

## REVIVING - REVISITING MINE TAILINGS TO INNOVATE METALS BIORECOVERY

## REVIVING - REEVALUAREA STERILULUI DE MINĂ PENTRU BIORECUPERAREA INOVATIVĂ A METALELOR



### WHAT IS REVIVING? CE ESTE REVIVING?

This project is focused on valuing mine tailings as resources, supplying metals that are extracted today via other processes, promoting recycling, minimizing the production of hazardous waste and thereby embracing a circular economy. The project will consist of several work steps, starting with small-scale assays performed in columns to test the potential of the manipulation of the tailings microbiome in leaching of Cu, Mn, Zn, Mo (non-critical major elements), W and Mg (critical metals) from tailings from Portuguese (Beralt Tin & Wolfram, Panasqueira) and Romanian (CUPRUMIN S.A. Abrud CNCAF Minvest Deva) mines.



Panasqueira Mine

Acest proiect se concentrează pe evaluarea sterilului de mină ca resurse, furnizând metale care sunt extrase astăzi prin alte procese, promovând reciclarea, minimizând producerea de deșeuri periculoase și, astfel, adoptând o economie circulară. Proiectul constă în mai multe etape de lucru, începând cu analize la scară mică efectuate în coloane pentru a testa potențialul manipulării microbiomului sterilului în extracția de Cu, Mn, Zn, Mo (elemente majore non-critice), W și Mg (metale critice) din sterilite provenite din minele din Portugalia (Beralt Tin & Wolfram, Panasqueira) și din România (CUPRUMIN S.A. Abrud CNCAF Minvest Deva).

## REVIVING – REVISITING MINE TAILINGS TO INNOVATE METALS BIORECOVERY

### REVIVING – REEVALUAREA STERILULUI DE MINĂ PENTRU BIORECUPERAREA INOVATIVĂ A METALELOR



## ROLE OF MICROORGANISMS IN THE LEACHING OF CRITICAL METALS FROM TUNGSTEN MINE WASTES: FROM THE MICROSCALE TO THE FIELD SCALE

Elia Laroche, Lorenzo Spadini, Laurent Oxarango, Armelle Crouzet, Céline Duwig, Yvan Rossier, Gaspard Boujut, Luciane Cand, Thomas Maret and Jean M.F. Martins. "Role of microorganisms in the leaching of critical metals from tungsten mine wastes: from the microscale to the field scale". Oral conference at the 3rd Intern. Conf. in Microbial Ecotoxicology. Montpellier, France. Nov. 15-18, 2022.

The availability of primary resources will continue to be a growing need to satisfy the increasing global demand for raw materials. An innovative approach is to consider tailings/wastes from mining in a circular economy concept, as secondary raw materials. The REVIVING project has been developed in this context, with the objective of obtaining optimized experimental models for efficient recovery of critical metals from mining wastes, based on the manipulation of the indigenous tailing's microbiome. The aim of this study is to evaluate the ability of a microbial consortium to leach metals of interest (Cu, Mn, Mg, Zn and W) from the mining waste of Panasqueira (Portugal) under acidic conditions. The microbial consortium was directly enriched from residues, and, was able to mediate the oxidation of iron and sulfur when grown at an initial pH of 1.8. Bioleaching assays were conducted biotically and abiotically under different experimental conditions (+ nutrients, iron and/or sulfur). Physico-chemical parameters (pH, O<sub>2</sub>, concentrations of metals ...) and biological parameters (qPCR and DNA-metabarcoding) were analyzed over 60 days of incubation. First results confirmed effective increase of metal bioleaching in biotic reactors compared to abiotic conditions: between 5 and 70 times more according to the metal considered. An external (and expensive) addition of sulfur and iron is not necessary for this process development, as they do not stimulate bioleaching. However, additional experiments are in progress to investigate the effect of nutrients on the biostimulation of indigenous micro-organisms. This work will allow a better understanding of the bioleaching phenomenon, and therefore, to design an efficient system for recovery metals from mining waste on a large scale.

# ROLUL MICROORGANISMELOR ÎN EXTRAȚIA METALELOR CRITICE DIN DEȘEURILE DE MINĂ DE WOLFRAM: DE LA SCARĂ MICRO LA SCARĂ IN SITU.

Elia Laroche, Lorenzo Spadini, Laurent Oxarango, Armelle Crouzet, Céline Duwig, Yvan Rossier, Gaspard Boujut, Luciane Cand, Thomas Maret and Jean M.F. Martins. "Rolul microorganismelor în extracția metalelor critice din deșeurile miniere de wolfram: de la scara micro la scara industrială". Conferință orală la the 3rd Intern. Conf. in Microbial Ecotoxicology. Montpellier, France. Nov. 15-18, 2022.

Disponibilitatea resurselor primare va continua să fie o nevoie în creștere pentru satisfacerea cererii globale tot mai mari de materii prime. O abordare inovatoare este să se ia în considerare sterile/deșeurile provenite din minerit în conceptul unei economii circulare, ca materii prime secundare. Proiectul REVIVING a fost dezvoltat în acest context, având ca obiectiv obținerea de modele experimentale optimizate pentru recuperarea eficientă a metalelor critice din deșeurii miniere, bazată pe manipularea microbiomului indigen al sterile. Scopul acestui studiu este evaluarea capacității unui consorțiu microbial de a extrage metalele de interes (Cu, Mn, Mg, Zn și W) din deșeurile miniere de la Panasqueira (Portugalia) în condiții acide. Consorțiul microbial a fost izolat direct din reziduuri și a fost capabil să medieze oxidarea fierului și sulfatului când a fost cultivat la un pH inițial de 1,8. S-au efectuat teste de bio-extracție în condiții biotice și abiotice în diferite condiții experimentale (+ nutrienți, fier și/sau sulf). Parametrii fizico-chimici (pH, O<sub>2</sub>, concentrații de metale ...) și parametrii biologici (qPCR și DNA-metabarcodare) au fost analizați pe parcursul a 60 de zile de incubație. Primele rezultate au confirmat creșterea eficientă a bio-extracției metalelor în reactoarele biotice în comparație cu condițiile abiotice: între 5 și 70 de ori mai mult în funcție de metalul considerat. Adiția externă (și costisitoare) de sulf și fier nu este necesară pentru dezvoltarea acestui proces, deoarece nu stimulează bio-extracția. Cu toate acestea, experimente suplimentare sunt în desfășurare pentru a investiga efectul nutrienților asupra biostimulării microorganismelor indigene. Acest lucru va permite o înțelegere mai bună a fenomenului de bio-extracție și, prin urmare, proiectarea unui sistem eficient pentru recuperarea metalelor din deșeurii miniere la scară largă.



## REVIVING

VIZITAȚI PAGINA WEB A PROIECTULUI | VISIT THE PROJECT WEBPAGE

[www.clustermineralresources.pt/reviving](http://www.clustermineralresources.pt/reviving)



## Potential of tellurite resistance in heterotrophic bacteria from mining environments

Farias, Pedro; Francisco, Romeu; Morais, Paula V. "Potential of tellurite resistance in heterotrophic bacteria from mining environments". *iScience* 25 7 (2022): 104566.

Untreated mining wastes and improper disposal of high-tech devices generate an environmental increase of bioavailable metalloids, exerting stress on autochthonous microbial populations. Tellurium is a metalloid, an element with raising economic importance; nevertheless, its interaction with living organisms is not yet fully understood. Here we characterized aerobic heterotrophic bacteria, isolated from high metal-content mining residues, able to resist/reduce tellurite into tellurium structures and to determine the presence of confirmed tellurite resistance genetic determinants in resistant strains. We identified over 50 tellurite-resistant strains, among 144 isolates, eight strains reduced tellurite to tellurium at different rates, with the concomitant production of tellurium deposits. Most tellurite resistance genes were found in strains from Bacillales, with the prevalence of genes of the *ter* operon. This work demonstrated that bacterial isolates, from environments with a persistent selective pressure, are potential candidates for uncovering strategies for tellurite resistance and/or production of valuable Te-containing materials.

## Potențialul rezistenței la telurit în bacteriile heterotrofe din medii miniere

Farias, Pedro ; Francisco, Romeu ; Morais, Paula V. "Potențialul de rezistență la telurit a bacteriilor heterotrofe din mediile miniere". *iScience* 25 7 (2022) : 104566.

Deșeurile miniere netratate și eliminarea necorespunzătoare a dispozitivelor high-tech generează o creștere a disponibilității biologice a metaloizilor în mediul înconjurător, exercitând stres asupra populațiilor microorobiene autohtone. Telurul este un metaloid, un element cu o importanță economică crescândă; cu toate acestea, interacțiunea sa cu organismele vii nu este încă pe deplin înțeleasă. Aici am caracterizat bacteriile heterotrofe aerobe, izolate din reziduurile miniere cu conținut ridicat de metale, capabile să reziste/reducă teluritul în structuri de telur și să determine prezența determinantilor genetici confirmați de rezistență la telurit în tulpinile rezistente. Am identificat peste 50 de tulpini rezistente la telurit, din 144 de tulpini izolate, opt tulpini au redus teluritul la telur cu rate diferite, cu producția concomitentă de depozite de telur. Cele mai multe gene de rezistență la telurit au fost găsite în tulpinile din Bacillales, cu prevalența genelor din operonul *ter*. Acest lucru a demonstrat că izolatele bacteriene, din medii cu o presiune selectivă persistentă, reprezintă potențiali candidați pentru descoperirea strategiilor de rezistență la telurit și/sau producția de materiale valoroase care conțin telur.



## GLOBAL RESEARCH PROGRESS AND TRENDS ON CRITICAL METALS

Butu A, Rodino S, Butu M. Global Research Progress and Trends on Critical Metals: A Bibliometric Analysis. *Sustainability*. 2023; 15(6):4834. Farias, Pedro; Francisco, Romeu; Morais, Paula V. "Potential of tellurite resistance in heterotrophic bacteria from mining environments". *iScience* 25 7 (2022): 104566.  
<https://doi.org/10.3390/su15064834>

In the perspective of observing the latest worldwide and European strategies toward green transition and delivering a secured access to local resources, the objective of this study was to analyze the research progress on critical materials and, more specific, critical metals and review the future research hot-topics for critical metals. Consequently, a bibliometric analysis for the assessment of the current state of the art research, future trends as well as evolution through time of the critical metals research was performed in the present work. The study included four phases of work: (i) search string selection, (ii) data collection, (iii) data processing, and (iv) data interpretation. A total of 433 publications on critical metals were collected from Scopus database between 1977 and 2023, with an increasing yearly trend and a burst in 2013. The data retrieved showed a significant increase in publications related to the topic in the last 10 years. The results show that research interest is concentrated around six critical areas: (i) bioleaching as an important process of critical metal recovery, (ii) circular economy concepts and recovery of critical metals by urban mining from e-waste, (iii) resource recovery from waste landfills as urban mines, (iv) targeted studies on various critical elements (copper, zinc, gallium, silver, lithium), (v) rare elements as industry vitamins and, (vi) coal deposits and coal ashes as an alternative source of critical metals. This analysis could provide important guidance for further directions on the development of research for recovery of critical metals.

## PROGRES ȘI TENDINȚE GLOBALE ÎN CERCETAREA METALELOR CRITICE

Butu A, Rodino S, Butu M. Progresul cercetării globale și tendințele privind metalele critice: o analiză bibliometrică. *Sustainability*. 2023; 15(6):4834, <https://doi.org/10.3390/su15064834>.

Având în vedere perspectivele observării celor mai recente strategii la nivel mondial și european în direcția tranziției verzi și asigurării unui acces securizat la resursele locale, obiectivul acestui studiu a fost de a analiza progresul cercetărilor privind materialele critice și, mai specific, metalele critice, precum și de a examina temele de cercetare viitoare pentru acestea. Prin urmare, în această lucrare s-a efectuat o analiză bibliometrică pentru evaluarea stadiului actual al cercetărilor, tendințelor viitoare și evoluției în timp a cercetărilor privind metalele critice.

Studiul a inclus patru etape de lucru: (i) selecția șirului de căutare, (ii) colectarea datelor, (iii) prelucrarea datelor și (iv) interpretarea datelor. Au fost colectate în total 433 de publicații despre metalele critice din baza de date Scopus între anii 1977 și 2023, cu o tendință anuală crescătoare și un vârf în 2013. Datele extrase au arătat o creștere semnificativă a publicațiilor legate de acest subiect în ultimii 10 ani.

Rezultatele arată că interesul cercetărilor este concentrat în jurul a șase domenii critice: (i) bio-extracția ca proces important în recuperarea metalelor critice, (ii) concepte de economie circulară și recuperarea metalelor critice prin reciclarea urbană a deșeurilor electronice, (iii) recuperarea resurselor din depozitele de deșeurii ca mine urbane, (iv) studii direcționate asupra diverselor elemente critice (cupru, zinc, galium, argint, litiu), (v) elemente rare pentru industrie și (vi) depozitele de cărbune și cenușa de cărbune ca sursă alternativă de metale critice.

Această analiză poate oferi orientări importante pentru direcțiile ulterioare în dezvoltarea cercetărilor privind recuperarea metalelor critice.





. Chung P., Morais P. V., Branco R. Genome mining to unravel potential metabolic pathways linked to gallium bioleaching ability of bacterial mine isolates. FEMS Conference on Microbiology 2022, Belgrade, Serbia, 30 June- 2 July 2022.

. Branco R., Morais P.V. Enhanced Gallium and Indium Tolerance and Accumulation by Engineered Escherichia coli Cells Expressing Metallothioneins. FEMS Conference on Microbiology 2022, Belgrade, Serbia, 30 June-2 July 2022.

. Caldeira J.B., Chung A.P, Morais P.V. Branco R. A new role of DedA family protein in Indium Extrusion by a Rhodanobacter sp. strain. FEMS Conference on Microbiology 2022. 30 June-02 July 2022.

. Francisco R. and Morais P. V. From diversity to biotools: when the target is not the aim. Online Seminar, organized by LGI consulting, integrated in project Biorecover. Biomining, a promising sustainable way to supply Critical Raw Materials in Europe, 27 April 2022

. Coimbra C., Branco R., Martins J.M.F. and Morais P.V. Interaction of Mesorhizobium quingshengii J19 with high concentrations of yttrium. Ciência'22: 16 to 18 May 2022, Lisbon, Portugal



## Other relevant work completed | Alte lucrări relevante finalizate

Thomas MARET. Bioleaching of mining waste under acidic conditions. Use of an autochthonous microbial enrichment. Internship M1 Biologie & Biotechnol. Environnementales, Aix Marseille Univ. Dir. E. Laroche, L. Spadini, L. Oxarango and J. Martins. Defense on 27/05/2022

Luciane Cand. Acid bioleaching tests of the Panasqueira (Pt) mine waste. Internship Licence 3 Génie Des Procédés UFR de Chimie et Biologie, Univ. Grenoble Alpes. Dir. E. Laroche, L. Spadini, L. Oxarango and J. Martins.

## The expected results of the project | Rezultatele așteptate ale proiectului.



Furnizarea unui nou lanț de procesare pentru a susține prelucrarea durabilă a sterilului din minierit.



Asigurarea accesului industriei UE la surse alternative de materiale critice, originare din locații europene.



Îmbunătățirea recuperării metalelor prin reciclarea reziduurilor provenite din sterilului din minierit.



Contribuirea la rezolvarea riscurilor ambientale generate de sterilului din minierit existent și alte reziduuri de metale.

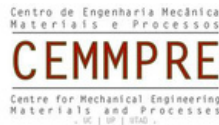


Reducerea cantității de deșeuri miniere periculoase care necesită eliminare.

## MEET OUR TEAM | ÎNTÂLNEȘTE ECHIPA



C



CLUSTER  
PORTUGAL  
MINERAL  
RESOURCES



CUPRUMIN



# REVIVING



ERA-MIN 2

RESEARCH & INNOVATION PROGRAMME  
ON RAW MATERIALS  
TO FOSTER CIRCULAR ECONOMY



FCT  
Fundação  
para a Ciência  
e a Tecnologia

PROJECT financed by national funds through FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P.