rurais, em todas as vias de exposição, não indicaram risco à saúde humana quando em contato com as pilhas de resíduos presentes nos aterros bem como não há risco quando o mesmo for usado como carga na formação do piso gerador de energia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CASTILHOS, Z.C.; CASTRO, A.M.; RAMOS, A.S.; LIMA, C.A. e RODRIGUES, A.P.C., (2005). Avaliação de risco à saúde humana: conceitos e metodologia. Série Estudos e Documentos – CETEM. ISSN – 0103-6319.

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.

CCME (Canadian Council of Ministers of Environment). Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection of Environmental and Human Health. Summary Tables, Update 6.0.2, November, 2006.

GOLDER, 2005. Guidance document for country foods surveys for the purpose of human health risk assessment. Submitted to: Health Canada. Golder Associates Ltd., Canada, 2005.

HC (Health Canada). Federal Contaminated Site Risk Assessment in Canada. Part I: Guidance on Human Preliminary Quantitative Risk Assessment (PQRA). September, 2004.

LIMA, C.A. Avaliação de risco ambiental como ferramenta para o descomissionamento de uma indústria de metalurgia de zinco, Escola de Química, Tese de doutoramento, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2009.

LIMA, C.A. (2004). Quantificação do decréscimo do risco associado à biorremediação de solo contaminado por hidrocarbonetos de petróleo – Tese de Mestrado, Escola de Química/UFRJ, RJ.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G.; ARRUDA, C.M.R; CARRISSO, R.C.C. e RIBEIRO, L., (2011 a). Processo de formação de compósitos poliméricos utilizando como carga resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de mármores e calcários ornamentais. Patente depositada 221109118311, INPI.

RIBEIRO, R.C.C. e CONCEIÇÃO, M.N., (2011 b). Processo de incorporação de resíduos oriundos do beneficiamento da pedra sabão na composição do pavimento asfáltico, patente depositada PI 221112356619, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G. e CONCEIÇÃO, M.N, (2013). Processo de formação de papel polimérico utilizando como carga resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais, Patente depositada, BR 1020130188816, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G. e VELOSO, F., (2015 a). Processo de formação de armações de óculos utilizando resíduos de pedra sabão e polipropileno, PI221109118311, INPI.

RIBEIRO, R.C.C. e OLIVEIRA, M.G., (2015 b). Processo de formação de tubetes e/ou vasos poliméricos agrícolas utilizando como carga, resíduos minerais, patente depositada BR1020150182465, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; LIMA, C.A. e MOREIRA, T.C.R., (2015 c). Avaliação de risco à saúde humana da aplicação de resíduos gerados na lavra e beneficiamento do Mármore Bege Bahia como carga no setor polimérico, Livro Série Tecnologia Ambiental, Rio de Janeiro: CETEM, 41p.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G. e SOUZA, N., (2016 a). Processo de formação de papel Braille polimérico utilizando como carga resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de rochas ornamentais, patente depositada BR1020160082854, INPI.

RIBEIRO, R.C.C.; OLIVEIRA, M.G.; HENRIQUES, C.; LACERDA, G.; SANTOS, C.A.M. e HOLLANDA, F.W., (2016 b). Processo de formação de compósito de poliuretano com resíduos gerados na lavra e no beneficiamento de caulim, patente depositada BR1020160300720, INPI.

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.

VROM (Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment). Intervention values and target values: soil quality standards. The Hague. VROM, 19p. 2000.

WEBSITES CONSULTADOS em fevereiro de 2025.

IARC - International Agency for Cancer Research  
<http://monographs.iarc.fr>

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)

RAIS - The Risk Assessment Information System  
<http://risk.lsd.ornl.gov>

USEPA - IRIS Database for Risk Assessment  
<http://www.epa.gov/iris/>





## PLANILHA DE ENTRADA DE DADOS

PARÂMETROS	DESCRIÇÃO	UNIDADE	RESIDENCIAL RURAL		VALORES DE CÁLCULO
			Referência CETESB	VALORES ESPECÍFICOS	
<b>Cenários Associados a Intrusão de Vapores</b>					
Ab	Área das Fundações	cm <sup>2</sup>	200000,00		200000,00
Lb	Pe Direito	cm	250,00		250,00
Lcrk	Espessura das fundações/paredes de construções	cm	10,00		10,00
<b>Cenários Associados a Inalação de Vapores a partir do Solo e Água Subterrânea</b>					
Lss	Profundidade da Fonte no Solo Subsuperficial	cm	100		100
dis	Espessura do Solo Subsuperficial Impactado	cm	345		345
Wss	Largura do solo subsuperficial impactado	cm	4500		4500
Lgw	Profundidade do Nível d'Água	cm	450		450,00
T	Temperatura da Água Subterrânea	K	298		298,00
Ww	Largura da área fonte na direção paralela ao fluxo da água subterrânea	cm	4500		4500
δgw	Espessura da pluma dissolvida na água subterrânea	cm	200		200
ØT	Porosidade Total	-	0,460		0,460
ps	Densidade do Solo	g/cm <sup>3</sup>	1,300		1,300
foc	Fração de Carbono Orgânico no Solo	g-C/ig solo	0,003		0,0030
<b>Cenários Associados a Lixiviação do Solo Subsuperficial para Água Subterrânea</b>					
SIR	Taxa de infiltração no Solo	cm/ano	66,10		66,10
<b>Cenários Associados ao Contato Direto com Solo superficial</b>					
Ls	Espessura do Solo Superficial Impactado	cm	100		100
A	Área de Emissão de Vapores	cm <sup>2</sup>	20250000		20250000
Ws	Largura do solo superficial impactado	cm	4500		4500
<b>Cenários Associados ao Transporte de Contaminante em Meio Saturado</b>					
Sd	Espessura da Fonte na Água Subterrânea	cm	200		200
Sw	Largura da Fonte	cm	4500		4500
i	Gradiente Hidráulico	-	0,050		0,0500
K	Condutividade Hidráulica	cm/dia	11,23		11,23
x	Distância entre a área fonte na água subterrânea e o Ponto de Exposição	cm	4500		4500
Bef	Porosidade Eletiva	cm <sup>3</sup> /cm <sup>3</sup>	0,120		0,1200

ESP/CRF/010











CAS No.	CONTAMINANTE	ERITO	RESIDUAL RURAL										RESIDUAL URBANO														
			GRANDE ZERADO					SERRAVALLE					NEZES DE AZEITE					SALGADO					SERRAVALLE				
			MATERIAS		CONVETIONADO		BIBELIO		MATERIAS DE CONSUMO		MATERIAS DE CONSUMO		MATERIAS DE CONSUMO		MATERIAS DE CONSUMO		MATERIAS DE CONSUMO		MATERIAS DE CONSUMO		MATERIAS DE CONSUMO		MATERIAS DE CONSUMO		MATERIAS DE CONSUMO		
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg				
1	7440-45-4		C	NA	1,25E-05	2,28E-03	6,52E-02	1,25E-02	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA											
2	7440-40-4	Calcium (344) Dobut	P2	NA	3,15E-05	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA											
3			P2	NA	1,70E-06	ND	1,8E-05	3,18E-05	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA											
4			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
5			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
6			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
7			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
8			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
9			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
10			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
11			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
12			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
13			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
14			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
15			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
16			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
17			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
18			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
19			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
20			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
21			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
22			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
23			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
24			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
25			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
26			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
27			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
28			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
29			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			
30			P2	NA	ND	ND	ND	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA			

NA FONTE DE CONTAMINAÇÃO A UBIQUITAÇÃO DO PONTO DE EXPOSIÇÃO

RESIDUAL URBANO

RESIDUAL RURAL

CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS PARA SOLO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL

ADULTO

NO PONTO DE EXPOSIÇÃO

RESIDUAL RURAL

RESIDUAL URBANO

CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS PARA SOLO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL

ADULTO

NO PONTO DE EXPOSIÇÃO

RESIDUAL RURAL

RESIDUAL URBANO

CONCENTRAÇÕES MÁXIMAS ACEITÁVEIS PARA SOLO SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL

ADULTO

NO PONTO DE EXPOSIÇÃO

RESIDUAL RURAL

RESIDUAL URBANO

## 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 2024, já foram publicados, eletronicamente e/ou impressos em papel, mais de 390 títulos, distribuídos entre as seis séries atualmente em circulação: Rochas e Minerais Industriais (SRMI), Tecnologia Mineral (STM), Tecnologia Ambiental (STA), Estudos e Documentos (SED). 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 <https://www.gov.br/cetem/pt-br/assuntos/repositorio-mineralis-e-biblioteca>.

### Últimos números da Série Tecnologia Ambiental

STA-135 - **Estudo das telhas do Mosteiro de São Bento do Rio de Janeiro.** Marcelle Lemos Amorim de Cerqueda, Giovanna Oliveira Consoli Louro, Roberto Carlos da Conceição Ribeiro e Nuria Fernández Castro, 2024.

STA-134 - **Geoturismo urbano: Conhecendo as rochas das igrejas dos bairros do Catumbi, Estácio e Rio Comprido, no Rio de Janeiro.** Ana Rafele Soalheiro Varella Pitta Ribeiro, Rosana Elisa Coppedê da Silva e Roberto Carlos da Conceição Ribeiro, 2024.

STA-133 - **Nanociência e Nanotecnologia: Considerações Gerais para o Setor Mineral.** Cristina Lúcia Silveira Sisino, Josino Costa Moreira, Florian Part, Jiří Barek, Andréa Camardella de Lima Rizzo e Cláudia Duarte da Cunha, 2024.

## **INFORMAÇÕES GERAIS**

CETEM – Centro de Tecnologia Mineral  
Avenida Pedro Calmon, 900 – Cidade Universitária  
21941-908 – Rio de Janeiro – RJ  
E-mail: [biblioteca@cetem.gov.br](mailto: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.



## Missão Institucional

Desenvolver tecnologias inovadoras e sustentáveis, e mobilizar competências visando superar desafios nacionais do setor mineral.

## O CETEM

O Centro de Tecnologia Mineral - CETEM é um instituto de pesquisas, vinculado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, dedicado ao desenvolvimento, à adaptação e à difusão de tecnologias nas áreas minerometalúrgica, de materiais e de meio ambiente.

Criado em 1978, o Centro está localizado no campus da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, na cidade Universitário, no Rio de Janeiro e ocupa 20.000m<sup>2</sup> de área construída, que inclui 25 laboratórios, 4 plantas-piloto, biblioteca especializada e outras facilidades.

Durante seus 47 anos de atividade, o CETEM desenvolveu mais de 800 projetos tecnológicos e prestou centenas de serviços para empresas atuantes nos setores minerometalúrgico, químico e de materiais.