



Construir com Biomassa e Lã Carbonatada – Materiais Circulares em Construção Modular

João Castro Gomes, Joaquim Constantino, Geovane Bezerra, Sajjad Zare Sefat,
Tabata Aviles, Leonel Amaral, Nuno Lourenço, Gil Vicente, Nuno Roque

23 e 24 de outubro, 2025
Faculdade de Engenharia, UBI, Covilhã



UNIVERSIDADE
BEIRA INTERIOR



C MADE
CENTRE OF MATERIALS
AND CIVIL ENGINEERING
FOR SUSTAINABILITY



OVIBEIRA
Associação de Produtores Agropecuários



Queiró
Associação para o Desenvolvimento



STAR MODULAR
THE DREAM STARTS HERE



Bio-based Industries Consortium



Circular
Bio-based
Europe
Joint Undertaking

Co-funded by
the European Union

Construir com Biomassa e Lã Carbonatada

– Materiais Circulares em Construção Modular

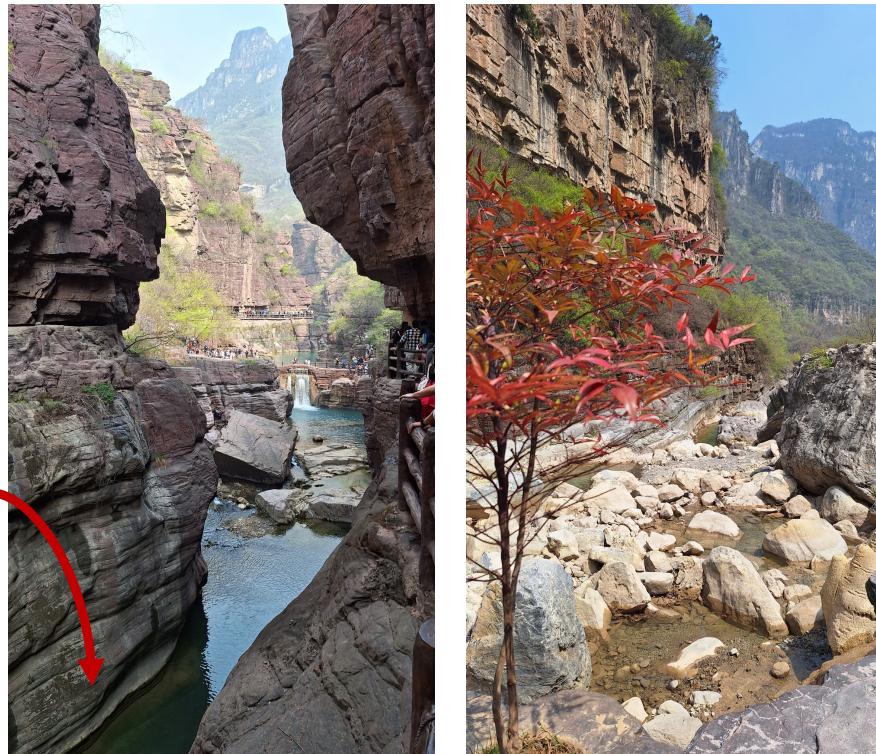
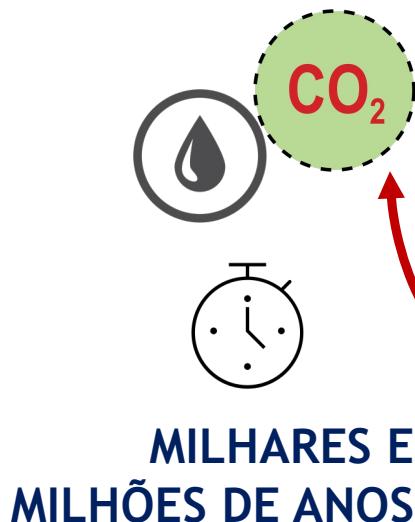
Aprender a transformar resíduos em materiais circulares — misturas que absorvem e endurecem com CO₂, melhoradas pela presença da lã e da biomassa, revelando novas possibilidades para uma construção modular mais sustentável.



Construir com Biomassa e Lã Carbonatada – Materiais Circulares em Construção Modular

Aprender a transformar resíduos em materiais circulares — misturas à base de escórias de forno de arco elétrico e outros subprodutos ricos em cálcio e magnésio, que endurecem com a absorção de CO₂ num processo de carbonatação acelerada. A lã e a biomassa aumentam a porosidade e favorecem a difusão do CO₂, melhorando a absorção e as propriedades dos materiais.

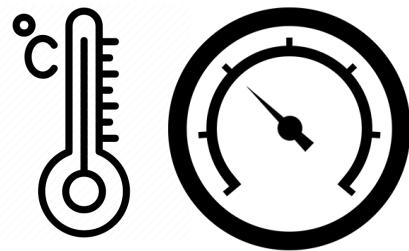
Ciclo biogeoquímico dos carbonatos e silicatos



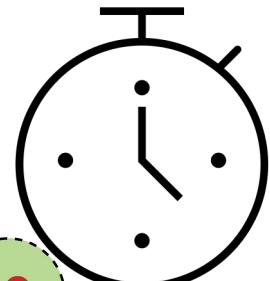
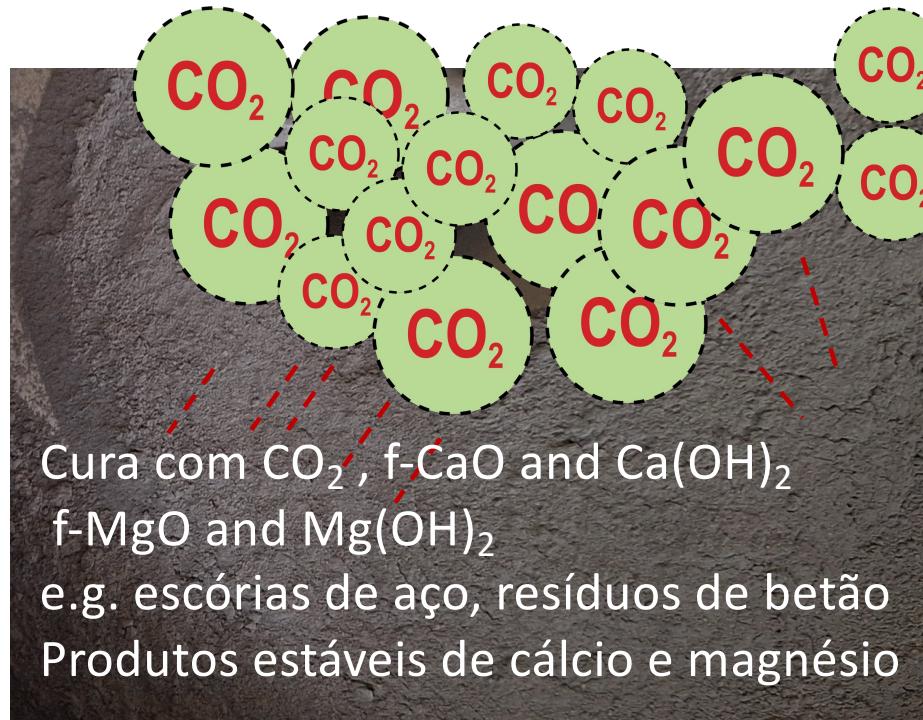
Yuntaishan National Geopark - Jiaozuo city Henan Province

À escala geológica, o ciclo carbonato-silicato é um processo natural que transforma o CO₂ atmosférico em ácido carbônico, o qual reage com os minerais para formar carbonatos – rochas sedimentares.

Tecnologia de carbonatação acelerada



Temperatura e
pressão



Reação
acelerada de
carbonatação

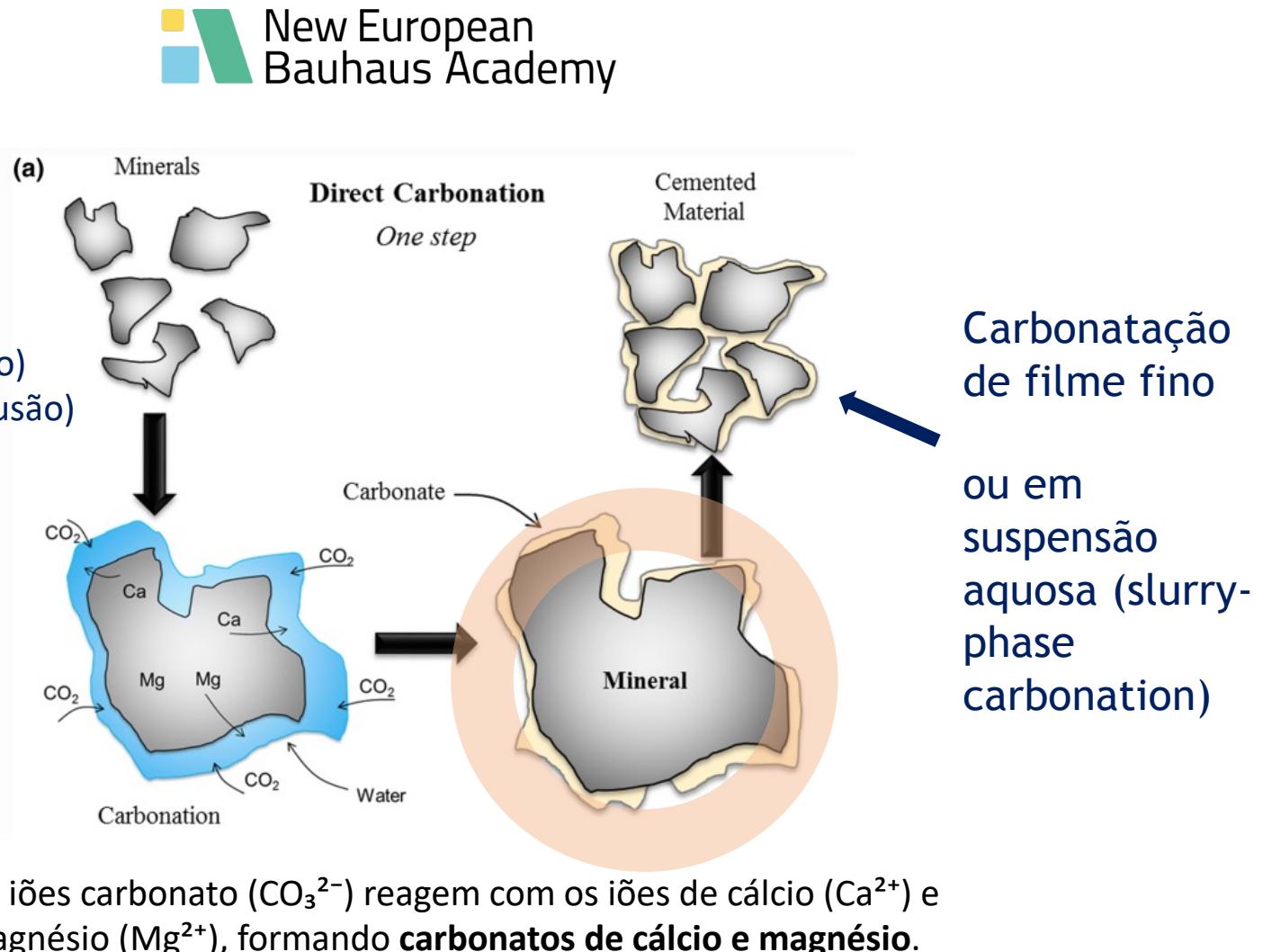
Formação rápida de
carbonatos estáveis

Processo de carbonatação acelerada em meio aquoso

(processos de dissolução – difusão)
(processos de carbonatação – difusão)

O CO₂ difunde-se e dissolve-se na solução porosa formando ácido carbónico (H₂CO₃).

O ácido carbónico (H₂CO₃) ioniza-se em iões bicarbonato (HCO₃⁻), iões carbonato (CO₃²⁻) e iões hidrogénio (H⁺).



Os iões carbonato (CO₃²⁻) reagem com os iões de cálcio (Ca²⁺) e magnésio (Mg²⁺), formando carbonatos de cálcio e magnésio.

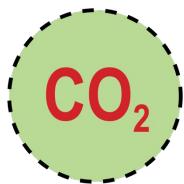
Que materiais (incluindo resíduos) podem ser utilizados na tecnologia de carbonatação acelerada (endurecimento por carbonatação)?



Materiais ricos em **cálcio livre (f-CaO)** e **magnésio livre (f-MgO)**, provenientes de várias fontes de resíduos: salmouras resultantes da dessalinização, portlandite e cimento Portland comum, resíduos industriais (escórias siderúrgicas, EAFS, BOFS, GGBFS), poeiras de desvio de cimento (*Cement By-Pass Dust*) rochas com teores elevados de cálcio e magnésio

Fatores que influenciam a carbonatação acelerada

Concentração
de CO₂



A concentração de CO₂ no ambiente de reação afeta a velocidade e a extensão da carbonatação. Concentrações mais elevadas de CO₂ promovem, em geral, reações de carbonatação mais rápidas e completas.

(O objetivo é maximizar a sequestração de CO₂, e não apenas a sua concentração.)

Temperatura de
Carbonatação



A velocidade da carbonatação acelerada é influenciada pela temperatura. Temperaturas mais elevadas podem aumentar a cinética do processo, levando a reações de carbonatação mais rápidas. No entanto, temperaturas excessivamente altas podem provocar reações secundárias indesejáveis ou afetar a estabilidade dos carbonatos formados.

Fatores que influenciam a carbonatação acelerada

Pressão



As condições de pressão em que ocorre o processo de carbonatação podem influenciar a velocidade da reação e o estado de equilíbrio. Pressões mais elevadas aumentam a solubilidade do CO₂ no meio reacional e aceleram o processo de carbonatação. Contudo, **pressões excessivas de CO₂** podem causar uma **precipitação rápida de minerais carbonatados**, afetando a uniformidade da reação.

Teor de
humidade

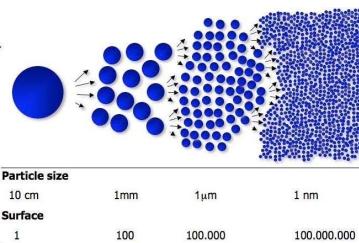


A presença de umidade é essencial para a dissolução do CO₂ e para a formação de ácido carbônico, etapa fundamental na reação de carbonatação. Níveis ótimos de umidade nos materiais residuais facilitam a reação e promovem uma carbonatação mais eficiente.

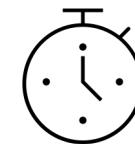
Fatores que influenciam a carbonatação acelerada

Tamanho de partícula e área superficial

O tamanho das partículas e a área superficial dos materiais residuais influenciam significativamente a velocidade de carbonatação. Materiais mais finamente moídos ou porosos apresentam uma área de superfície maior, o que facilita a reação do CO₂ com os óxidos de cálcio e magnésio, resultando numa carbonatação mais eficiente.



Tempo de reação



A duração do processo de carbonatação também afeta o grau de conversão.

Tempos de reação mais longos permitem uma transformação mais completa dos óxidos de cálcio e magnésio em carbonatos estáveis.



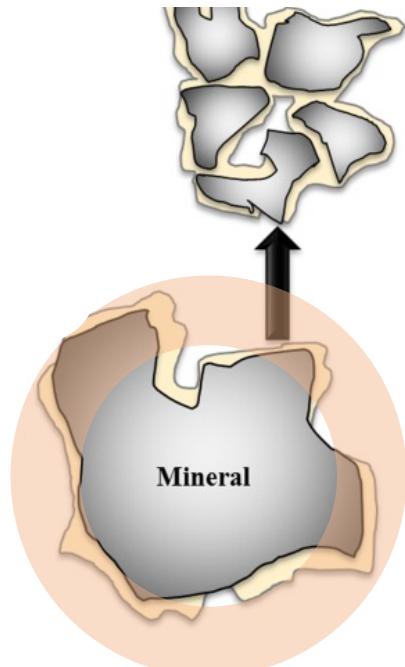
Desafios da tecnologia de carbonatação acelerada

A carbonatação é uniforme? Quanto CO₂ é absorvido?



A **pressão de compactação** e a **porosidade** influenciam diretamente a **difusão do CO₂** no interior das amostras. A falta de uniformidade na penetração do gás pode originar zonas com diferentes graus de carbonatação, afetando a resistência e o desempenho do material.

Compreender e controlar o processo de carbonatação

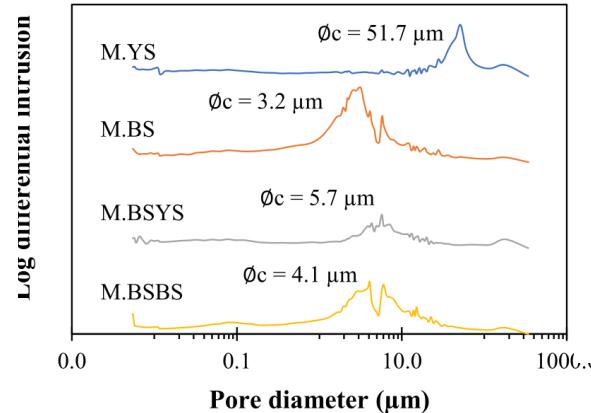
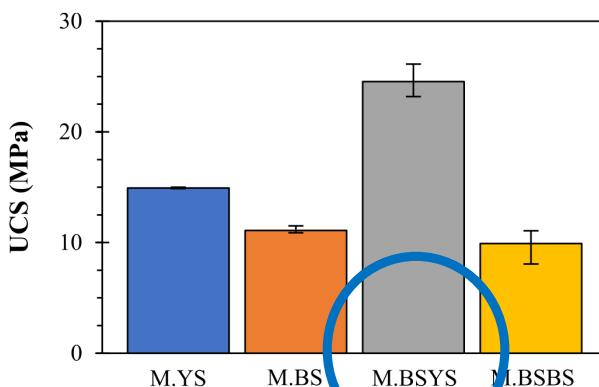
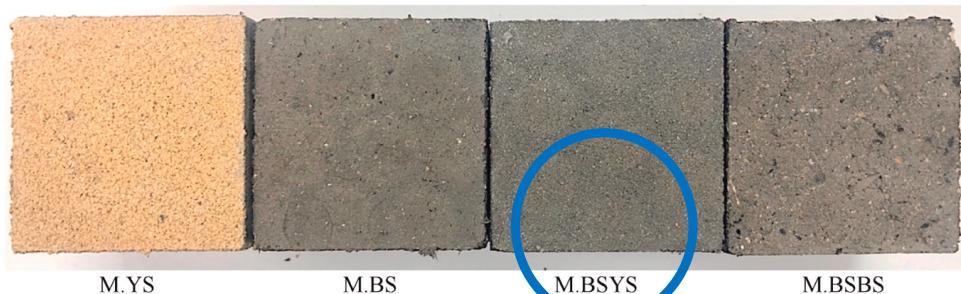


Absorção de
CO₂ e
uniformidade
da
carbonatação

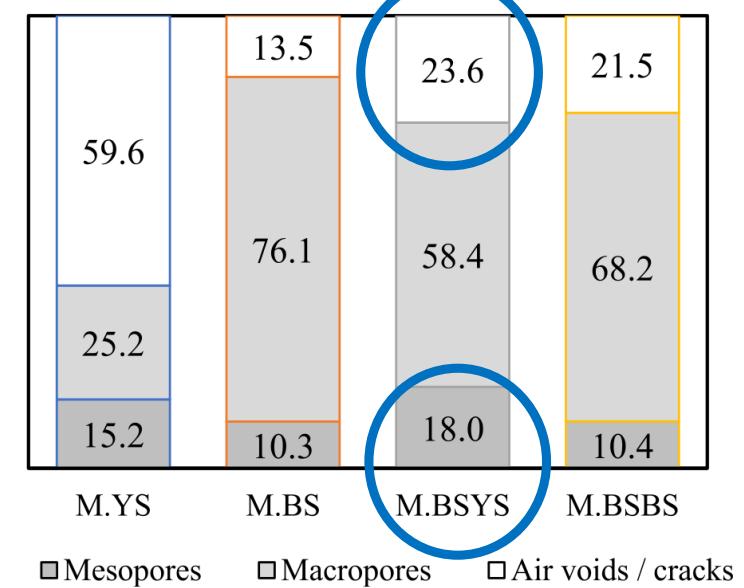


A absorção de CO₂ não é apenas limitada pelo fechamento dos poros, mas também depende dos percursos disponíveis para a difusão do gás até ao interior das partículas.

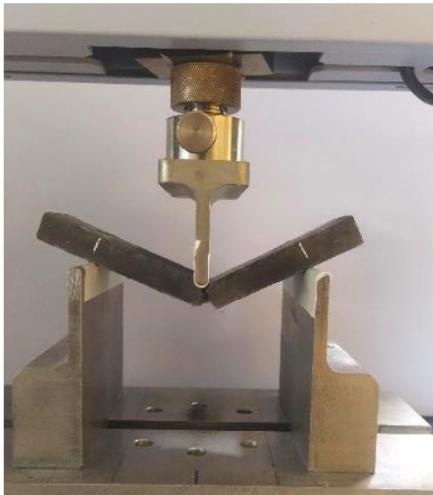
Co-utilização de resíduos – o uso de cinzas volantes de biomassa cria uma porosidade ideal e melhora a difusão e o grau de carbonatação do CO₂



Pore typology (%)



Co-utilização de fibras – efeito na absorção de CO₂ e no desempenho mecânico com 1 a 3% de fibras têxteis



EAFS e fibras de algodão sintético
recicladas — compósitos carbonatados

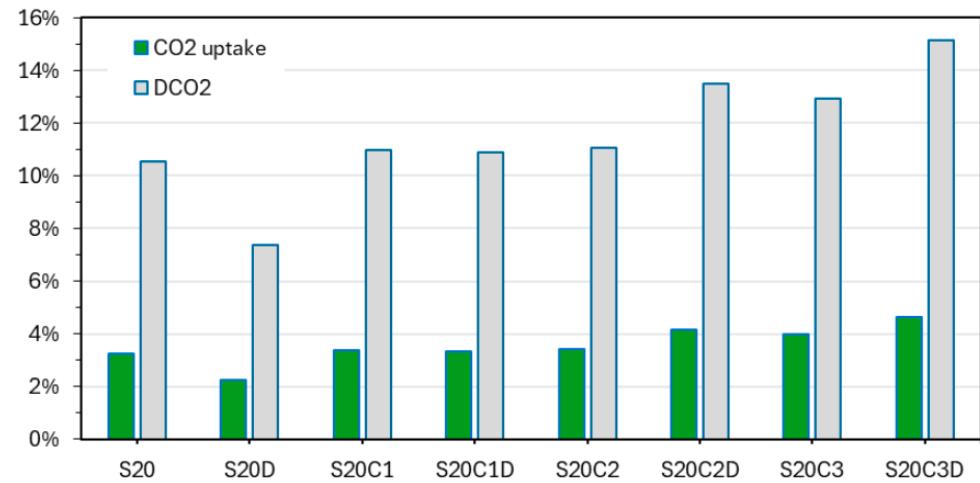
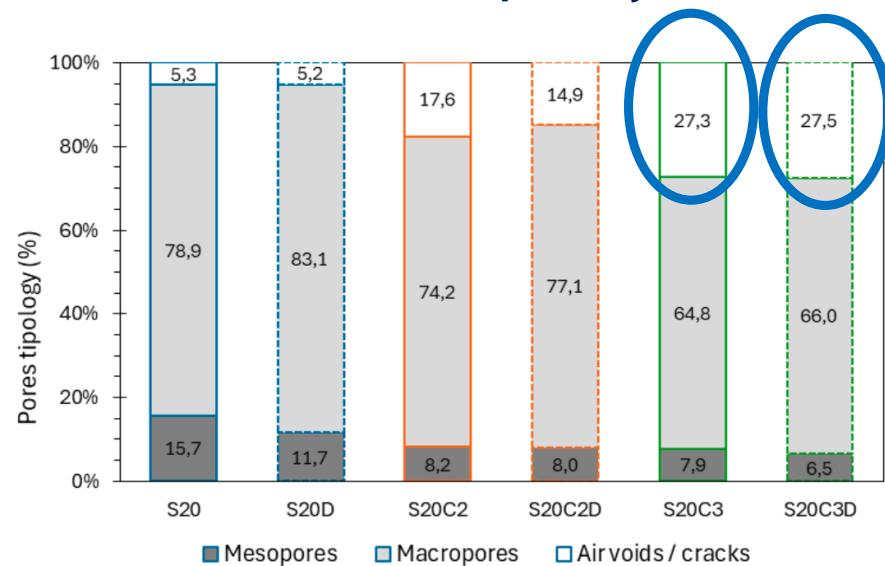
10 × 40 × 160 mm moulds
10 MPa of casting pressure
Curing process at 60 °C
CO₂ pressure 0.8 bar for 24 hours

Anabel Castillo Rodríguez; Ongoing PhD thesis



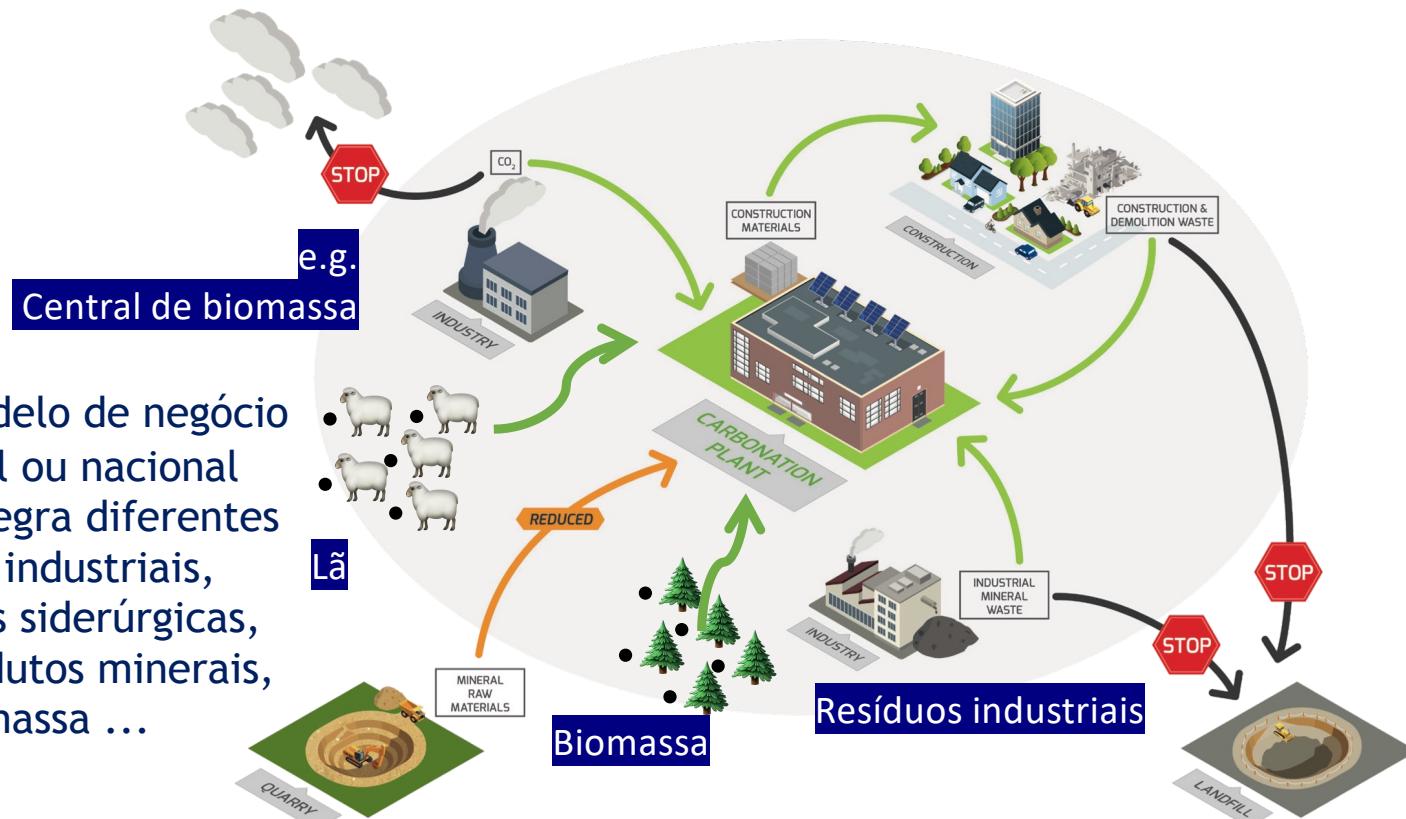
UNIVERSIDAD
POLÍTÉCNICA
DE MADRID

Resultados MIP – aumento da porosidade interna e melhoria da difusão de CO₂ - Maior absorção de CO₂ com a incorporação de 1 a 3% de fibras têxteis



Anabel Castillo Rodríguez; Ongoing PhD thesis

Modelo regional/nacional para novos materiais de construção



Um modelo de negócio regional ou nacional que integra diferentes setores industriais, escórias siderúrgicas, subprodutos minerais, lã, biomassa ...

A tecnologia de carbonatação acelerada permite transformar resíduos, lã e biomassa e CO₂ capturado, em novos materiais de construção, promovendo modelos circulares sustentáveis, com potencial de aplicação a nível local e global.



Construir com Biomassa e Lã Carbonatada — Materiais Circulares em Construção Modular

João Castro Gomes, Joaquim Constantino, Geovane Bezerra, Sajjad Zare Sefat,
Tabata Aviles, Leonel Amaral, Nuno Lourenço, Gil Vicente, Nuno Roque



UNIVERSIDADE
BEIRA INTERIOR



C MADE
CENTRE OF MATERIALS
AND CIVIL ENGINEERING
FOR SUSTAINABILITY



OVIBEIRA
Associação de Produtores Agropecuários



Queiró



STAR MODULAR
THE DREAM STARTS HERE



Bio-based Industries Consortium





Teses de doutoramento em curso

Sajjad Zaresefate, “Study and Characterisation of Circabuild Aggregates Aiming the Production of Concrete” since September 2024.

Geovane Bezerra da Silva Junior on “Development of industrial solutions for capturing and utilising CO₂ in the construction industry” since September 2023

Sabir Baykara on “Artificial intelligence machine learning for the prediction of mineral carbonation in industrial waste materials for precast building applications” since February 2023.

Joaquim Bernardo Bogaio Constantino on “Desenvolvimento de eco-materiais de construção porosos absorventes de CO₂ inspirados em estruturas biológicas”, since September 2022.

Dina Pinto on “Vegetation-growth and water-pervious carbon-cured construction materials”, Department of Civil Engineering and Architecture, since September 2021.





Projetos de I&D e I&I em curso

- CATS- Concrete Advances Towards Sustainability, COMPETE2030 Program with FEDER funds. Period 2025-2027. Funding: €734.450,47. UBI funding €156.790,86.
- SABE- Advanced and Sustainable Block Engineering, CENTRO2030 Program with FEDER funds (CENTRO2030-FEDER-01481400). Period 2025-2027, Funding: €392.235,14. UBI funding €230.447,30.
- CSTO2NE- Biomimicry and carbon adsorbent eco-materials for a climate-neutral economy, MSCA Staff Exchanges (SE) Horizon Europe (HORIZON). Project: 101086302 Period: 2023-2027. EU Funding: €1 030 400,00. Engineering & Physical Sciences Research Council Project No: EP/X04145X/1 UK Funding £285,430. UBI funding €322.000,00.





Teses de doutoramento concluídas

Luciana Sucupira on "Thermal properties of electrical arc furnace slag based materials obtained by accelerated carbonation", September 2024.

Erick Grünhäuser Soares on "Development of waste-based magnesium cement for CO₂ capture and storage", June 2024

Pedro Silva Humbert on "Synthesis and characterisation of CO₂ activated binders and concretes using industrial wastes and precast buildings applications", January 2020.



UNIVERSIDADE
BEIRA INTERIOR



C MADE
CENTRE OF MATERIALS
AND CIVIL ENGINEERING
FOR SUSTAINABILITY



OVIBEIRA
Associação de Produtores Agropecuários



Queiró
Associação para o Desenvolvimento





Biomimicry and carbon absorbent eco-materials for a climate-neutral economy



UNIVERSIDAD
POLÍTÉCNICA
DE MADRID



Silesian University
of Technology



Universitat
de Lleida



河南理工大学
HENAN POLYTECHNIC UNIVERSITY



carbon8



OCEAN
BLOSSOM

NIRAS



MSCA Staff Exchanges (SE) Horizon Europe (HORIZON)
Project: 101086302 Period: 2023-2027 EU Funding: €1030400,00



Engineering & Physical Sciences Research Council
Project No: EP/X04145X/1 UK Funding £285,430



C-MADE

Centre of Materials and Civil Engineering for Sustainability

cmadeubi.wordpress.com



C-MADE
CENTRE OF MATERIALS
AND CIVIL ENGINEERING
FOR SUSTAINABILITY



Activities, Projects

CSTO2NE 31M Meeting and Training Seminars – Advancing Nature-Inspired Sustainability

On 10–11 July 2025, the University of Beira Interior (UBI) and the Centre of Plant Biotechnology of Beira Interior (CPBI) hosted the 31-month meeting and training seminars of the European project CSTO2NE – Biomimicry and carbon adsorbent eco-materials for a

August 7, 2025 / Leave a comment



Activities

Building the Future with Stone: Highlights from the

About
Papers
Theses
Dissertations
Projects
Activities

Advisory board
Members
Doctorate students
Research fellows
Collaborators
Staff support
Alumni & Former Staff

Search



Activities, Projects

C-MADE/UBI joins NEBA South Hub with DARKCO2-FIBRES project focused on CO2-absorbing waste valorisation

C-MADE – Centre for Materials and Civil Engineering for Sustainability at the University of Beira Interior (UBI) has been officially selected to join the New European Bauhaus Academy (NEBA) as a member of the NEBA South Hub, under the Horizon Europe – Circular

August 7, 2025 / Leave a comment



Activities

Visit to Beijing under the CSTO2NE Project

In June, João Castro Gomes travelled to Beijing, China, for a scientific mission at the University of Science and Technology Beijing (USTB), as part of the CSTO2NE project. The main objectives of the operation are to explore potential future collaborations in civil engineering

July 20, 2025 / Leave a comment

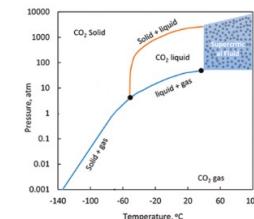


Activities, Projects

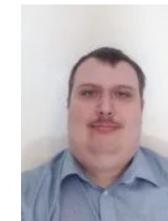
CSTO2NE Inspires Future Scientists

Joaquim Constantino, a PhD student in Civil Engineering at the University of Beira Interior and researcher at C-MADE, brought the wonders of science and sustainability to life for the 1st-grade students of the Figueira de Castelo Rodrigo school cluster. As

June 19, 2025 / Leave a comment



Papers



Members

Patrick Skilleter

João Castro Gomes, research background

Eco-materials through waste and carbon dioxide co-utilization research projects



2014

Vegetated modular system for buildings
2 PT Patents



2014 - 2022

Mining and industrial
waste-based alkali-
activated (AA) binders



REMIN
H2020-MSCA-RISE

2018 - 2022

Waste + CO2 binders
Prototypes 1 IT Patent



2023+

Biomimicry inspired
carbonated materials
Horizon-MSCA-RISE



C MADE
CENTRE OF MATERIALS
AND CIVIL ENGINEERING
FOR SUSTAINABILITY

fct
Fundação
para a Ciência
e a Tecnologia



REPÚBLICA
PORTUGUESA
EDUCAÇÃO, CIÉNCIA E INovação



Funded by
the European Union

João Castro Gomes, research background

2019-2022 Accelerated Carbonation [CaCO₃]

Binders obtained from co-utilization of EAFS and CO₂; Industry Prototypes using EAF slag



100% side-
streams/residues

60%
emission
reduction

10 x faster
production

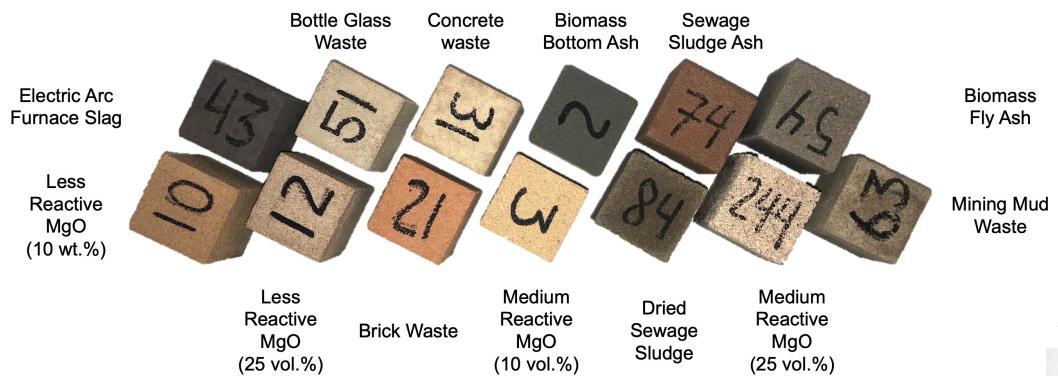
50%
production
costs
reduction

No potable
water

Pedro Humbert PhD thesis, 2020
"Synthesis and characterisation of CO₂ activated binders
and concretes using industrial wastes for precast buildings applications"



Patent



Integration of waste with carbonated reactive magnesia (CRMC); Proposal of a new cement production model using accelerated carbonation technology.

João Castro Gomes, research background

2022-2025 Accelerated Carbonation [CaCO₃] Binders with reactive magnesia Improving CO₂ absorption

Main Outputs:

Carvalho, V., Castro-Gomes, J., Luo, S. (2023). The role of construction materials by accelerated carbonation in mitigation of CO₂ considering the current climate status: a proposal for a new cement production model. *Innov. Infrastruct. Solut.* 8, 187. <https://doi.org/10.1007/s41062-023-01147-0>

CO₂ ABSORPTION



Erick Grünhäuser Soares PhD thesis, 2024
"Development of waste-based magnesium cement for CO₂ capture and storage"

G. B. Silva Junior, J. Castro-Gomes, and M. Magrinho, "Carbon capture and utilisation technologies: A systematic analysis of innovative applications and supercritical CO₂ viability strategies," *Journal of CO₂ Utilization*, vol. 97, p. 103115, Jul. 2025, doi: 10.1016/J.JCOU.2025.103115.