



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO**  
UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO  
PROPEC – Programa de Pós-Graduação Engenharia Civil  
DECIV - Departamento de Engenharia Civil  
EM – Escola de Minas

### **Relatório Técnico Final**

Programa de Promoção à Inovação  
Projeto aprovado na Chamada 09/2018–FAPEMIG/FAPES/RENOVA

**APQ-05395-18:**

**Tecnologias sociais inovadoras para recuperação de áreas degradadas pela mineração -  
Rompimento da barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais**

**Grupos de pesquisa CNPq**  
**RECICLOS Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos Industriais**

Coordenador Projeto:  
Prof. Dr. Ricardo André Fiorotti Peixoto – UFOP

Equipe:

Pesquisadora: Wanna Carvalho Fontes – PROPEC/UFOP  
Pesquisador: José Maria Franco de Carvalho – PROPEC/UFOP  
Pesquisador: Guilherme Jorge Brigolini Silva– PROPEC/UFOP  
Doutoranda: Laís Cristina Barbosa Costa – PROPEC/UFOP  
Doutoranda: Marcela Aguiar Nogueira – PROPEC/UFOP  
Doutoranda: Aline Santana Figueiredo – PROPEC/UFOP  
Doutorando: Humberto Dias Andrade – PROPEC/UFOP  
Técnico Edificações Júnio Oliveira Batista – DECIV/UFOP

Ouro Preto, 13 de junho de 2023

## **1. IDENTIFICAÇÃO DA PROPOSTA**

### **Título do Projeto**

Tecnologias sociais inovadoras para recuperação de áreas degradadas pela mineração - Rompimento da barragem de Fundão em Mariana, Minas Gerais

### **Nome do Proponente**

Ricardo André Fiorotti Peixoto

CPF.: 894.489.796-49

Especialista credenciado no Portal de INOVAÇÃO – Ministério da Ciência Tecnologia e Inovação

### **Nome da Instituição Executora**

Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP

### **Instituições Parceiras:**

Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq e Fundação Renova.

#### **1.1. Resumo do relatório técnico**

A proposta desenvolvida nesse projeto de pesquisas, desenvolvimento tecnológico e extensão inovadora alcançou resultados abrangentes de interesse para academia, para a sociedade e para o setor produtivo. Os resultados obtidos mostraram viabilidade para o desenvolvimento de produtos e de materiais para construção civil a partir da inserção dos rejeitos de mineração na cadeia produtiva da construção civil; agregados, pigmentos, materiais cimentantes suplementares de base tecnológica, ladrilhos hidráulicos, argamassas, concretos e pisos para pavimentação, quais compõem, ou poderiam compor a cadeia produtiva da indústria da construção civil e construção pesada. A aplicação de conceitos básicos para operações unitárias, associados a técnicas avançadas de caracterização e ciência de materiais foram capazes de suportar estratégias capazes de produzir matrizes cimentícias moldadas in-loco e pré-moldadas de forma inovadora e com comportamento semelhante às aquelas matrizes produzidas com agregados naturais ou convencionais. Os achados deste trabalho viabilizaram técnica, econômica e ambientalmente a inserção de rejeitos de barragem de minério de ferro na cadeia produtiva da indústria da construção civil e construção pesada, contribuindo para a sustentabilidade da mineração e das atividades de construção. Para além dos produtos obtidos, os resultados desse projeto criam ambiente favorável para a apropriação das estratégias desenvolvidas como ferramentas fundamentais para ações de resgate social e econômico das comunidades situadas ao longo da Bacia do Rio Doce, severamente atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão - SAMARCO, em Mariana, MG.

## 2. Relatório Técnico - OBJETO

### 2.1. Formação de recursos humanos, propriedade intelectual, protótipos e publicações

O desenvolvimento de tecnologias sociais e processos inovadores que permitem a inserção dos rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão em seu estado natural (bruto) em matrizes de cimento Portland, requer cuidadoso trabalho experimental e de pesquisa. Essa alternativa, baseada em abordagens avançadas de pesquisas bibliométricas e caracterização em ciência e tecnologia de materiais aplicadas à engenharia civil, apresentam um potencial significativo para ultrapassar as barreiras existentes entre as universidades e laboratórios com a sociedade e as linhas de produção.

Ações para inovação no que diz respeito à extensão dos resultados obtidos desta pesquisa consistem em alternativas altamente promissoras para geração e transferência de tecnologias capazes de servir de suporte para instalação de arranjos produtivos que possam mitigar os impactos ambientais causados pela mineração. Além disso, há também o potencial de promoção do desenvolvimento e inclusão social das comunidades afetadas, transformando tecnologias convencionais consolidadas da construção civil em tecnologias sociais inovadoras.

Como produtos deste projeto, fundamentados nas premissas desta proposta de pesquisa, foram obtidas orientações de iniciação científica e mestrado, bem como o registro de publicação de artigos em congressos e em periódicos indexados. Estes resultados apresentam-se a seguir, na Tabela 1.

Tabela 1 - Orientações, registros de propriedade intelectual e produção técnica e científica

PRODUTO	TÍTULO	RELEVÂNCIA E IMPACTO DO PRODUTO
Relatório IC PIVI - 2S/UFOP	Luana Drago Kuster.  Avaliação do uso de mídias sociais na divulgação de conteúdo científico. 2021. Iniciação Científica Edital 07/2020/Programa Institucional de Voluntários de Iniciação Científica UFOP - 2º semestre (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto	Proposta para avaliação de do uso de mídias sociais para divulgação do uso de RBMF como matéria prima da construção civil.
Relatório IC PIVIC- 2S/UFOP	Paula Anunciação Matias Campos  Investigação das Propriedades Térmicas de Matrizes Cimentícias Não-Convencionais. 2º semestre (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto.	Desempenho de matrizes obtidas a partir da substituição de agregados convencionais/naturais por RBMF – aplicação em construção civil

Relatório IC PIBICCPRM/ CNPQ/UFOP	Ludimila Gomes Antunes  Aplicação de rejeito de barragem de minério de ferro em concretos destinados a produção de blocos segmentais. Universidade Federal de Ouro Preto.	Produção de elementos pré-moldados a partir da substituição de agregados convencionais/naturais por RMBF
Relatório IC PIBITI/CNPQ	Gabriela Zuqui Souza.  Indicadores de desempenho na quantificação do impacto de mídias sociais para divulgação científica. 2021. Iniciação Científica Edital 06/2021/Programa Institucional de Bolsas de Iniciação em Desenvolvimento tecnológico e inovação (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto	Proposta para avaliação de do uso de mídias sociais para divulgação do uso de RMBF como matéria prima da construção civil.
Relatório IC PIBIC/FAPEMIG	Rafael Pinheiro Curto Bueno  Viabilidade técnica de rejeito de barragem de minério de ferro proveniente do rompimento da barragem de Fundão como matéria prima para a produção de compósitos da construção civil. 2022.. Iniciação científica Edital 10/2022 – PIBIC/FAPEMIG 2022-23. (Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto	Proposta para avaliação de inserção de RMBF do rompimento da barragem de Fundão na cadeia produtiva da construção civil
Dissertação Mestrado	Marcela Aguiar Nogueira  Tecnologias Sociais inovadoras para recuperação de áreas degradadas pela mineração: barragem de Fundão em Mariana/MG. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ouro Preto  Disponível em: <a href="http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/13468">http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/13468</a>	Proposta de mitigação dos impactos do rompimento da barragem de Fundão através da transferência de tecnologia da construção civil para comunidades afetadas.
Trabalhos completos em anais de Congressos	COSTA, L. C. B. ; SANTOS, D. H. ; ARAUJO, S. R. ; BATISTA, J. O. S. ; PEIXOTO, R. A. F. . CONCRETOS ECO-EFICIENTES DE REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO. In: 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis - CLBMCS, 2022, Salvador. Anais do 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis - CLBMCS, 2022. v. 1.	Divulgação dos resultados obtidos em veículos de circulação nacional, referência no país e no exterior

Trabalhos completos em anais de Congressos	ANDRADE, H. D. ; SILVA, Mateus Justino ; SANTANA FILHO, J. N. ; COSTA, L. C. B. ; PEIXOTO, R. A. F. . ALTERNATIVAS PARA PAVIMENTAÇÃO COM RESÍDUOS DA SIDERURGIA E MINERAÇÃO. In: 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis - CLBMCS, 2022, Salvador. Anais do 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis - CLBMCS, 2022. v. 1.	Divulgação dos resultados obtidos em veículos de circulação nacional, referência no país e no exterior
Trabalhos completos em anais de Congressos	ANTUNES, LUDIMILA GOMES ; SANTOS, BRUNA LOURES DE CASTRO ; FIGUEIREDO, A. S. ; CARVALHO, J. M. F. ; FONTES, W. C. ; PEIXOTO, R. A. F. . REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO EM CONCRETOS DESTINADOS À PRODUÇÃO DE BLOCOS SEGMENTAIS. In: 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis - CLBMCS, 2022, Salvador. Anais do 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis - CLBMCS, 2022. v. 1.	Divulgação dos resultados obtidos em veículos de circulação nacional, referência no país e no exterior
Trabalhos completos em anais de Congressos	PEIXOTO, R. A. F.; GALVÃO, J., L., B. ; COSTA, L. C. B. ; MENDES, J. C. ; CARVALHO, V. R. ; SOUZA, G. Z. . TINTAS IMOBILIÁRIAS DE REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO. In: 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis - CLBMCS, 2022, Salvador. Anais do 4º Congresso Luso-Brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis - CLBMCS, 2022. v. 1.	Divulgação dos resultados obtidos em veículos de circulação nacional, referência no país e no exterior
Trabalhos completos em anais de Congressos	NOGUEIRA, M. A.; FONTES, W. C. ; COSTA, L. C. B. ; PAIVA, B. O. ; MOURA, S. A. L. ; PEIXOTO, R. A. F. . REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO COMO ALTERNATIVA PARA REVESTIMENTOS INTERNOS - Prelo. In: 4º Congresso Luso-brasileiro de Materiais de Construção Sustentáveis, 2022, Salvador.	Divulgação dos resultados obtidos em veículos de circulação nacional, referência no país e no exterior
Artigos em periódicos e/ou revistas especializadas	DEFAVERI, K.C.S; ELOI, F. P. F. ; CARVALHO, J. M. F. ; PEIXOTO, R. A. F. ; SILVA, G. J. B. . Development of alkali-activated mortar from iron ore tailings. REVISTA IBRACON DE ESTRUTURAS E MATERIAIS, v. 16, p. e16506, 2023.	Divulgação dos resultados obtidos em periódicos de circulação internacional relevantes para área.
Artigos em periódicos e/ou	FRANCO DE CARVALHO, J. M.; DEFAVERI, K. ; MENDES, J. C. ; SCHMIDT, W. ; KUEHNE, H. ;	Divulgação dos resultados obtidos em periódicos de

revistas especializadas	PEIXOTO, R. A. F. . Influence of particle size-designed recycled mineral admixtures on the properties of cement-based composites. CONSTRUCTION AND BUILDING MATERIALS <b>JCR</b> , v. 272, p. 121640, 2021. DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121640">https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121640</a>	circulação internacional relevantes para área.
Artigos em periódicos e/ou revistas especializadas	FONTES, WANNA C. ; FRANCO DE CARVALHO, JOSÉ M. ; DEFAVERI, KEOMA ; BRIGOLINI, GUILHERME J. ; SEGADÃES, ANA M. ; PEIXOTO, RICARDO A. F. . Hydraulic Tiles Produced with Fine Aggregates and Pigments Reclaimed from Iron Ore Tailings. Journal of Sustainable Metallurgy, p. 1, 2021. DOI: <a href="https://doi.org/10.1007/s40831-020-00329-9">https://doi.org/10.1007/s40831-020-00329-9</a>	Divulgação dos resultados obtidos em periódicos de circulação internacional relevantes para área.
Artigos em periódicos e/ou revistas especializadas	ARAUJO, S. R. ; RODRIGUES, L. F. ; MENDES, J. C. ; PEIXOTO, R. A. F. . Reverse logistics system applied to the reuse of iron ore tailings. WASTE MANAGEMENT & RESEARCH, p. 0734242X2094447-9, 2020. DOI: <a href="https://doi.org/10.1177/0734242X20944478">https://doi.org/10.1177/0734242X20944478</a>	Divulgação dos resultados obtidos em periódicos de circulação internacional relevantes para área.
Artigos em periódicos e/ou revistas especializadas	FRANCO DE CARVALHO, J. M.; SCHMIDT, W.; KUEHNE, H. ; PEIXOTO, R. A. F. . Influence of high-charge and low-charge PCE-based superplasticizers on Portland cement pastes containing particle-size designed recycled mineral admixtures. JOURNAL OF BUILDING ENGINEERING, v. 32, p. 1015115, 2020. DOI: <a href="https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101515">https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101515</a>	Divulgação dos resultados obtidos em periódicos de circulação internacional relevantes para área.
Artigos em periódicos e/ou revistas especializadas	NOGUEIRA, M. A.; COSTA, L. C.; RESENDE, D. M.; CARVALHO, V. R.; MENDES, J. C.; PEIXOTO, R. A. F. Mitigating the socioeconomic impacts of the mining industry through Social Technologies: guidelines for technology transfer between universities and communities. CORPORATE SOCIAL RESPONSIBILITY AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. 2023. DOI: 10.1002/csr.2593	Divulgação dos resultados obtidos em periódicos de circulação internacional relevantes para área.
Protótipos	Tintas imobiliárias à base de água – PVA <small>Figura 1</small>	Transferência de tecnologia Cobrimento das argamassas externas e internas para unidades HIS e demais

		aplicações em construção civil
Protótipos	Pré-fabricados – blocos para alvenaria <small>Figura 2</small>	Transferência de tecnologia Alvenarias para unidades HIS e demais aplicações em construção civil.
Protótipos	Pré-fabricados – blocos para pavimentação <small>Figura 3</small>	Transferência de tecnologia Revestimentos sustentáveis para vias de acesso em cidades, rodovias e pátios com solicitações severas.
Protótipos	Ladrilhos hidráulicos e cerâmica queimada <small>Figura 4</small> (brown ceramics)	Transferência de tecnologia Revestimento de alvenarias e fachadas para unidades HIS e demais aplicações em construção civil.
Protótipos	Argamassas mistas de cimento Portland com RBMF em substituição a agregados naturais <small>Figura 5</small>	Transferência de tecnologia Assentamento e revestimento de alvenarias para unidades HIS e demais aplicações em construção civil.
Protótipos	Concreto de cimento Portland com RBMF em substituição a agregados naturais <small>Figura 6</small>	Transferência de tecnologia Estruturas de concreto armado e não armado para unidades HIS e demais aplicações em construção civil.

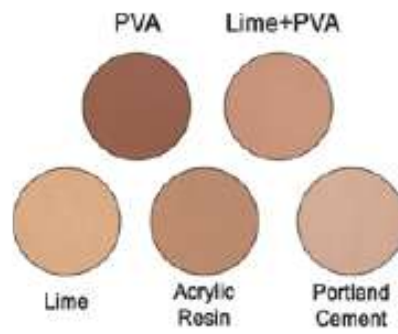
Notas:

1. relatórios IC e artigos em congresso indicados em Anexo ao final do relatório, dissertação disponíveis em <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/13468> , artigos em periódicos indexados indicados pelo DOI, protótipos indicados pelas figuras a seguir.
2. \*\* modelo utilizado para dosagens dos elementos pré-fabricados com RBMF.

As figuras 1 a 6 indicadas a seguir, ilustram os protótipos obtidos. Todo o detalhamento relativo a cada um dos protótipos encontra-se nos artigos e relatórios que compõem esse Relatório Final.



1a. Composições



1b. Paleta de cores



1c. Aplicações



1d. Exposição à intempéries

Figura 1- Tintas sustentáveis



2a. Blocos de alvenaria de RBMF e convencional



2b. Controle Tecnológico

Figura 2 – Blocos de alvenaria

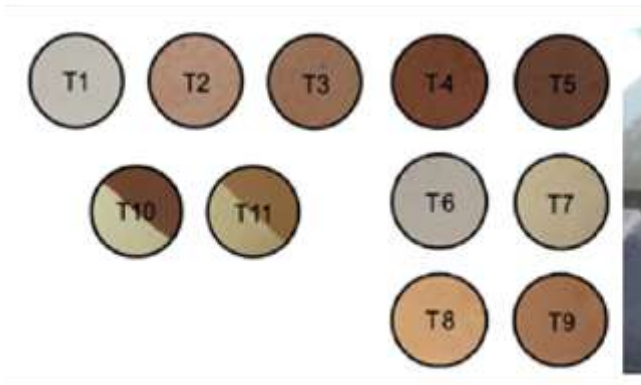


3a. RBMF e convencional

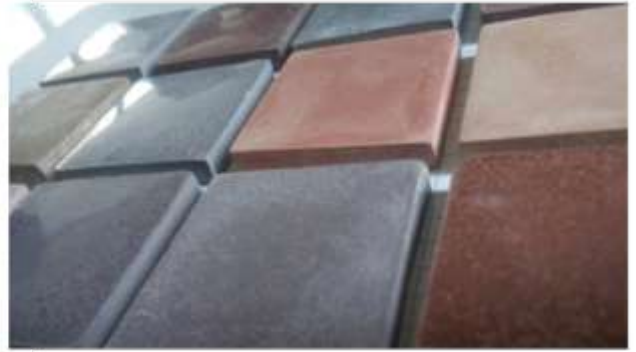


3b. Linha de produção

Figura 3 – Blocos de pavimentação revestimento rodoviário

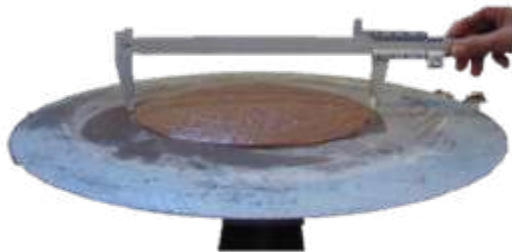


4a. Paleta de cores



4b. Ladrilhos hidráulicos

Figura 4 – Ladrilhos hidráulicos



5a. Controle tecnológico (espalhamento)

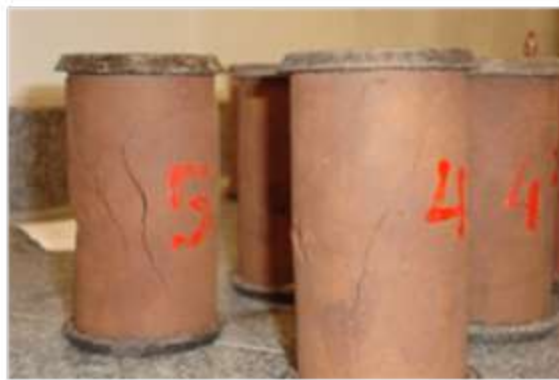


5b. Controle tecnológico (corpos de prova)

Figura 5 – Argamassa mista de cimento Portland



6a. Moldagem



6b. Controle tecnológico (corpos de prova)

Figura 6 - Concreto de cimento Portland

### 3. METAS ALCANÇADAS

- Transformar rejeitos sólidos de mineração em insumos para construção civil.
  - agregados e insumos para produção de artefatos e materiais de construção
- Produzir elementos para construção civil de base tecnológica e custo reduzido a partir da substituição dos agregados naturais por agregados reciclados de RBMF, em conformidade com prescrições normativas estabelecidas.
  - embora análise econômica não tenha sido realizada com profundidade, a redução do consumo de agregados naturais a partir da substituição de até 80% por RBMF sugerem redução dos custos de produção para matrizes obtidas.
- Transferir tecnologia para fortalecimento dos arranjos produtivos locais (APLs) das comunidades atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão – SAMARCO, como ferramenta de resgate e mitigação aos danos causados pelo acidente.
  - Capacitação teórica e prática para o desenvolvimento de produtos da construção civil a partir da reutilização de resíduos da mineração
- Reduzir os impactos ambientais relacionados ao rompimento da barragem, bem como às atividades de mineração e extração de recursos naturais para construção civil.
  - proposição de alternativas ambiental e tecnologicamente adequadas para construção civil e construção pesada, a partir do consumo de RBMF, levando desenvolvimento às localidades e redução do consumo de agregados naturais extraídos pela cadeia produtiva da construção civil.
- Contribuir com processos de sustentabilidade para indústria da construção civil e mineração a partir da reciclagem de resíduos.
  - consumo significativo de rejeitos gerados pela mineração nas atividades de construção civil e construção pesada.
- Consolidar expertise relacionada a produção sustentável de agregados reciclados a partir de RBMF.
  - publicações indexadas
- Contribuir para formação de recursos humanos especializados.
  - orientações em nível de graduação (IC) e pós graduação (mestrado)

#### **4. RESULTADOS**

Tendo em vista a viabilidade para produção de artefatos para a construção civil a partir da reinserção dos RBMF na cadeia produtiva da construção civil, a pesquisa desenvolvida mapeou 27 cidades atingidas pelo rompimento da barragem de Fundão (APQ-05395-18, Edital FAPEMIG 2018) para identificar as necessidades das comunidades; selecionar as cidades com potencial para implementação das tecnologias propostas; identificar os multiplicadores; identificar a vocação das comunidades; propor estratégias de desenvolvimento socioeconômico dessas comunidades a partir de APLs utilizando o rejeito proveniente do rompimento da barragem de Fundão, em Mariana-MG.

A relação das cidades que foram objeto de estudo dessa pesquisa encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2 - Cidades selecionadas como objeto de estudo

Cidades			
1	Mariana	15	Coronel Fabriciano
2	Barra Longa	16	Ipatinga
3	Rio Doce	17	Ipaba
4	Ponte Nova	18	Belo Oriente
5	Santa Cruz do Escalvado	19	Naque
6	Rio Casca	20	Periquito
7	São Pedro dos Ferros	21	Alpercata
8	Sem-Peixe	22	Governador Valadares
9	Raul Soares	23	Tumiritinga
10	São José do Goiabal	24	Galiléia
11	São Domingos do Prata	25	Conselheiro Pena
12	Nova Era	26	Resplendor
13	Antônio Dias	27	Aimorés
14	Timóteo		

#### 4.1. Marco 1 (Caracterização das comunidades)

A Figura 7 indica a localização dos 27 municípios selecionados para o presente estudo, bem como as suas respectivas distâncias em relação aos principais corpos hídricos atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão. Além disso, são incluídas as principais vias rodoviárias que dão acesso a essas cidades. No mapa, é destacada a cidade de Bento Rodrigues, situada no distrito de Mariana, onde ocorreu o rompimento, assim como os rios Gualaxo do Norte, Rio do Carmo e Rio Doce, que são as principais vias fluviais afetadas.

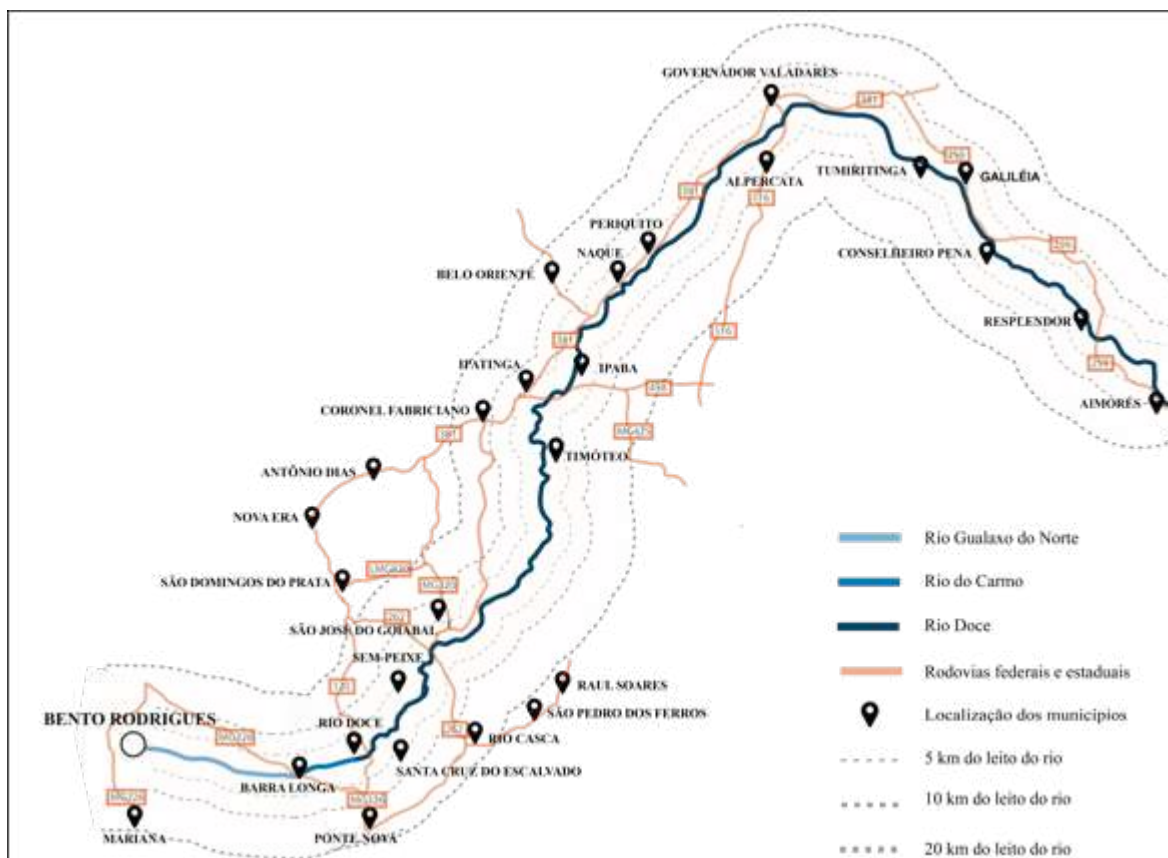


Figura 7 - Mapa de localização dos municípios

O mapeamento das comunidades mostra que cinco cidades estão localizadas a uma distância superior a 20 km dos corpos d'água afetados. São elas: São Pedro do Ferros, Raul Soares, São Domingos do Prata, Nova Era e Antônio Dias. Essas cidades estão localizadas a montante do Rio Doce, o que sugere que possam ter sofrido impactos ambientais menores em comparação com os municípios situados mais próximos dos corpos hídricos, como Barra Longa, Rio Doce, Ipaba, Naque, Periquito, Tumiritinga, Galiléia, Resplendor e Aimorés.

#### **4.1.1. Coleta e análise dos indicadores sociais e econômicos dos municípios atingidos**

Os indicadores sociais e econômicos selecionados para mapear os municípios foram retirados do censo IBGE e classificados em uma escala de cores (cinza ao laranja) representando respectivamente, os piores (laranja) e melhores (cinza) índices comparativos entre as cidades. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Indicadores sociais e econômicos

Cidade	INDICADORES SOCIAIS			INDICADORES ECONÔMICOS			
	População (2010)	IP (2003)	IDH (2010)	PIB per capita (2017)	SMM (2017)	PO (2017)	IG (2003)
Naque	6.996	55,51	0,675	9.900,73	1,5	10,10%	0,36
Tumiritinga	6.732	53,19	0,626	8.063,40	1,2	7,80%	0,43
Periquito	6.810	49,59	0,651	10.284,60	1,3	10,20%	0,36
Ipaba	18.607	48,96	0,665	8.034,81	1,5	10,20%	0,36
Belo Oriente	26.700	45,65	0,686	78.971,91	3	27,70%	0,38
São José do Goiabal	5.420	43,48	0,666	9.600,04	1,7	10,80%	0,42
Antônio Dias	9.318	43,33	0,645	19.653,00	2	18,80%	0,41
Conselheiro Pena	22.921	40,65	0,662	12.922,61	2,1	9,50%	0,44
São Pedro dos Ferros	7.781	40,02	0,659	13.455,43	1,7	13,40%	0,4
Rio Casca	13.564	39,36	0,650	12.972,65	1,6	14,10%	0,41
Galiléi	6.817	38,09	0,654	11.801,87	1,5	10,30%	0,38
Ponte Nova	59.742	37,82	0,717	27.330,95	1,8	29,10%	0,39
Sem-Peixe	2.633	36,02	0,654	10.777,22	1,7	11,10%	0,37
Resplendor	17.397	35,66	0,670	12.525,82	1,7	17,00%	0,43
Raul Soares	23.726	35,58	0,655	12.001,83	1,8	11,60%	0,43
Aimorés	25.167	35,13	0,684	16.877,78	1,8	13,00%	0,43
São Domingos do Prata	17.359	34,38	0,690	13.557,94	1,6	13,20%	0,47
Barra Longa	5.131	33,99	0,624	12.381,61	1,7	8,90%	0,43
Nova Era	17.578	33,15	0,709	17.869,48	2,1	26,40%	0,41
Mariana	60.724	32,06	0,742	48.407,28	2,3	26,10%	0,42
Santa Cruz do Escalvado	4.758	31,31	0,625	9.823,43	1,9	9,40%	0,39
Alpercata	7.424	29,64	0,646	10.483,45	1,5	11,60%	0,34
Rio Doce	2.610	26,39	0,664	13.716,88	2	12,70%	0,36
Governador Valadares	279.885	24,64	0,727	20.957,24	2	22,60%	0,41
Coronel Fabriciano	109.855	21,17	0,755	14.942,92	1,8	16,80%	0,38
Timóteo	89.842	21,07	0,770	32.349,07	2,5	20,80%	0,4
Ipatinga	263.410	15,81	0,771	36.993,39	2,4	27,10%	0,38
<b>Minas Gerais</b>		<b>20,90</b>	<b>0,731</b>	<b>29.223,22</b>	<b>1,3</b>	<b>65,10%</b>	<b>0,48</b>

IDH - Índice de desenvolvimento Humano      SMM - Salário médio mensal  
IP - Incidência de pobreza                      PO - População ocupada  
PIB - Produto Interno Bruto                    IG - Índice de gini

MELHORES ÍNDICES      PIORES ÍNDICES

De modo geral, os indicadores evidenciaram uma boa correlação com a incidência de pobreza (IP), onde os índices mais favoráveis estão localizados na parte inferior da Figura, enquanto os indicadores menos favoráveis estão na parte superior. A partir da análise detalhada de todos os indicadores apresentados na Tabela 3, a Figura 8 exibe um mapa destacando os municípios classificados com os melhores e piores indicadores.

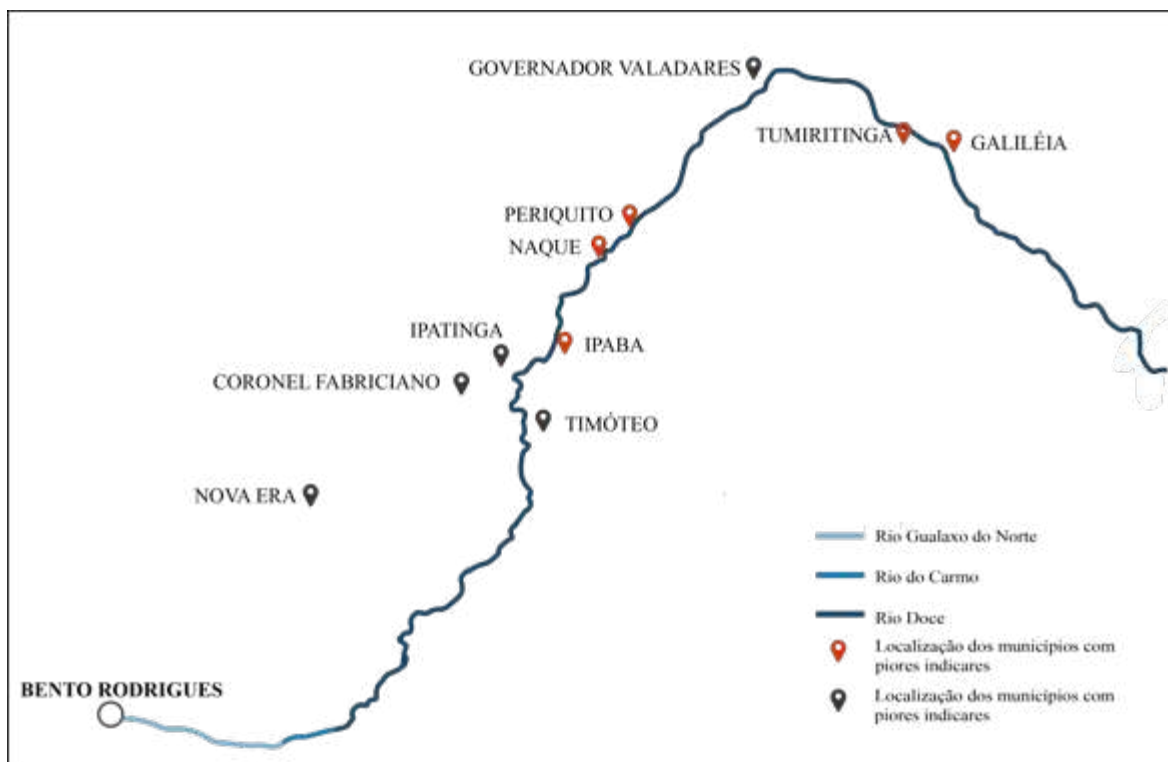


Figura 8 - Municípios com os piores e melhores índices em geral

A análise do conjunto dos indicadores permite direcionar propostas para as ações mitigatórias mais emergenciais para aquelas cidades situadas em região de provável influência da mancha criada pelos rejeitos lançados nos corpos hídricos, pelo rompimento da barragem.

Os indicadores são apresentados em diferentes escalas pelo censo do IBGE, que compromete uma análise comparativa equivalente. Para melhor análise comparativa dos dados, realizou-se uma normalização paramétrica dos indicadores, onde 10 representa o resultado ideal (melhor) para o indicador e 0 representa a pior situação para o indicador. A Figura 9, apresenta os resultados da normalização para todos os indicadores analisados.

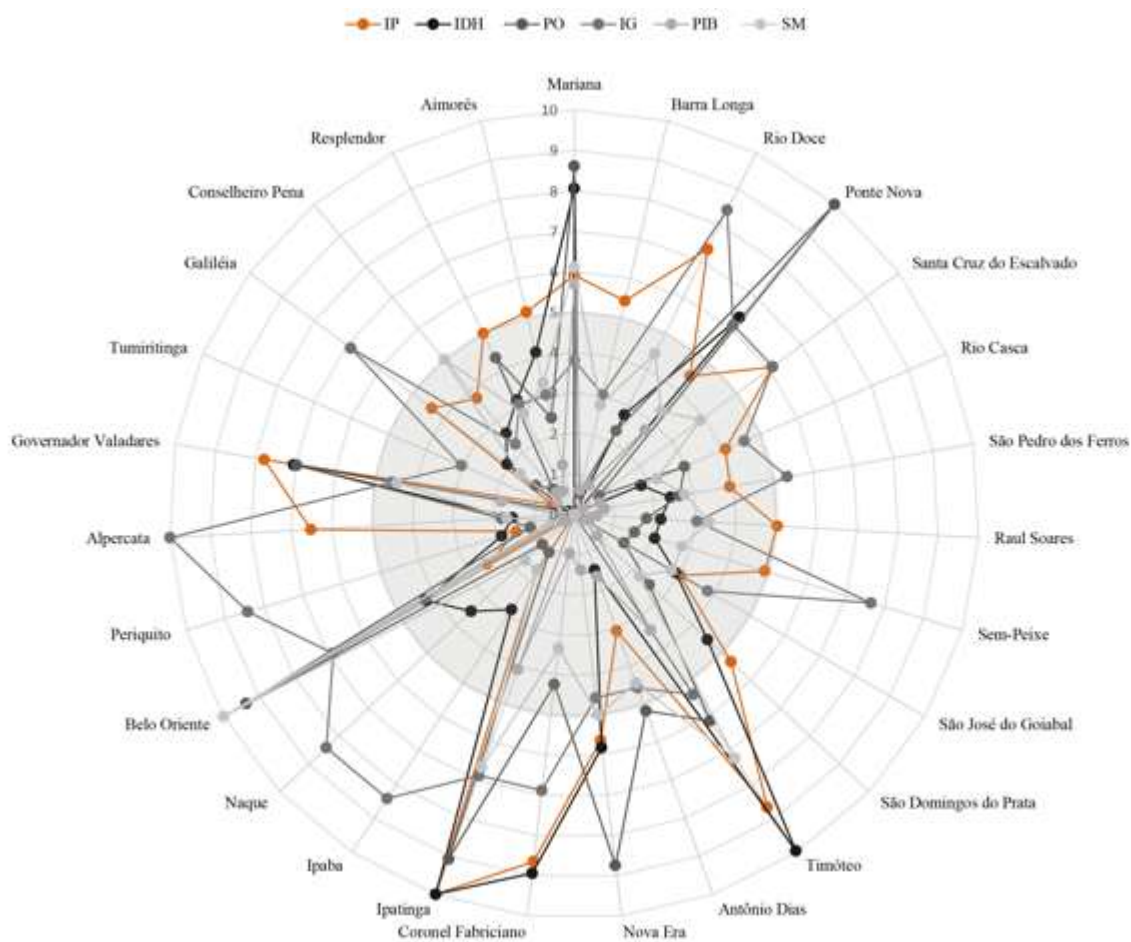


Figura 9 – Indicadores normalizados

De forma geral, os indicadores normalizados de todas as cidades estão concentrados abaixo de 5, o que indica que a maioria dos municípios analisados enfrenta desafios sociais e econômicos. A análise dos indicadores IDHn, POn, PIBn e SMMn revela que 70% das cidades possuem índices inferiores a 5. No entanto, é importante ressaltar que a análise paramétrica é afetada pela grande disparidade causada pelo alto valor do PIB de Belo Oriente, o que resulta em valores muito baixos de PIB para o grupo de cidades analisadas. Além disso, a análise dos indicadores demonstra que, mesmo possuindo um alto PIB, Belo Oriente apresenta uma elevada concentração de renda, evidenciada pelos indicadores IPn e IGn.

A Figura 10, apresenta a sobreposição dos indicadores de IPn, IDHn e POn, para todos 27 municípios.

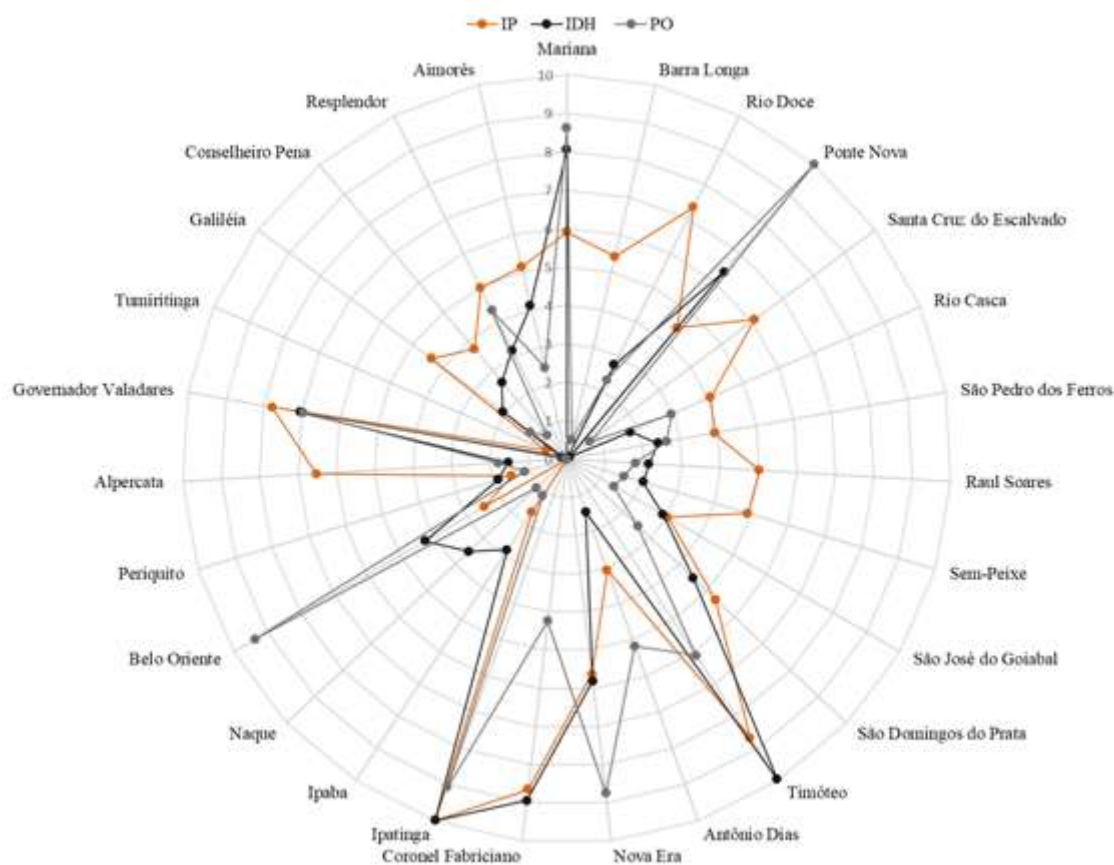


Figura 10 - Incidência de pobreza, índice de desenvolvimento humano e população ocupada

Barra Longa e Santa Cruz do Escalvado, embora apresentem um baixo IPn, possuem os piores IDHn. É possível presumir que esse fato esteja relacionado ao baixo percentual de PON nessas cidades. Por outro lado, cidades como Ipatinga e Timóteo, que possuem os maiores IDHn, destacam-se por terem um percentual mais elevado de PON.

A Figura 11 apresenta a sobreposição dos indicadores de  $IP_n$ ,  $IDH_n$ ,  $IG_n$  e  $SMM_n$  para todas as cidades.

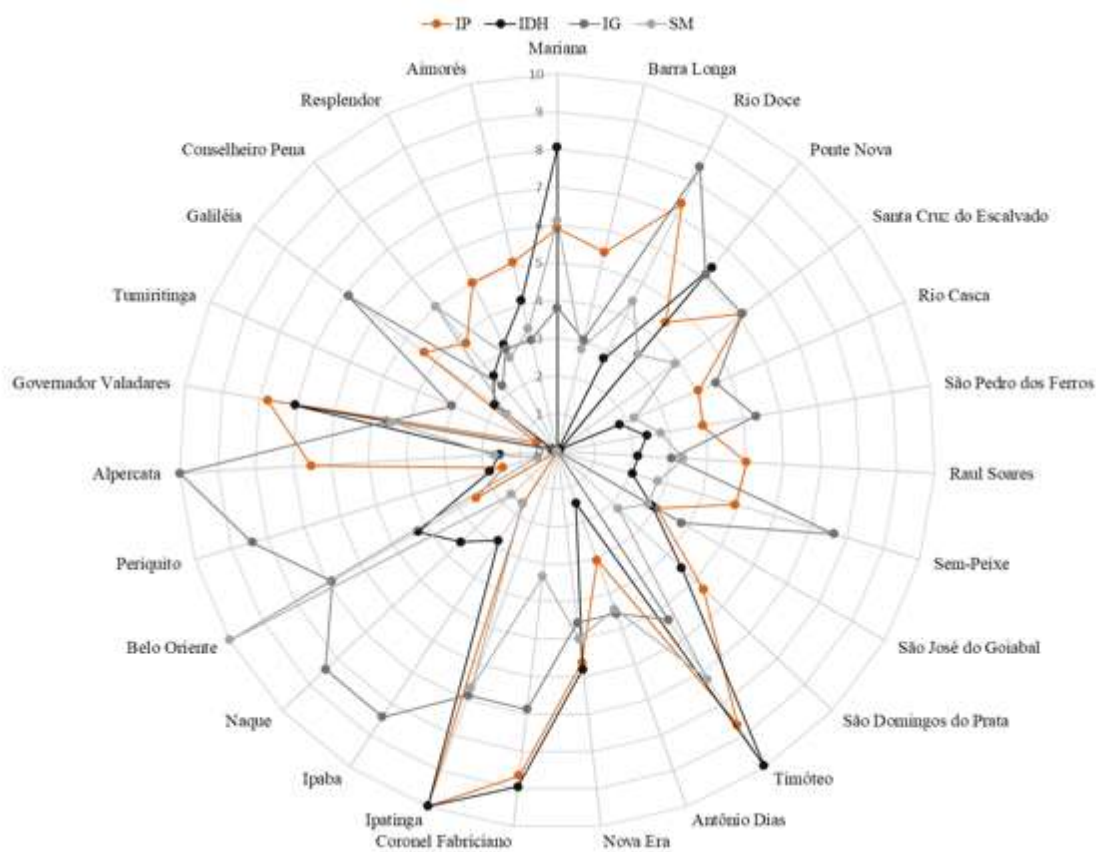


Figura 11 - Incidência de pobreza, índice de desenvolvimento humano e índice de gini e salário médio mensal

Embora o município de Naque possua a maior IPn entre as cidades, seus índices relacionados ao IDHn e IGn são favoráveis, indicando uma menor concentração de renda em um grupo social específico (baixa desigualdade). No entanto, é perceptível que a maior parte da população ainda se encontra em situação de vulnerabilidade social. Por outro lado, São Domingos do Prata apresenta uma IPn relativamente baixa, mas um IDHn elevado, apesar do maior grau de desigualdade. A análise dos indicadores revela que a baixa valorização salarial na cidade pode ter influência no alto valor do IGn.

Na direção do melhor entendimento do panorama das cidades, foram agrupados na Figura 12 as atividades econômicas mais importantes, relacionadas à produtos da construção civil, coletados do Relatório do Grupo Força-Tarefa (2016).

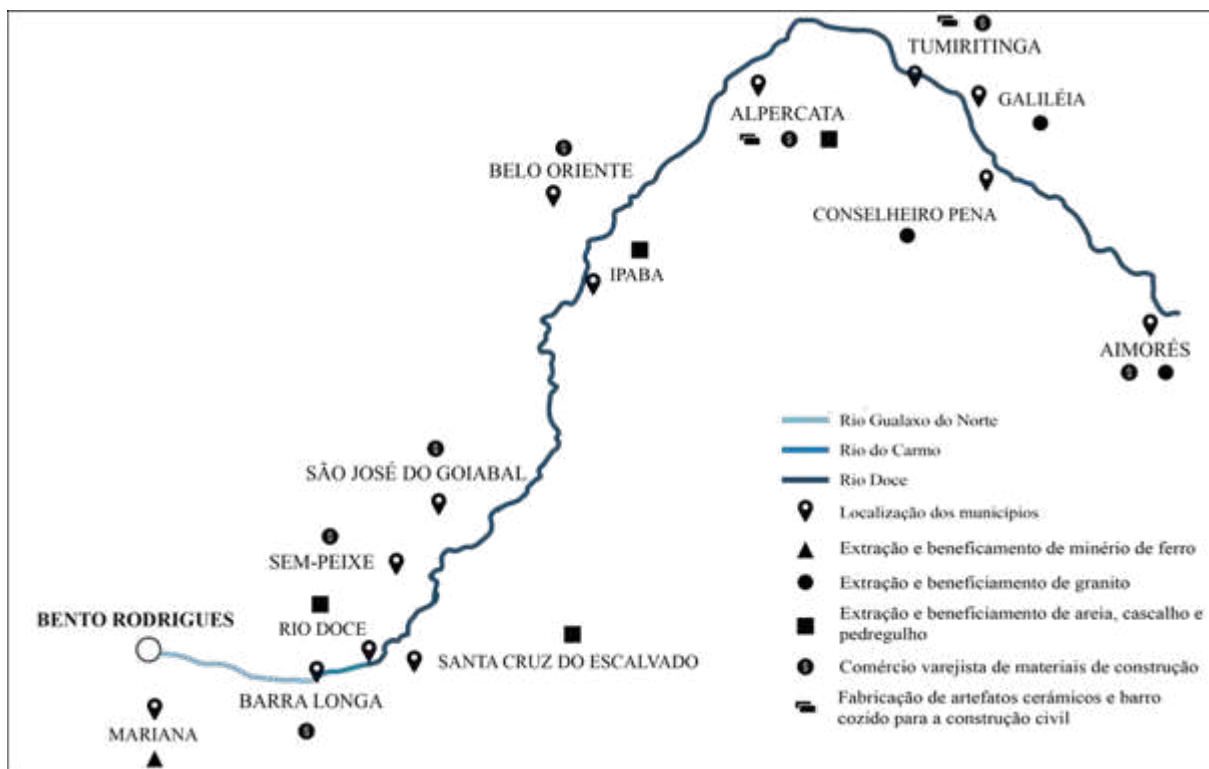


Figura 12 - Atividades econômicas potenciais para aplicação de APLs com produtos da construção civil

Embora alguns desses municípios não tenham sido selecionados para a implementação de Tecnologias Sociais (TS), eles têm o potencial de se tornarem importantes consumidores dos produtos gerados por essas tecnologias. Um exemplo disso é Tumiritinga, que concentra 43% da arrecadação das atividades econômicas na produção de artefatos cerâmicos e 15% no comércio varejista de materiais de construção. Esses índices refletem a vocação desse município para a *produção de artefatos manuais destinados à construção civil*.

#### **4.1.2. Avaliação de impactos socioeconômicos e ambientais e das necessidades das comunidades**

Para realizar uma avaliação dos impactos socioeconômicos e ambientais, bem como das atividades econômicas das comunidades afetadas, foi feita uma análise do relatório elaborado pelo Grupo Força-Tarefa (2016), criado pelo Governo de Minas Gerais para investigar os efeitos e desdobramentos do rompimento das Barragens de Fundão e Santarém. No entanto, devido à pandemia global do Coronavírus, não foi possível estabelecer no primeiro momento um contato presencial com as comunidades afetadas para uma avaliação direta dos impactos e necessidades atuais. Dado o valor da comunicação com os grupos de estudo e considerando as restrições severas e necessárias impostas pela pandemia de COVID-19, optou-se por uma abordagem de avaliação por meio da aplicação de questionários nas Secretarias de Desenvolvimento e Assistência Social dos 27 municípios. As respostas obtidas encontram-se no Anexo I.

Das 27 cidades estudadas, 6 não responderam ao questionário; São Domingos do Prata, São Pedro dos Ferros, Ipaba, Alpercata, Tumiritinga e Aimorés. Acredita-se que a dificuldade de contato presencial com os órgãos de desenvolvimento assistência social e com entidades representativas das comunidades, ou líderes comunitários para realização dos questionários influenciou negativamente a coleta de dados. A Figura 13 apresenta um compilado das respostas dos municípios procurados com relação aos principais impactos econômicos, sociais e ambientais advindos do rompimento da barragem de Fundão.



Figura 13 - Impactos econômicos sociais e ambientais nas 27 cidades

Os municípios incluídos na estratégia metodológica foram afetados de maneiras diversas em decorrência do rompimento da barragem de Fundão. No entanto, algumas respostas obtidas nos

questionários chamaram a atenção para os problemas contínuos que afetam as comunidades, mesmo após 5 anos do desastre. Para obter uma compreensão mais abrangente dos impactos sofridos pelas cidades e dos efeitos ainda presentes, foram selecionados parâmetros considerados relevantes para analisar a situação dessas localidades. Não foi possível avaliar essa situação para as cidades que não responderam ao questionário (São Domingos do Prata, São Pedro dos Ferros, Ipaba, Alpercata, Tumiritinga e Aimorés). A Figura 14 ilustra os parâmetros utilizados e a localização dos municípios em relação aos cursos d'água.



Figura 14 - Municípios que apresentaram problemas relacionados aos parâmetros selecionados

As secretarias das cidades de Conselheiro Pena e Raul Soares relataram não terem recebido assistência dos agentes do acidente. Outras sete informaram que a assistência recebida foi insuficiente para reparar os danos sofridos: Barra Longa, Rio Doce, Santa Cruz do Escalvado, Naque Periquito, Governador Valadares e Galiléia. Em sua maioria, os municípios responderam que as ações de assistência se concentraram no auxílio financeiro para parte dos afetados, principalmente aos pescadores, e alguma ação para construção de poços artesianos para prover água às comunidades que dependiam do Rio Doce para abastecimento.

Foram observados relatos de problemas relacionados à saúde mental em 6 municípios, nos quais foi observado um aumento nos casos de depressão e distúrbios psicológicos, decorrentes do impacto econômico, emocional e da relação das comunidades com o Rio Doce. No que diz respeito aos prejuízos econômicos privados, destaca-se o setor industrial nas cidades de Belo Oriente, Galiléia, Ipatinga e Resplendor, que totalizaram um valor de R\$208.290.000,00 (Grupo Força-Tarefa, 2016). Em relação aos danos humanos, todas as cidades afetadas estão próximas de Bento

Rodrigues, com exceção de Galiléia, que, apesar de distante do local do acidente, registrou 100 pessoas enfermas (Grupo Força-Tarefa, 2016). Além dos prejuízos econômicos, muitas cidades relataram problemas de segurança alimentar devido à falta de emprego resultante do desastre. Entre as cidades estudadas, 4 mencionaram que uma das maiores necessidades é o fornecimento de cestas básicas, devido ao aumento na demanda por alimentos, sendo elas: Naque, Periquito, Galiléia e Resplendor.

A falta de água, como relatado pelas secretarias contatadas, acarretou na paralisação de muitas atividades econômicas importantes para a região, como a pecuária (dessedentação dos animais), agricultura, lavouras, extração de areia, pesca e turismo (Grupo Força-Tarefa, 2016). Muitas cidades ainda enfrentam dificuldades com a escassez de água para atividades agrícolas e pecuárias, e os problemas relacionados à qualidade da água persistem em grande parte dos municípios. Além disso, o rompimento da barragem de Fundão também afetou outras atividades. As cidades de Rio Doce, Naque, Periquito, Belo Oriente e Resplendor relataram que os moradores costumavam utilizar o Rio Doce para atividades culturais e de lazer. O município de Rio Doce destacou os prejuízos históricos decorrentes do desastre, devido à importância cultural e histórica que o Rio Doce representa para a cidade. Em Belo Oriente, as manifestações culturais, como batismos no rio e festividades, tiveram que ser interrompidas, impactando a cultura local.

Dentre os 27 municípios analisados, 22 possuem pescadores afetados pelo desastre, registrados no Sistema Informatizado do Registro Geral da Atividade Pesqueira (SisRGP). Além disso, 10 municípios enfrentaram problemas com o abastecimento de água e 15 tiveram suas atividades de pesca, agricultura e pecuária interrompidas. Muitas cidades destacam a necessidade de assistência aos pescadores, que atualmente dependem do auxílio financeiro fornecido pela Samarco. No contexto das estratégias propostas por este estudo, é importante direcionar uma atenção especial a esses atores sociais, uma vez que a capacitação e o desenvolvimento de novas habilidades podem se tornar um meio potencial para fortalecer economicamente e socialmente esse grupo.

As cidades de Barra Longa, Rio Doce, Rio Casca, Sem-Peixe, Naque, Periquito, Conselheiro Pena, Galiléia e Resplendor destacam-se pela necessidade de geração de renda e emprego e todas demonstraram interesse em cursos de capacitação para qualificação profissional, com exceção de Barra Longa, que não tem interesse em ações externas de mitigação dos danos, já que há conflito de interesse em relação a Fundação Renova.

#### **4.1.3. Seleção dos municípios com potencial para implementação de TS**

A partir da análise conjunta dos indicadores sociais do IBGE e as respostas do formulário, as cidades com maior demanda de ações de mitigação dos impactos foram Barra Longa, Rio Doce, Naque, Periquito, Galiléia e Resplendor. Dessa forma, esses municípios são considerados como localidades potenciais para implementação de TS. Como não há interesse da cidade de Barra Longa em ações externas de mitigação, considera-se Conselheiro Pena como a sexta cidade potencial para seleção, já que este município também apresentou maiores necessidades de ações de mitigação dos danos e relatou que não houve ações de assistência por parte dos agentes do acidente.

Conselheiro Pena e Resplendor se destacam como os municípios que possuem o maior número de pescadores registrados no SisRGP em relação às demais cidades, com 92 e 101 trabalhadores cadastrados, respectivamente (Grupo Força-Tarefa, 2016). Nesse contexto, é fundamental desenvolver estratégias para revitalizar a ocupação social desses pescadores. A mobilização desse grupo pode se tornar um marco na implementação das ações de TS. A transferência de tecnologias da construção civil apresenta um potencial significativo para auxiliar essas comunidades na construção de novas habilidades e ferramentas que contribuam para a formação de uma nova territorialidade.

Conselheiro Pena e Galiléia são municípios que dependem significativamente de atividades econômicas relacionadas à produção florestal e extração e beneficiamento de granito. Sua localização estratégica, a menos de 85 km de Governador Valadares e próxima a Tumiritinga (produção de artefatos cerâmicos), sugere um potencial interesse em estabelecer relações comerciais com os Arranjos Produtivos Locais (APLs) voltados para a produção de artefatos de construção civil utilizando resíduos da região. Os artefatos pré-moldados, como blocos de pavimentação (pavers), representam oportunidades tanto para os APLs quanto para potenciais consumidores. Resplendor enfrenta desafios pós-rompimento em diversas áreas, incluindo a extração de areia e a pesca como fonte de subsistência. Uma estratégia viável seria substituir a areia natural pela areia de Resíduos de Baixa Massa Fundida (RBMF) na produção de artefatos cerâmicos, com destaque para os blocos de alvenaria, promovendo a sustentabilidade. Por outro lado, Naque e Periquito, municípios com maior necessidade de mitigação dos impactos, poderiam optar por produzir artefatos de alto valor agregado e baixa complexidade tecnológica, como os ladrilhos hidráulicos. Em Rio Doce, a paralisação do empreendimento UHE Risoleta Neves trouxe enormes prejuízos socioeconômicos. Uma alternativa seria a produção de pigmentos para tintas naturais, um material de alto valor agregado e fácil de trabalhar, oferecendo uma fonte de renda para os trabalhadores desempregados.

Para confirmação das vocações e aderências dos municípios selecionados, foi realizada a primeira expedição à campo, detalhada no item 4.1.5.

#### **4.1.4. Diretrizes para implementação de TS a partir de APLs da construção civil**

Com a definição dos municípios foi realizado uma revisão de literatura para fundamentação teórica de diretrizes para implementação de TS. Essas diretrizes elaboradas objetivavam auxiliar as universidades, em conjunto com as comunidades afetadas pela mineração, na construção de estratégias de desenvolvimento e inclusão social, onde incluem-se: estratégia de abordagem, identificação e formação dos multiplicadores, reuniões presenciais, produção e caracterização dos protótipos, transferência das tecnologias, implementação dos APLs e estabelecimento de ações para assessoria técnica. As Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 ilustram as etapas supracitadas em forma de um guia didático ilustrativo com o passo a passo para implantação dos APLs.

## 1º PASSO Contato com a comunidade



Figura 15 – Primeiro passo para a formação de APLs da construção civil

## 2º PASSO Convocação dos multiplicadores



Figura 16 - Segundo passo para a formação de APLs da construção civil

### 3º PASSO Reuniões presenciais

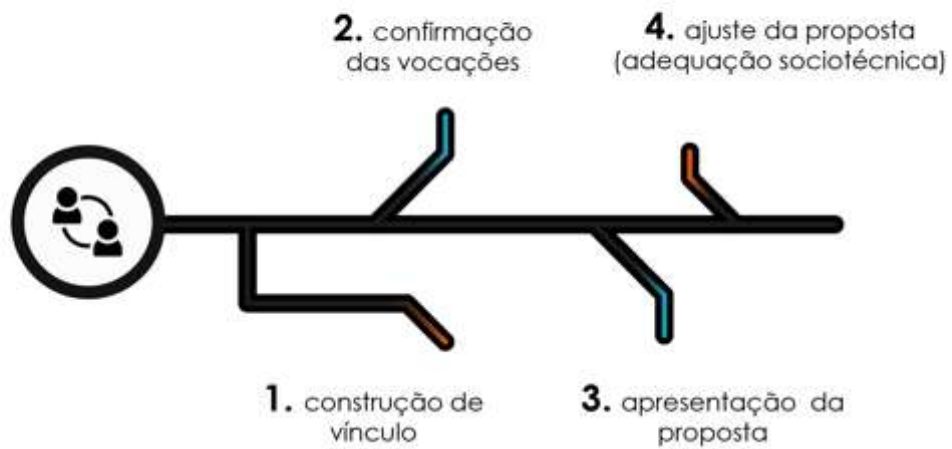


Figura 17 – Terceiro passo para a formação de APLs da construção civil

### 4º PASSO Produção e caracterização dos protótipos

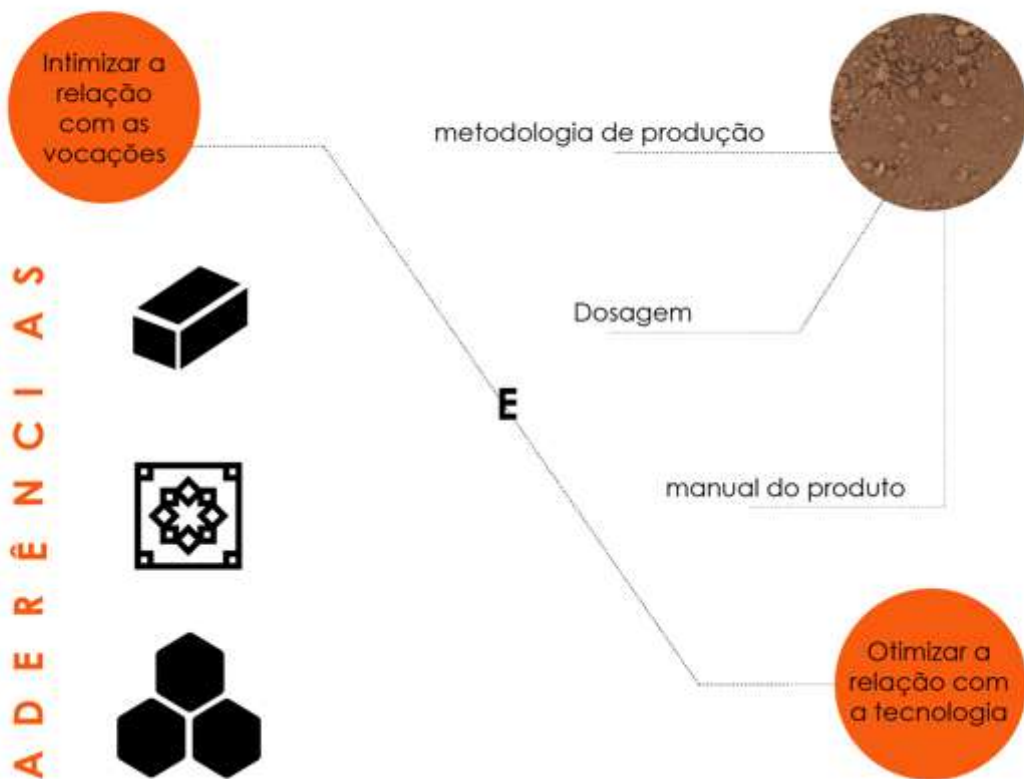


Figura 18 - Quarto passo para a formação de APLs da construção civil

## 5º PASSO Capacitação



Figura 19 – Quinto passo para a formação de APLs da construção civil

## 6º PASSO Implementação de uma rede de APLs e assessoria técnica

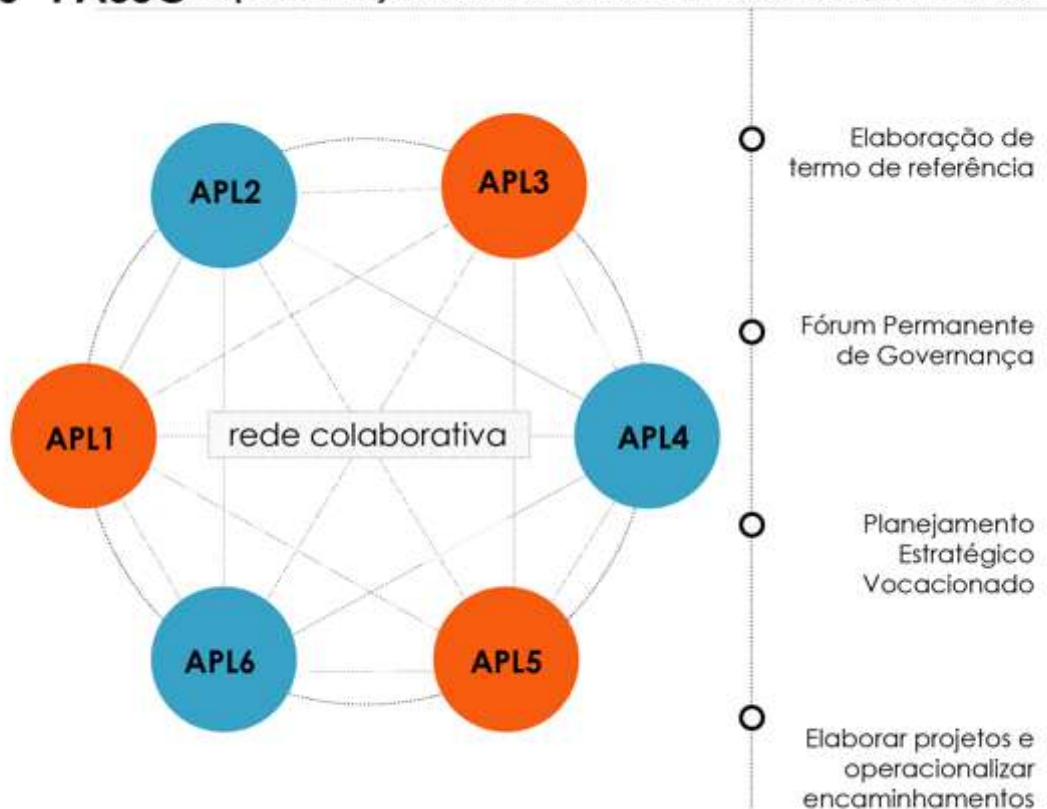


Figura 20 – Sexto passo para a formação de APLs da construção civil

#### 4.1.5. 1ª Expedição Rio Doce (coleta de amostra e confirmação das vocações)

Com base no guia com o passo a passo para implementação das TS para mitigação dos impactos da mineração, foi realizada a primeira expedição à campo do projeto, com início no dia 04 de outubro de 2021. O objetivo da 1ª Expedição Rio Doce foi coletar amostras de rejeitos provenientes do rompimento da barragem de Fundão (depositados nas Áreas de Depósito de Material Excedente - ADMEs - de Barra Longa e Rio Doce), além de confirmar as aderências e difundir as tecnologias sociais para os 6 municípios selecionados; Rio Doce, Naque, Periquito, Galiléia, Conselheiro Pena e Resplendor.

O ponto de coleta para as amostras da ADME do município de Barra Longa/MG foi determinado pela Fundação Renova em virtude da viabilidade de acesso. Foi realizada uma limpeza do material de superfície (camada de proteção de argila de 20cm de profundidade) e coletadas amostras de aproximadamente 20kg à uma profundidade de 60 a 90 cm. Também foram coletadas amostras nos municípios selecionados pelo estudo à uma profundidade de 0 a 15cm, no leito do rio e a 80cm do leito do rio, nas localidades em que existia uma margem ampla para coleta (Naque e Conselheiro Pena). O material coletado foi acondicionado em recipiente plástico, hermeticamente fechado e transportado ao LMC<sup>2</sup> – UFOP/Reciclos-CNPq para realização da caracterização física, química e mineralógica.



Figura 21 – Coleta de amostra na ADME de Barra Longa

Nesta expedição à campo também foram realizadas reuniões presenciais com as secretarias de assistência social dos seis municípios selecionados para apresentação do projeto, confirmação das vocações previamente identificadas pelo estudo de impacto e identificação de possíveis aderências com as tecnologias propostas. As Figuras 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32 apresentam imagens que registram momentos da expedição, englobando as coletas de amostras e reuniões realizadas.



Figura 22 – Reunião com a secretaria de assistência social de Rio Doce



Figura 23 - Reunião com a secretaria de assistência social de Naque



Figura 24 - Coleta de amostras na margem do Rio Doce na cidade de Naque



Figura 25 - Reunião com a secretaria de assistência social de Periquito



Figura 26 - Coleta de amostras na margem do Rio Doce na cidade de Periquito



Figura 27 - Reunião com a secretaria de assistência social de Galiléia



Figura 28 - Coleta de amostras na margem do Rio Doce na cidade de Galiléia



Figura 29 - Reunião com a secretaria de assistência social de Conselho Pena



Figura 30 - Coleta de amostras na margem do Rio Doce na cidade de Conselheiro Pena



Figura 31 - Coleta de amostras na margem do Rio Doce na cidade de Resplendor



Figura 32 - Reunião com a secretaria de assistência social de Resplendor

#### 4.2. Marco 2 (Caracterização das amostras)

As amostras coletadas foram transportadas dos sítios de coleta ao longo da bacia do Rio Doce; acondicionadas, etiquetadas, secas em estufa por 72h à 100°C, destorroadas, quarteadas e armazenadas para caracterização química, física e mineralógica. A Tabela 4 apresenta o local de coleta e a nomenclatura adotada para cada amostra.

Tabela 4 – Local de coleta e nomenclatura adotada para as amostras

Local de coleta	Amostras
ADME de Barra Longa	SBL1
ADME de Barra Longa	SBL2
ADME de Rio Doce	SRD1
ADME de Rio Doce	SRD3
Naque - leito do Rio	NAQ0
Naque - 80 cm do leito do Rio	NAQ80
Periquito - leito do Rio	PER
Galiléia - leito do Rio	GAL
Conselheiro Pena - leito do rio	CP0
Conselheiro Pena - 80 cm do leito do Rio	CP80
Resplendor - leito do Rio	RES

A caracterização química foi conduzida utilizando-se a técnica de fluorescência de raios-X (PANalytical Epsilon3x), em amostras representativas, devidamente cominuídas em almofariz manual (passante na peneira de 75 µm). O resultado da caracterização química é apresentado nas Tabelas 5 (ADME) e 6 (amostras do leito do rio Doce).

Tabela 5 - Fluorescência de raio-X das amostras de sedimento das ADMEs

Óxidos %	SBL1	SBL2	SRD1	SRD2
<b>SiO<sub>2</sub></b>	64,52	62,76	62,79	60,67
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	19,85	21,43	17,58	18,034
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	12,53	14,15	14,41	16,557
<b>CaO</b>	0,219	0,205	,0,52	0,254
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,39	0,439	0,62	0,614
<b>K<sub>2</sub>O</b>	0,579	0,626	0,76	0,629
<b>CO<sub>2</sub></b>	1,7	0	1,96	2,33
<b>Outros</b>	0,21	0,39	1,36	0,92

Tabela 6 - Fluorescência de raio-X das amostras do Rio Doce

Óxidos %	NAQ0	NAQ80	PER	GAL	CP0	CP80	RES
<b>SiO<sub>2</sub></b>	65,07	62,94	61,41	64,91	65,98	65,33	63,36
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	11,30	13,86	10,08	5,57	14,26	18,31	8,34
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	16,67	15,79	23,64	22,27	16,43	13,56	21,58
<b>CaO</b>	0,34	0,35	0,17	0,61	0,41	0,32	0,52
<b>TiO<sub>2</sub></b>	0,54	0,54	0,84	0,71	0,48	0,57	0,67
<b>K<sub>2</sub>O</b>	1,01	0,98	0,88	2,12	0,36	0,62	1,78
<b>CO<sub>2</sub></b>	1,75	2,02	2,28	1,45	0,85	0,54	2,04
<b>Outros</b>	3,33	3,52	0,70	2,36	1,22	0,76	1,70

Observa-se que a presença de óxidos de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) ocorre em teores reduzidos tanto para os sedimentos das ADMEs quanto para as amostras do Rio, quando comparado aos RBMF do Quadrilátero Ferrífero (QFMG) reportado na literatura. Wolf (2009) analisou o percentual desse composto em 7 amostras de RBMF de barragens do QFMG e encontrou valores entre 43,4% a 62,9%. As amostras da ADME apresentaram maiores teores de óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) se comparadas as amostras do Rio Doce. Óxidos de ferro calcinados são amplamente utilizados como pigmentos para tintas, plásticos e cerâmica, devido à sua alta estabilidade sob condições ambientais normais (Fazenda, 2005). As amostras do Rio Doce apresentaram uma composição química predominante

similar à de argilas, comumente encontrada no leito dos rios, com maiores teores de óxido de silício e alumínio (cerca de 70-80% dos óxidos totais).

Todas as amostras apresentaram alto percentual de óxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ). Esse elemento caracteriza-se pelo alto grau de dureza e quando encontrado na forma de quartzo ( $\text{SiO}_2$ ), pode apresentar auxiliar no aumento do desempenho mecânico de matrizes cimentícias (Wang, et al., 2020).

As amostras coletadas na ADME foram segregadas e caracterizadas para avaliar sua possível utilização como agregados para produção de matrizes cimentícias (concreto/argamassa) tintas, ladrilhos hidráulicos, blocos para pavimentos, ou outros, de acordo com a NBR NM 248 (2003). Foram realizados ensaios de massa específica e unitária de todas as amostras segundo a NBR NM 52 (2009) e a NBR NM 45 (2006) e os resultados são observados na Tabela 7.

Tabela 7 – Massa específica e unitária das amostras

<b>Amostras</b>	<b>Massa Específica (<math>\text{g/cm}^3</math>)</b>	<b>Massa Unitária (<math>\text{kg/dm}^3</math>)</b>
SBL1	2,75	1,22
SBL2	2,87	1,31
SRD1	2,71	0,97
SRD3	2,74	1,11
NAQ0	2,68	1,11
NAQ80	2,64	1,25
PER	2,6	0,95
GAL	2,42	0,88
CP0	2,65	1,33
CP80	2,65	1,33
RES	2,45	0,93

Observa-se que os valores de massa específica e unitária das amostras das ADMEs foram superiores aos encontrados nas amostras do Rio, fator que está relacionado ao maior teor de ferro nas amostras de sedimento. Galvão et al. (2018) encontrou valores de  $3,37\text{g/cm}^3$  e  $1,62\text{g/cm}^3$  respectivamente, para massa específica e unitária para amostra de uma barragem localizada no Quadrilátero Ferrífero. Fontes et al. (2018) encontrou valores de  $3,37$  e  $1,62\text{ g/cm}^3$  respectivamente, para massa específica e unitária para amostras de RBMF que continham 49% de óxido de ferro.

A determinação da distribuição granulométrica foi realizada em peneirador mecânico e nas partículas passantes na peneira de 1,2 mm, foi realizada utilizando a técnica de granulometria por difração de laser (Bettersize 2000). A Figura 33 e 34 apresenta o resultado de granulometria das amostras.

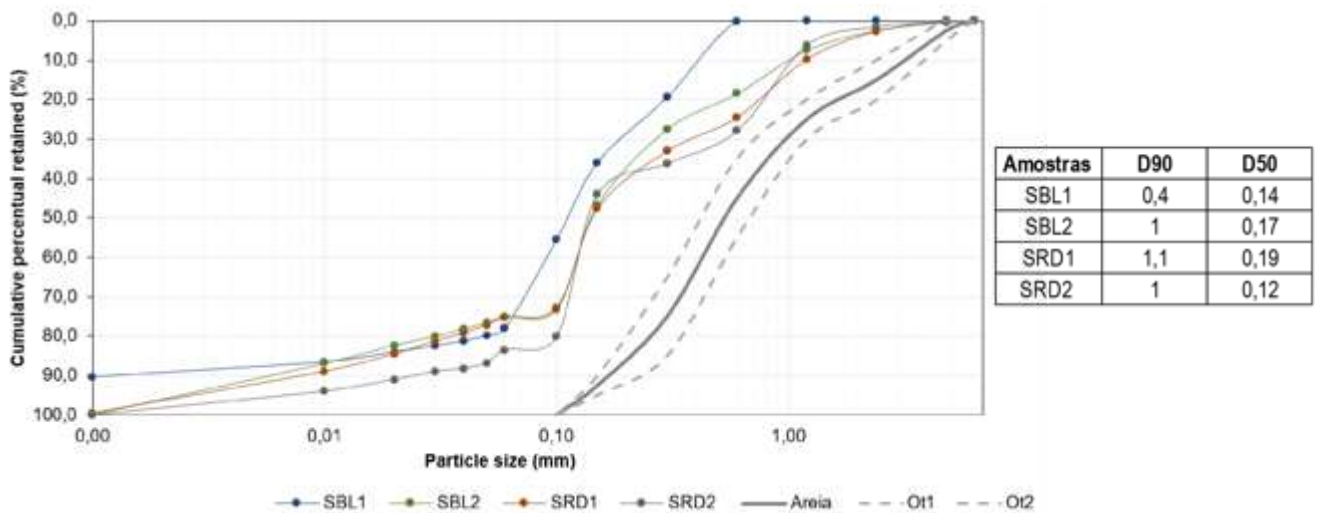


Figura 33 – Granulometria das amostras das ADMEs

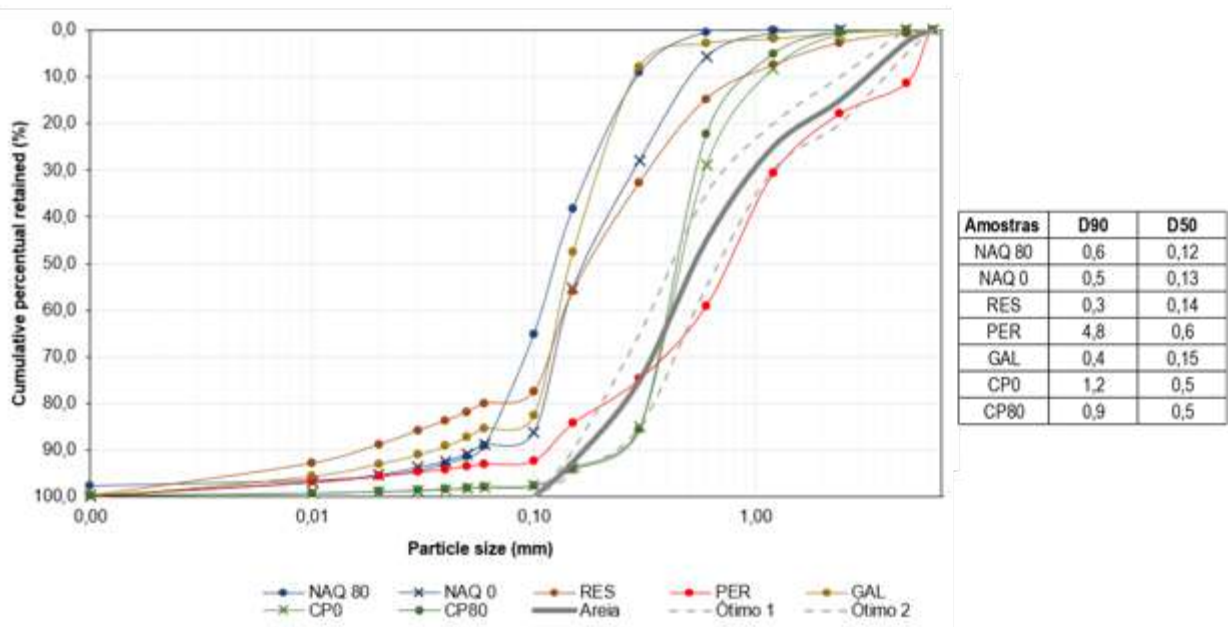


Figura 34 - Granulometria das amostras do Rio Doce

Nota-se que as amostras das ADMEs são bem graduadas e contínuas, fator que contribui para a melhor densidade de empacotamento das partículas (Junior, 2018). Por consequência, o empacotamento das partículas tem influência positiva na coesão da matriz cimentícia no estado fresco (Haddad, 2016). No estado endurecido, esta característica proporciona melhor refinamento de poros, melhorando o desempenho mecânico e protegendo o compósito de ataque de agentes deletérios (Segadães & Devezas, 2003). Carvalho et al. (2019) observaram esse comportamento na utilização do RBMF como agregado miúdo e material cimentício suplementar para a produção de concreto, alcançando uma resistência à compressão de mais de 90MPa aos 28 dias. Nessa perspectiva, as

características observadas para os sedimentos permitem sua utilização como materiais finos, com função filler dadas composição química (predominantemente sílica) e mineralógica (quartzo).

Observa-se grande variação granulométrica para as amostras do Rio Doce, esse fato relaciona-se à posição das coletas em relação à nascente do rio e heterogeneidade das partículas neste tipo de ambiente, que é alterada pelas condições de tempo, clima e vegetação. No geral, as amostras são particularmente finas, característica das argilas encontradas no leito dos rios e indicadas pela grande quantidade de óxido de alumínio ( $Al_2O_3$ ) da Fluorescência de raios-X.

A caracterização mineralógica foi realizada para a amostra SBL1. Foi realizada a técnica de Difração de Raios-X (equipamento Bruker D2 Phaser), em amostras representativas e devidamente cominuídas em almofariz manual (passante na peneira de 45  $\mu m$ ). O resultado da caracterização mineralógica é apresentado na Figura 35.

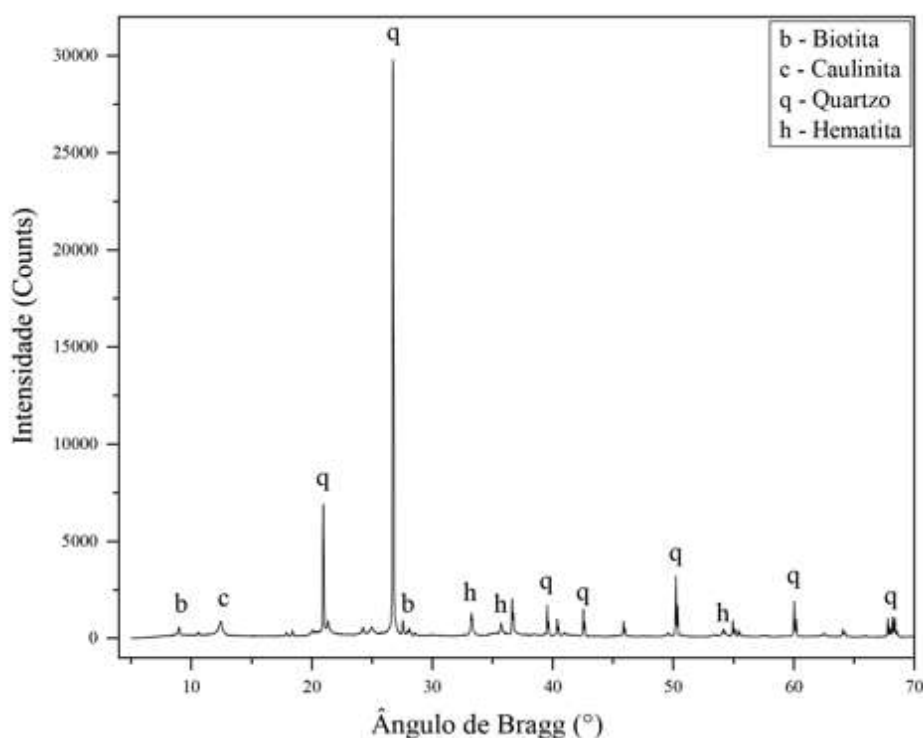


Figura 35 – Composição mineralógica do SBL1 por difração de raios-X

Os principais minerais encontrados na amostra SBL1 foram quartzo ( $SiO_2$ ), hematita ( $Fe_2O_3$ ), caulinita [ $Al_2Si_2O_5(OH)_4$ ] e biotita ( $KMg_3AlSi_3O_{10}OHF$ ). Os resultados encontrados concordam com a literatura para os minerais presentes nos RBMF em relação à sua ocorrência.

Foram procedidas às análises ambientais nas amostras de sedimento das ADMEs e nas amostras do Rio Doce para verificação de seu potencial contaminante – NBR 10004/04 (lixiviação

- NBR10005/04, solubilização – NBR 10006/04). O resultado obtido é que as amostras não representam potencial contaminante, sendo classificados como Classe II A (não perigoso, não inerte).

### **4.3. Marco 3 (Dosagens, produção dos traços em escala reduzida, cursos capacitação e formação para comunidade)**

#### **4.3.1. Dosagens**

Para a construção dos modelos foram produzidas dosagens com agregados naturais e de sedimentos provenientes do rompimento da barragem (sedimentos das ADMEs). Foi realizado um estudo de dosagem de forma a identificar os componentes de mistura que resultarão nos melhores desempenhos para os seguintes materiais de construção: concreto (microconcreto e concreto estrutural), argamassa (de assentamento e revestimento), pré-moldado (paver e blocos estrutural), ladrilho hidráulico e tinta. Esses materiais de construção foram selecionados por serem amplamente utilizados e devido a existência de trabalhos de referências reconhecidas que utilizaram o RBMF como agregado, material cimentício suplementar (MSC) e pigmento nessas matrizes cimentícias.

Verificou-se em relação às proporções das composições plásticas e dos elementos pré-moldados que a incorporação de resíduos granulares não afetava nem a proporção nem o desempenho dessas composições. No entanto, a introdução de partículas finas e superfinas resultou em modificações nos fatores água/cimento ideais, tornando-se necessário utilizar substâncias adsorventes.

As dosagens para os pré-moldados foram obtidas a partir das teorias que fundamentam a construção Curvas de Andreassen modificadas, com base nos estudos realizados por Carvalho (2019). Os resultados obtidos para dosagem de concretos plásticos e pré-moldados estão a disposição para implementação de procedimentos racionais e padronizados para APLs em [www.reciclos.ufop.br/publicacoes](http://www.reciclos.ufop.br/publicacoes).

Os resultados obtidos para comportamento elasto-mecânico, estabilidade, e durabilidade dos produtos obtidos das dosagens, segundo condições de aplicação em serviço encontram-se descritos nos artigos indicados à Tabela 1.

#### **4.3.2. Produção de traços em escala reduzida**

A produção dos traços em escala piloto foi baseada nos trabalhos de referência desenvolvidos pelo Grupo Reciclos-CNPq conforme artigos apresentados na Tabela 1 e Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6. Além dos artigos de base, foram realizadas visitas técnicas a fábrica de pré-moldados Bloco Sigma (Figura 36 e 37) para reconhecimento dos processos para a produção dos produtos das tecnologias sociais e realização de ajustes nos protótipos produzidos.



Figura 36 – Visita técnica à Bloco Sigma



Figura 37 – Controle tecnológico na fábrica da Bloco Sigma

#### **4.3.3. Cursos capacitação e formação para comunidade**

Após a 1ª Expedição Rio Doce nas comunidades com potencial para implementação de Tecnologia Social foram realizadas novas tentativas de comunicação com prefeituras e secretarias dos municípios a fim de avançar com relação a proposta de implementação das tecnologias, atividades realizadas em paralelo ao processo de dosagem e caracterização das amostras/protótipos. Porém, das 6 cidades selecionadas, apenas 3 prefeituras participaram dessas reuniões (Naque, Conselheiro Pena e Resplendor) e não demonstraram interesse em dar continuidade ao projeto.

Considerando que, mesmo quando decisões externas são cruciais para promover Tecnologias Sociais visando a reconstrução socioeconômica de uma comunidade específica, a capacitação e a transferência de tecnologia dependem fortemente do engajamento e da mobilização dos atores envolvidos no projeto, que incluem a universidade, a comunidade e os órgãos públicos de fomento. Essa colaboração representa um interesse comum que viabiliza as iniciativas de intervenção

social e transformação da realidade. Portanto, não foi viável prosseguir com a proposta de transferência de tecnologia nas comunidades selecionadas.

No entanto, 4 atingidos pelo rompimento da barragem de Fundão, da cidade de Antônio Pereira, buscaram o Grupo Reciclos com interesse em ações que mitigassem os impactos sofridos pelo desastre, por meio de cursos de capacitação voltados para o aproveitamento de rejeitos de barragens de minério de ferro como matéria prima na construção civil. Assim, diversas reuniões foram realizadas entre o Grupo Reciclos e os atingidos interessados, visando estabelecer vínculos, compreender as necessidades e demandas dos afetados, para então selecionar a tecnologia mais adequada ao grupo.

A capacitação destes atores sociais incluiu estratégias de formação prática e teórica (Figura 38 e 39), com cursos de formação presencial realizados no laboratório de materiais de construção civil (LMC<sup>2</sup> – UFOP/Reciclos-CNPq). O objetivo dessas capacitações foi a transferências de conhecimentos para o grupo de interessados relativamente a técnicas possíveis e aderentes à sua comunidade em conjunto com adoção de manuais descritivos e de boas práticas (Figura 40). Os manuais e formações consideraram todo o processo de produção com recurso linguístico adaptado aos participantes.



38a. Aulas teóricas



38b. Apresentação dos produtos já desenvolvidos pelo grupo

Figura 38 – Curso teórico



Figura 39 – Curso prático (produção de matrizes cimentícias)

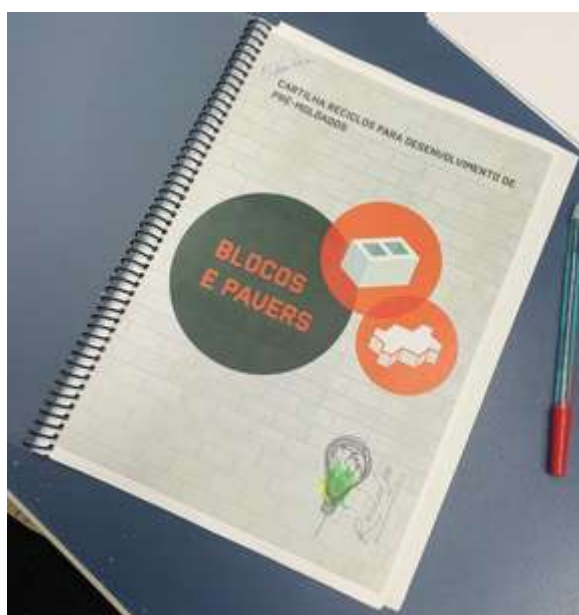


Figura 40 – Manual didático desenvolvido para o grupo

#### **4.4. Marco 4 (Produção em verdadeira grandeza e curso de capacitação e formação de para comunidade)**

##### **4.4.1. Produção em verdadeira grandeza**

Foram produzidos elementos pré-moldados com substituição de agregados naturais por sedimentos da ADME em laboratório, adaptando-se métodos e processos das plantas industriais. A

produção em verdadeira grandeza de elementos moldados in-loco e pré-moldados foi possível a partir das parcerias desenvolvidas entre o Grupo de Pesquisas Reciclos CNPq, a Bloco Sigma - planta industrial de produção de blocos para alvenaria e UNISTEIN - planta industrial de produção de blocos para pavimentação, que cederam espaço em sua linha de produção sem custos aos projetos, colaborando com o desenvolvimento dos resultados obtidos.

Foram também produzidas outras composições em que o RBMF foi utilizado como adição, pigmento e material cimentante suplementar. Os produtos obtidos dessa etapa foram representados pelas Figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6. A Figura 41, apresentam alguns desses materiais aplicados em uma edificação real na Vila Reciclos, projeto do grupo Reciclos em execução no campus Morro do Cruzeiro da Universidade Federal de Ouro Preto.



Figura 41 – Compósitos em verdadeira grandeza aplicados em uma edificação real (Vila Reciclos)

#### 4.4.2. 2ª Expedição Rio Doce (coleta de material fotográfico)

Foi realizada uma segunda expedição à campo (2ª Expedição Rio Doce) com início no dia 07 de maio de 2023 com o objetivo de coletar registros fotográficos e audiovisual ao longo da bacia do

Rio Doce (Figura 42, 43 e 44), nas ADMEs e nos municípios selecionados para implementação das TS (Barra Longa, Rio Doce, Naque, Periquito, Galiléia, Conselheiro Pena e Resplendor). Esses registros tiveram de ser realizados em uma 2ª expedição, por conta do tempo demandado pela interveniente para aquisição dos equipamentos. Os registros fotográficos tiveram ainda por finalidade coletar informações relacionadas ao rompimento, no tempo.



Figura 42 – Imagem de drone do Rio Doce



Figura 43 - Imagem da Hidrelétrica Risoleta Neves em Rio Doce



Figura 44 – Encontro do rio Santo Antônio com o Rio Doce (ao fundo)

#### **4.5. Marco 5 (Transferência de tecnologia e implementação de APLs)**

Evidenciada pelos casos de sucesso na literatura a promoção social, econômica e ambiental geradas por meio da transferência de tecnologias sociais (TS) é também função direta do interesse do grupo social que se irá apropriar destas tecnologias e fundamentalmente do apoio de órgãos públicos que atuam como propulsores dessas tecnologias e iniciativas. No entanto, esta não foi a realidade encontrada nas comunidades visitadas virtual e presencialmente, por mais de uma vez, ao longo da bacia do Rio Doce após 5 anos do desastre.

As secretarias de Assistência Social demonstraram total desinteresse em ações diretas ou mesmo indiretas ou mesmo propostas para o desenvolvimento de tecnologias sociais. As propostas de desenvolvimento e implementação apresentadas pelo projeto fundamentaram-se nas experiências das comunidades (por isso a importância das expedições a campo), nos rejeitos de minério de ferro eventualmente depositados nas margens do Rio Doce ou mesmo outros rejeitos que fizessem parte da cadeia produtiva do município ou da região, e que ainda tivessem aderência às vocações locais respeitando os arranjos que previam não competitividade entre as iniciativas. Ainda assim, os municípios mostraram-se desinteressados, inclusive, restringido acesso dos pesquisadores às próprias secretarias quando consultadas por meio de vídeo-conferências e presencialmente, quando da 2ª expedição a campo.

Função das dificuldades impostas pelos gestores municipais, pelo desinteresse ao desenvolvimento em parceria das atividades propostas, as ações elencadas para a transferência das tecnologias apropriadas e aquelas outras relacionadas à implantação, suporte técnico e operacional aos APLs ao longo do Rio Doce, apesar de todos os esforços e da persistência da equipe de pesquisadores, não puderam ser executados.

Por outro lado, foi possível oferecer nas dependências da Universidade Federal de Ouro Preto, formação adequada e suporte a um grupo de atingidos pelo rompimento da Barragem de Fundão com formação adequada, suporte técnico para elaboração de atividades de qualificação para

desenvolvimento de ações para produção de materiais e artefatos para construção civil a partir de rejeitos de mineração, processos de produção mais eficientes, estratégias de armazenamento da produção e aconselhamento financeiro.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, 2006. *NBR 15078: Tintas para construção civil - Método para avaliação de desempenho de tintas para edificações não industriais - Determinação da resistência à abrasão úmida sem pasta abrasiva*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2004. *NBR 10004: Resíduos Sólidos - Classificação*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2005. *NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos - Determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2009. *NBR 7211: Agregado para concreto - Especificação*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2011. *Concreto e argamassa — Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2012. *NBR 9779: Argamassa e concreto endurecidos — Determinação da absorção de água por capilaridade*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2013. *NBR 9457: Ladrilhos hidráulicos para pavimentação — Especificação e métodos de ensaio*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2014. *Cimento Portland — Determinação da variação dimensional de barras de argamassa de cimento Portland expostas à solução de sulfato de sódio*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2015. *NBR 5849: Tintas — Determinação de viscosidade pelo copo Ford*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2016. *NBR 13276: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ABNT, 2017. *NBR 8522: Concreto - Determinação dos módulos estáticos de elasticidade e de deformação à compressão*. Rio de Janeiro : Associação Brasileira de Normas Técnicas .
- ABNT, 2018. *NBR 5739: Concreto - Ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- ANA, 2017. *Agência Nacional de Águas-Relatório de Segurança de Barragens 2017* , Brasília: s.n.
- ANA, 2019. *Agência Nacional das Águas - Relatório de Segurança de Barragens 2019*, Brasília : Ministério do Desenvolvimento Regional.
- Andrade, L. C. R., 2014. *Caracterização de rejeitos de mineração de ferro, in natura e segregados, para aplicação como material de construção civil*, Universidade Federal de Viçosa: Doutorado.
- ANM, 2019. *Relatório Anual de Segurança de Barragens de Mineração 2019*, Brasília : s.n.
- Assessoria de Comunicação Social/CEFET-MG e Portal Fundação Banco do Brasil, 2007. *Projeto Construção Sustentável, que concorreu a prêmio, alia questões ambientais e sociais*, Disponível em: <http://tecquimica.cefetmg.br/noticias/2007/09/noticia0009.html>: Acesso em: 12 de janeiro de 2021.
- Ávila, J. P., 2012. *Barragens de rejeitos no Brasil*, Rio de Janeiro : CBDB.
- Barboza, D. V. et al., 2019. *Aplicação da Economia Circular no Civil. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento*, 8(Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/1102>. Acesso em: 15 de janeiro de 2021), p. e9871102.
- Barreto , M. L., 2001. *Mineração e desenvolvimento sustentável: Desafios para o Brasil*. CETEM/MCT ed. Rio de Janeiro : s.n.
- Batista, J. O. et al., 2016. *Relatório Técnico: Utilização de Rejeito de Barragem de Minério de Ferro na Construção Civil*, Ouro Preto : Relatório para o Ministério Público Federal .

- Bellandi, M., Donati, L. & Cataneo, A., 2021. Social innovation governance and the role of universities: Cases of quadruple helix partnerships in Italy. *Technological Forecasting & Social Change*, 164(Elsevier), p. 120518.
- Boisier, S., 2001. Desarrollo (local): ¿ de qué estamos hablando?. Em: *Transformaciones globales, instituciones y políticas de desarrollo local*. Rosario: Homo Sapiens, p. 14.
- Bozeman, B., 2000. Technology transfer and public policy: a review of research and theory. *Research Policy*, 29(Elsevier), pp. 627-655.
- Cabral Junior, M., Motta, J. F. M. & Almeida, A. S., 2008. Argila para cerâmicas vermelhas . Em: *Rochas Minerais Industriais: Usos e Especificações*. Rio de Janeiro : CETEM , p. 747 – 770.
- Carvalho, J. M. F. et al., 2019. More eco-efficient concrete: An approach on optimization in the production and use of waste-based supplementary cementing materials. *Construction and Building Materials* , 206(Elsevier ) , pp. 397-409.
- Cassiolato, J. E., Matos , M. P. & Lastres, H. M. M., 2008. *Arranjos produtivos locais: uma alternativa para o desenvolvimento : criatividade e cultura*. Rio de Janeiro : E-papers.
- Costa, A. B. & Abreu, K. D. R., 2013. O Programa Água Doce: transformando uma tecnologia convencional em tecnologia social. Em: A. Costa, ed. *Tecnologia social & políticas públicas*. São Paulo: Instituto Pólis; Brasília: Fundação Banco do Brasil, pp. 153-.
- Dagnino, R., 2014. *Tecnologia Social: contribuições conceituais e metodológicas*. Scielo ed. Campina Grande: EDUEPB.
- Dagnino, R. P., 2009. Tecnologia social: ferramenta para construir outra sociedade. Em: Campinas, SP: Unicamp, pp. 5-16.
- Defáveri, K. C. S. et al., 2019. Iron ore tailing-based goepolymer containing glass wool residue: A study of mechanical and microstructural properties. *Construction and Building Materials* , 220(Elsevier ) , pp. 375-385.
- Falcão , L. F. A., 2020. *A configuração do dano existencial sobre pessoas atingidas no município de barra longa em decorrência do rompimento da barragem de Fundão*, Monografia: Universidade Federal de Ouro Preto .
- Fernandes, F. R. C., Alamino, R. C. J. & Araújo, E., 2014. *Recursos minerais e comunidade: impactos humanos, socioambientais e econômicos*. CETEM/MCTI ed. Rio de Janeiro: s.n.
- FIBRA, 2017. *Construção civil representa 6,2% do PIB Brasil*, Acessado: 14 de maio de 2021: Publicado: Terça, 14 Fevereiro 2017.
- Fontes, W. C., 2013. *Rejeito de barragem de minério de ferro como agregado reciclado para argamassas de revestimento e assentamento*. PROPEC ed. Dissertação (Mestrado): Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
- Fontes, W. C. et al., 2018. Iron ore tailings in the production of cement tiles: a value analysis on building sustainability. *Ambiente Construído*, 18(Porto Alegre), pp. 395-412.
- Franco , L. C. et al., 2014. Aplicação de rejeitos de mineração como agregado paraa produção de concreto. 56º Congresso Brasileiro do Concreto (IBRACON), Natal, Rio Grande do Noirte Anais.
- Fundação Banco do Brasil , 2004. *Tecnologia social: uma estratégia para o desenvolvimento*. Rio de Janeiro : s.n.
- G1, 2015. *ROMPIMENTO DE BARRAGEM EM MARIANA: PERGUNTAS E RESPOSTAS*, Disponível em: <<http://g1.globo.com/ciencia-e-saude/noticia/2015/11/rompimento-de-barragens-em-mariana-perguntas-e-respostas.html>. Acesso em: 20 de setembro de 2020: Globo.
- Gaiser, L. I., Besson, M., Lara, F. & Sommer, I., 1999. *A Economia Solidária no RS: viabilidade e perspectivas*. Série Movimentos Sociais e Culturais, n° 15. ed. São Leopoldo: Unisinos: Caderno CEDOPE.
- Galvão , J. L. B. et al., 2018. Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. *Journal of Cleaner Production*, 200(Elsevier), pp. 412-422.
- Garcia, S., 2014. A tecnologia social como alternativa para a reorientação econômica. *Estudos Avançados* , 28, n° 82(Scielo), pp. 551-275.

- Gomide, C. S. et al., 2018. *Dicionário crítico de mineração*. s.l.:iGuana.
- Grupo Força-Tarefa, 2016. *Relatório: Avaliação dos efeitos e desdobramentos do rompimento da Barragem do Fundão em Mariana-MG*, Belo Horizonte: Governo do Estado de Minas Gerais .
- Hernandez, C. A. O., Araújo, A. C., Valadão, G. E. S. & Amarantes, S. C., 2005. Pasting characteristics of hematite/quartz systems. *Mineral engineering*, 18(Elsevier), pp. 935-939.
- IBAMA, 2015. *INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - Laudo Técnico Preliminar - Impactos ambientais decorrentes do desastre envolvendo o rompimento da barragem de Fundão, em Mariana, Minas Gerais*, Brasília: s.n.
- IBRAM, 2019. *Instituto Brasileiro de Mineração - Relatório Anual de atividades*, s.l.: Profissionais do Texto Ltda..
- IPT, 2016. *Instituto de Pesquisas Tecnológicas - Tratamento de rejeitos é solução alternativa e economicamente viável à barragem de mineradoras*, Disponível em: [http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=1043](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=1043): Acessado em: 01 de julho de 2021.
- ITS, I. d. T. S., 2004. *Caderno de Debate - Tecnologia Social no Brasil*, s.l.: Editora Raiz.
- ITS, I. d. T. S., 2007. *Série de Conhecimento e cidadania1 - Tecnologia Social*, s.l.: s.n.
- Kapp, S. & Cardoso, A. L., 2013. Marco teórico da Rede Finep de Moradia e Tecnologia Social – Rede Morar T.S.. *Risco - Revista de Pesquisa em Arquitetura e Urbanismo*, 17(IAU USP), pp. 94-120.
- Klossowski, A., Freitas, C. C. G. & Freitas, F. P. M., 2016. O envolvimento da universidade pública em relação à tecnologia social (2001 a 2011). *Revista Tecnologia Social*, 12(Universidade Tecnológica Federal do Paraná), pp. 61-80.
- Kuranchie, F. A., Shukla, S. K., Habibi, D. & Mohyeddin, A., 2015. Utilisation of iron ore tailings as aggregates in concrete. *Cogent Engineering*, Issue Taylor & Francis, pp. 1-11.
- Lana, Z. M. O., 2015. A atividade mineradora em Minas Gerais e em Ouro Preto: impactos socioambientais e intervenções para a sustentabilidade. *Sociedade e Território*, Volume 27(3), pp. 45 - 59.
- Magalhães, L. F. et al., 2020. Iron ore tailings as a supplementary cementitious material in the production of pigmented cements. *Journal of Cleaner Production*, 274(Elsevier), p. 123260.
- Mancini, L. & Sala, S., 2018. Avaliação de impacto social no setor de mineração: revisão e comparação de quadros de indicadores. *Política de Recursos*, 57(Elsevier), pp. 98-111.
- Mechi, A. & Sanches, D. L., 2010. Impactos ambientais da mineração no Estado de São Paulo. *Estudos Avançados*, 24(68)(SciELO), pp. 209-2020.
- Mendes, J. C. et al., 2019. On the relationship between morphology and thermal conductivity of cement-based composites. *Cement and Concrete Composites*, 104(Elsevier), p. 103365.
- Mendes, L., Bonilha, M. C., Ichikawa, E. Y. & Sachuk, M. I., 2015. Tecnologias Sociais, Biopolíticas e Biopoder: Reflexões Críticas. *Caderno EBAPE.BR*, 13(Rio de Janeiro), pp. 687-700.
- Milanez, B. et al., 2018. Desafios para uma prática científica crítica diante do desastre na bacia do Rio Doce. Em: *Desastre na Bacia do Rio Doce: desafios para a universidade e para instituições estatais*. Rio de Janeiro: Letra e Imagem, pp. 123-148.
- Morais, C. F. et al., 2021. Thermal and mechanical analyses of colored mortars produced using Brazilian iron ore tailings. *Construction and Building Materials*, 268(Elsevier), p. 121073.
- Nery, M. A. C., 2010. Gestão de Recursos Minerais como Fator de Desenvolvimento. *Congresso Internacional de Direito Minerário*, 9 Junho.
- Nogueira, M. A., 2021. *Tecnologias sociais inovadoras para recuperação de áreas degradadas pela mineração - Barragem de Fundão em Mariana/MG*. Dissertação de Mestrado (in press) ed. Universidade Federal de Ouro Preto: Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil.

ONU , 1997. *United Nations, Economic and Social Council - Operational Activities of the United Nations for International Development Cooperation: Follow-Up to Policy Recommendations of the General Assembly Addendum Capacity-Building*, Geneva : Report of the Secretary-General.

Peixoto, R. A. F. et al., 2013. *Utilização de rejeitos de mineração na construção civil – Relatório Técnico Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico para Mineração MMX, TDPP/012-2013*, Belo Horizonte: FCM.

Pontes , J. C., Farias, M. S. S. & Lima , V. L. A., 2013. Mineração e seus reflexos socioambientais: estudo de impacto de vizinhança (EIV) causado pelo desmonte de rochas com uso de explosivos. *Polemica* , 12 (1)(Labore ), pp. 77-90.

Presotti, E. S., 2002. *Influência do Teor de Ferro nos Parâmetros de Resistência de um Rejeito de Minério de Ferro*. Universidade Federal de Ouro Preto ed. Ouro Preto: Dissertação de Mestrado .

Rodrigues, I. & Barbieri, J. C., 2008. A emergência da tecnologia social: revisitando o movimento da tecnologia apropriada como estratégia de desenvolvimento sustentável. *Revista de Administração Pública*, 42(RAP-Rio de Janeiro), pp. 1069-94.

Sant'ana Filho, J. N. et al., 2017. Technical and Environmental Feasibility of Interlocking Concrete Pavers with Iron Ore Tailings from Tailings Dams. *Journal of Materials in Civil Engineering*.

SEBRAE, 2014. *Arranjos Produtivos Locais - Série empreendimentos coletivos*, Brasília: Sebrae.

SEGUR, 2019. *Superintendência Regional do Trabalho em Minas Gerais - Relatório de Análise de Acidente de Trabalho: Rompimento da barragem B I da Vale S.A. em Brumadinho/MG em 25/01/2019*, s.l.: s.n.

Serafim, M. P. & Dias, R. B., 2013. Tecnologia social e tratamento de esgoto na área rural. Em: A. Costa, ed. *Tecnologia social & políticas públicas*. São Paulo: Instituto Pólis; Brasília: Fundação Banco do Brasil, pp. 184-206.

Shettima, A. U., Hussin, M. W., Ahmad, Y. & Mirza, J., 2016. Evaluation of iron ore tailings as replacement for fine aggregate in concrete. *Construction and Building Materials*, 120(Elsevier ), p. 72–79.

Wolff, A. P., 2009. *WOLFF A. P., Caracterização de rejeitos de minério de ferro de minas da Vale*. Universidade Federal de Ouro Preto, UFOP ed. Ouro Preto: (Dissertação de Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mineral.

## 6. ANEXOS

### ANEXO I. Respostas do questionário

QUESTIONÁRIO					
CIDADES	1. Sua cidade sofreu influência do rompimento da barragem de Fundão para o seu município? Se sim, qual?	2. Se sim, como a sua cidade lida com essas influências?	3. Houveram ações de assistência por parte dos agentes?	4. Quais as necessidades sociais observadas em sua cidade pós incidente?	5. Qual a atividade econômica mais importante pra cidade?
Mariana	Sim. Economia e desalojamento de famílias.	Projeto da Renova com a prefeitura.	Sim	Estão solucionando	Mineração
Barra Longa	Sim. Em todos os aspectos.	Acompanhamento com as famílias.	Insuficiente	Geração de renda, reconstrução e assistência social.	Comércio
Rio Doce	Sim. Atividades de pesca, agropecuária e saúde mental.	Estão na justiça	Insuficiente	Geração de renda e capacitação.	Agropecuária
Ponte Nova	Sim, 6 famílias	Acompanhamento com as famílias.	Sim	Não há	Comércio
Santa Cruz do Escalvado	Sim. Atividades de pesca, consumo e lazer.	Projeto da Renova com a prefeitura irá começar.	Sim, porém só agora.	Não atingiu dentro da cidade, apenas pequenas famílias rurais.	Lavra e comércio
Rio Casca	Sim. Atividades de pesca e plantio.	Assistência social.	Insuficiente	Cursos de capacitação rural	Agropecuária
Sem-Peixe	Sim. Dessedentação animal, irrigação de plantações e economia.	Assistência social.	Sim, financeira	Geração de empregos.	Agricultura
Raul Soares	Sim, pouca	Assistência social.	Não	Tratamento de esgoto.	Agricultura
São José do Goiabal	Sim	Assistência social.	Sim	Geração de emprego e renda para a zona rural.	Comércio e Serviços
Nova Era	Não.	-	-	-	-
Antônio Dias	Não.	-	-	-	-
Timóteo	Sim. Fauna e flora.	Não há projeto de recuperação.	Renova fez cursos de capacitação em educação financeira.	Não há.	Indústria do aço
Ipatinga	Sim, 101 famílias. Pesca e agropecuária.	Projeto da Renova com a prefeitura.	Sim	Estão solucionando.	Siderurgia
Belo Oriente	Sim. Econômica e abastecimento de água.	Assistência social.	Sim, abastecimento de água e construção de praça.	Reativar as festas culturais.	Produção de celulose.
Naque	Sim. Abastecimento de água, pesca, economia e saúde mental.	Não consegue lidar, pois foram muito afetados.	Insuficiente	Geração de emprego, renda, alimentação e água potável.	Pesca e pequenos comércios.
Periquito	Sim. Abastecimento de água, saúde, pesca e lazer.	Assistência social.	Sim, Reuniões	Geração de emprego, renda, alimentação e água potável.	Pesca, agricultura familiar e comércio.
Governador Valadares	Sim. Abastecimento de água, economia.	Assistência social.	Sim, pouca	Qualificação profissional e água.	Comércio e serviços.

CIDADES	1.Sua cidade sofreu influência do rompimento da barragem de Fundão para o seu município? Se sim, qual?	2. Se sim, como a sua cidade lida com essas influências?	3. Houveram ações de assistência por parte dos agentes?	4. Quais as necessidades sociais observadas em sua cidade pós incidente?	5. Qual a atividade econômica mais importante pra cidade?
Galiléia	Sim. Abastecimento de água, economia, saúde mental.	Assistência social.	Sim. Distribuição de água mineral por força de decisão judicial, perfuração de poços artesianos.	Geração de emprego, renda, alimentação e água potável.	Agropecuária
Conselheiro Pena	Sim, pesca	Não há projeto de recuperação.	Não	Recuperação financeira.	Pecuária
Resplendor	Sim. Economia, saúde física e mental, abastecimento de água.	Assistência social.	Sim	Geração de emprego, renda, alimentação, água potável e assistência psicológica.	Agropecuária, pesca e turismo.

## Anexo II. Relatórios de IC



Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Setor de Pesquisa e Iniciação Científica



### CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO EM PROJETOS DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PROGRAMA	Projeto	Função	Aluno(s) Vinculado(s)	Vigência	C.H. Semanal	Situação
PIBITI/CNPQ	Argamassas de assentamento e revestimento de sucata de fibra de vidro aplicadas a Habitações de Interesse Social	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	ANA CAROLINA DE PAULA MATIAS	01/08/2016-31/07/2017	20	CONCLUÍDO
PIBITI/CNPQ	INDICADORES DE DESEMPENHO NA QUANTIFICAÇÃO DO IMPACTO DE MÍDIAS SOCIAIS PARA DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	GABRIELA ZUQUI SOUZA	01/09/2021-31/08/2022	20	CONCLUÍDO
PIBITI/CNPQ	Desempenho de um aditivo à base de lignina residual para matrizes de cimento Portland	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	KAROLLAINÉ TEREZA SOUZA E SILVA	01/09/2022-31/08/2023	12	EM ANDAMENTO

Campus Universitário - Morro do Cruzeiro - ICEB II - Sala 29 - 35400-000 - Ouro Preto (MG) - Brasil  
Homepage: <http://www.propp.ufop.br> - Email: [pesquisa@ufop.br](mailto:pesquisa@ufop.br) - Telefone: (0XX31) 3559-1368



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
Universidade Federal de Ouro Preto  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Setor de Pesquisa e Iniciação Científica



### CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO EM PROJETOS DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA

PROGRAMA	Projeto	Função	Aluno(s) Vinculado(s)	Vigência	C.H. Semanal	Situação
PIVIC-2S/UFOP	Investigação das Propriedades Térmicas de Matrizes Cimentícias Não-Convencionais	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	PAULA ANUNCIACAO MATIAS CAMPOS	01/08/2016-31/07/2017	12	CONCLUÍDO
PIVIC-2S/UFOP	Avaliação do calor específico de argamassas visando ao armazenamento térmico em edificações	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	ALINE DA SILVEIRA CARVALHO, LUANA DRAGO KUSTER	01/08/2019-31/07/2020	12	CONCLUÍDO
PIVIC-2S/UFOP	Avaliação do uso de mídias sociais na divulgação de conteúdo científico	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	VITOR PEDROZA DA SILVA ARAUJO, GABRIELA ZUQUI SOUZA, LUANA DRAGO KUSTER	01/09/2020-31/07/2021	12	CONCLUÍDO

Campus Universitário - Morro do Cruzeiro - ICEB II - Sala 29 - 35400-000 - Ouro Preto (MG) - Brasil

**CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO EM PROJETOS DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

PROGRAMA	Projeto	Função	Aluno(s) Vinculado(s)	Vigência	C.H. Semanal	Situação
PIVIC-25/UFOP	Caracterização não destrutiva de estruturas de concreto armado	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	NICOLE ALVES DUTRA	01/09/2021-31/08/2022	12	CONCLUÍDO
PROBIC/FAP EMIG	Viabilidade técnica de rejeito de barragem de minério de ferro proveniente do rompimento da barragem de Fundão como matéria prima para a produção de compósitos da construção civil	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	RAFAEL PINHEIRO CURTO BUENO	01/10/2022-30/09/2023	12	EM ANDAMENTO
PROBIC/FAP EMIG	Desempenho Térmico de Matrizes Cimentícias Sustentáveis	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	PAULA DORNELAS MIRANDA	01/03/2017-28/02/2018	20	CONCLUÍDO

Campus Universitário - Morro do Cruzeiro - ICEB II - Sala 29 - 35400-000 - Ouro Preto (MG) - Brasil  
Homepage: <http://www.propp.ufop.br> - Email: [pesquisa@ufop.br](mailto:pesquisa@ufop.br) - Telefone: (0XX31) 3559-1368

**CERTIFICADO DE PARTICIPAÇÃO EM PROJETOS DE PESQUISA E INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

PROGRAMA	Projeto	Função	Aluno(s) Vinculado(s)	Vigência	C.H. Semanal	Situação
PIVIC-15/UFOP	Revestimentos cerâmicos queimados com rejeito de barragem de minério de ferro	RESPONSÁVEL / ORIENTADOR	ELLEN CRISTINE PINTO DA COSTA	01/03/2015-28/02/2016	12	CONCLUÍDO
PIBIC-CPRM/CNPQ/UFOP	Aplicação de rejeito de barragem de minério de ferro em concretos destinados a produção de blocos segmentais	COLABORADOR	LUDIMILA GOMES ANTUNES	01/08/2019-31/07/2020	0	CONCLUÍDO
PIVIC-15/UFOP	(MAI - CNPq) Argamassas industrializadas isolantes térmicas com agregados da mineração de quartzito	CO-ORIENTADOR	ISABELLA CORRÊA DA SILVEIRA COSTA, THAIS BARRETO SANTANA, MAISA MARIA QUINTAO CARRAL	01/03/2022-31/01/2023	2	CONCLUÍDO

Campus Universitário - Morro do Cruzeiro - ICEB II - Sala 29 - 35400-000 - Ouro Preto (MG) - Brasil  
Homepage: <http://www.propp.ufop.br> - Email: [pesquisa@ufop.br](mailto:pesquisa@ufop.br) - Telefone: (0XX31) 3559-1368



Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil



#### AValiação DO USO DE MÍDIAS SOCIAIS NA DIVULGAÇÃO DE CONTEÚDO CIENTÍFICO

Bolsista: Luana Drago Kuster  
Orientador: Ricardo André Fiorotti Pezoto  
Co-orientador: Tainá Varela de Melo

Relatório final, referente ao período de 01/09/2020 a 31/07/2021, apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto, como parte das exigências do programa de iniciação científica PIVIC – 25/CNPq

Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil  
Agosto de 2021



Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas  
Departamento de Engenharia Civil – DECV



#### INVESTIGAÇÃO DAS PROPRIEDADES TÉRMICAS DE MATRIZES CIMENTÍCIAS NÃO-CONVENCIONAIS

Bolsista: Paula Anunciação Matias Campos  
Orientador: Prof. D.Sc. Ricardo André Fiorotti Pezoto  
Co-orientadora: Prof<sup>a</sup>. M.Sc. Júlia Castro Mendes

Relatório Final, referente ao período de 01/08/2016 a 31/07/2017, apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto, como parte das exigências do Programa Institucional de Voluntários de Iniciação da UFOP – PIVIC/UFOP.

Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil  
Julho de 2017



Universidade Federal de Ouro Preto  
Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil  
Curso de Graduação em Engenharia Civil



#### INDICADORES DE DESEMPENHO NA QUANTIFICAÇÃO DO IMPACTO DE MÍDIAS SOCIAIS PARA DIVULGAÇÃO CIENTÍFICA

Bolsista: Gabriela Zoqui Souza  
Orientador: Ricardo André Fiorotti Pezoto, D.Sc.  
Co-orientadora: Aline Santana Figueiredo, M.Sc.

Relatório final, referente ao período de 01/09/2021 a 31/08/2022, apresentado à Universidade Federal de Ouro Preto, como parte das exigências do programa de iniciação científica PIBIT/CNPq.

Ouro Preto – Minas Gerais – Brasil  
Setembro de 2022

\*\*Relatório do projeto intitulado “Viabilidade técnica de rejeito de barragem de minério de ferro proveniente do rompimento da barragem de Fundão como matéria prima para a produção de compósitos da construção civil” em andamento, com prazo para submissão até outubro de 2023 (tempo de vigência do projeto).

# ANEXO III. Artigos em periódicos

**Richard Wellford** [rwellford@journals.manuscriptcentral.com](mailto:rwellford@journals.manuscriptcentral.com) 8 de agosto de 2023 às 00:28  
 Responder a: [rwellford@journals.manuscriptcentral.com](mailto:rwellford@journals.manuscriptcentral.com)  
 Para: [marcela.nogueira@ufop.edu.br](mailto:marcela.nogueira@ufop.edu.br)  
 Cc: [marcela.nogueira@ufop.edu.br](mailto:marcela.nogueira@ufop.edu.br), [luis.ortiz@ufop.edu.br](mailto:luis.ortiz@ufop.edu.br), [douglas.vr@ufop.edu.br](mailto:douglas.vr@ufop.edu.br), [igor.ro@ufop.edu.br](mailto:igor.ro@ufop.edu.br), [julia.mendes@ufop.edu.br](mailto:julia.mendes@ufop.edu.br), [ricardofort@ufop.edu.br](mailto:ricardofort@ufop.edu.br)

07-Aug-2023

Dear Ms Nogueira,

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "Mitigating the socioeconomic impacts of the mining industry through Social Technologies: guidelines for technology transfer between universities and communities" in its current form for publication in *Corporate Social Responsibility and Environmental Management*.

Your article cannot be published until you have signed the appropriate license agreement. Within the next few days you will receive an email from Wiley's Author Services system which will ask you to log in and will present you with the appropriate license for completion.

You will receive your typeset proofs in due course.

This journal offers a number of license options for published papers; information about this is available here: <http://authors.wiley.com/author-resources/Journals/AuthorLicenses/index.html>. The submitting author has confirmed that all co-authors have the necessary rights to grant in the submission, including in light of each co-author's funder policies. If any author's funder has a policy that restricts which kinds of license they can sign, for example if the funder is a member of Coalition S, please make sure the submitting author is aware.

Thank you for your contribution.

Sincerely,

Professor Richard Wellford  
 Corporate Social Responsibility and Environmental Management  
[rwellford@journals.manuscriptcentral.com](mailto:rwellford@journals.manuscriptcentral.com)

P.S. – You can help your research get the attention it deserves! Wiley Editing Services offers professional video abstract and infographic creation to help you promote your research at [www.wileyauthors.com/wes/promotion](http://www.wileyauthors.com/wes/promotion). And, check out Wiley's Free Promotion Guide for best-practice recommendations for promoting your work at [www.wileyauthors.com/wes/promo](http://www.wileyauthors.com/wes/promo).

Wiley offers authors the option to make their article available to non-subscribers on Wiley Online Library through their OpenAccess services. This service is also suitable for authors whose funding agency requires grantees to archive the final version of their article. With OpenAccess, the author, the author's funding agency, or the author's institution pays a fee to ensure that the article is made available to non-subscribers upon publication via Wiley Online Library, as well as deposited in the funding agency's preferred archive. For the full list of terms and conditions, see [www.wileyauthors.com/wes/promo](http://www.wileyauthors.com/wes/promo).

Construction and Building Materials

Journal homepage: [www.elsevier.com/locate/buildmat](http://www.elsevier.com/locate/buildmat)

**Influence of particle size-designed recycled mineral admixtures on the properties of cement-based composites**

José María Franco de Carvalho<sup>1,2,\*</sup>, Keoma Delavei<sup>1,3</sup>, Júlia Castro Mendes<sup>1</sup>, Wilfran Schleich<sup>1</sup>, Hans-Carsten Kähler<sup>1</sup>, Ricardo André Fiorotti Pezans<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Federal University of Minas Gerais, 31270-900 Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil  
<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Federal University of Rio de Janeiro, 20090-900 Rio de Janeiro, Brazil  
<sup>3</sup>WSP Research Institute for Material Science and Testing, 12084-900, Curitiba, Brazil

**ARTICLE INFO**

Received 12 September 2022  
 Received in revised form 10 October 2022  
 Accepted 16 November 2022  
 Available online 6 December 2022

**Keywords**

High-strength concrete  
 Recycled aggregate  
 Particle size distribution  
 Mechanical properties  
 Compressive strength  
 Flexural strength  
 Modulus of elasticity

**ABSTRACT**

In this work, engineered recycled mineral admixtures obtained from different industrial sources have been studied. They were used to replace natural sand and aggregate in concrete. The concrete performance was evaluated in terms of compressive and flexural strength, modulus of elasticity, and shrinkage. The results showed that the use of recycled mineral admixtures led to a decrease in the compressive strength and modulus of elasticity of the concrete. However, the use of recycled mineral admixtures led to an increase in the flexural strength and modulus of elasticity of the concrete. The results also showed that the use of recycled mineral admixtures led to a decrease in the shrinkage of the concrete.

**1. Introduction**

The development of high and ultra-high performance concrete results from the development of superplasticizers and mineral admixtures with fine particles, which are the focus of this study. The use of recycled mineral admixtures is a promising strategy [1]. The use of recycled mineral admixtures is a promising strategy [1]. The use of recycled mineral admixtures is a promising strategy [1].

Journal of Sustainable Metallurgy (2023) 7:111–118  
<https://doi.org/10.1007/s40201-023-00239-9>

RESEARCH ARTICLE

**Hydraulic Tiles Produced with Fine Aggregates and Pigments Recycled from Iron Ore Tailings**

Wanna C. Fontes<sup>1,2</sup>, José M. Franco de Carvalho<sup>1,3</sup>, Keoma Delavei<sup>1,3</sup>, Guilherme J. Brigolini<sup>1</sup>, Ana M. Segatães<sup>1,3</sup>, Ricardo A. F. Pezoto<sup>1</sup>

Received: 9 September 2022 / Accepted: 11 December 2022 / Published online: 21 January 2023  
 © The Author(s), Springer Nature Switzerland AG 2023

**Abstract**

Confronted with the growing ecological awareness of the consumer market, the construction industry has been seeking strategies to promote a higher insertion of waste in the production chain while contributing to the technological improvement of processes and products, as well as mitigation of social and environmental impacts and, at the same time, conferring intangible value to the product. In this sense, the present work describes how iron ore tailings (IOT) can be used in the production of cement-based (hydraulic) tiles. The physical, chemical, and mineralogical characteristics carried out demonstrated that the IOT beneficiation process resulted in a high-quality siliceous aggregate and a Fe-rich clay. The latter can be used as a pigment, whose pigmentation and coloring potentials improve with calcination and grinding. Compared to hydraulic tiles prepared with conventional materials, those obtained with the IOT-based materials displayed a pleasing appearance and the expected physical-mechanical performance.

**Graphical Abstract**

Journal of Building Engineering (2023) 54:1000–10022

Journal homepage: <http://www.elsevier.com/locate/jobe>

**Influence of high-charge and low-charge PCE-based superplasticizers on Portland cement pastes containing particle-size designed recycled mineral admixtures**

José María Franco de Carvalho<sup>1,2,\*</sup>, Wilfran Schleich<sup>1</sup>, Hans-Carsten Kähler<sup>1</sup>, Ricardo André Fiorotti Pezans<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil Engineering, Federal University of Minas Gerais, 31270-900 Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil  
<sup>2</sup>Department of Civil Engineering, Federal University of Rio de Janeiro, 20090-900 Rio de Janeiro, Brazil  
<sup>3</sup>WSP Research Institute for Material Science and Testing, 12084-900, Curitiba, Brazil

**ARTICLE INFO**

Received 12 September 2022  
 Received in revised form 10 October 2022  
 Accepted 16 November 2022  
 Available online 6 December 2022

**Keywords**

High-strength concrete  
 Recycled aggregate  
 Particle size distribution  
 Mechanical properties  
 Compressive strength  
 Flexural strength  
 Modulus of elasticity

**ABSTRACT**

In this work, engineered recycled mineral admixtures obtained from different industrial sources have been studied. They were used to replace natural sand and aggregate in concrete. The concrete performance was evaluated in terms of compressive and flexural strength, modulus of elasticity, and shrinkage. The results showed that the use of recycled mineral admixtures led to a decrease in the compressive strength and modulus of elasticity of the concrete. However, the use of recycled mineral admixtures led to an increase in the flexural strength and modulus of elasticity of the concrete. The results also showed that the use of recycled mineral admixtures led to a decrease in the shrinkage of the concrete.

**1. Introduction**

The development of high and ultra-high performance concrete results from the development of superplasticizers and mineral admixtures with fine particles, which are the focus of this study. The use of recycled mineral admixtures is a promising strategy [1]. The use of recycled mineral admixtures is a promising strategy [1]. The use of recycled mineral admixtures is a promising strategy [1].

# ANEXO IV. Artigos de congresso



## PRODUÇÃO E AVALIAÇÃO DE ADITIVOS À BASE DE LIGNINA RESIDUAL PARA MATRIZES DE CIMENTO PORTLAND

VICTOR R. CARVALHO<sup>1</sup>, LAÍS CRISTINA B. COSTA<sup>1</sup>, BRUNO EDUARDO L. BAETA<sup>1</sup>, TAINÁ V. MELO<sup>1</sup>, DOUGLAS M. RESENDE<sup>1</sup>, RICARDO ANDRÉ F. PEIXOTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Ouro Preto  
Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 35400-000  
victor.resende.carvalho@gmail.com, resende@ufop.br

**Resumo** Nas biorefinarias, o pré-tratamento do bagaço de cana-de-açúcar para a produção de bioetanol gera como subproduto um licor residual à base de lignina, polímero natural que apresenta propriedades plastificantes quando adicionado em argamassas e concretos. Nesse sentido, o presente trabalho avalia o desempenho de aditivo à base de lignina residual como aglutinante plastificante em matrizes cimentícias. Para este propósito, foi realizado um pré-tratamento Organosolv no bagaço de cana-de-açúcar, utilizando glicol como solvente orgânico e três diferentes teores de água. Os licores resultantes gerados foram denominados L01, L02 e L03, tendo o L01 a maior quantidade de água em sua produção, o L02 uma quantidade intermediária, e o L03 a menor quantidade. Inicialmente, verificou-se em um viscosímetro tipo copo Ford o ponto de saturação dos aditivos produzidos e de um aditivo comercial à base de lignina. Posteriormente, foram realizados ensaios de mini-cubo, considerando os pontos de saturação encontrados para os aditivos produzidos e para o aditivo comercial. Como resultado, os aditivos à base de lignina residual, com destaque para o L01, apresentaram bom potencial de aplicação como plastificantes sustentáveis de baixo custo para matrizes de cimento Portland, além de oferecerem uma alternativa promissora para o aproveitamento de resíduos nas biorefinarias.

**Palavras-chave:** Aditivo à base de lignina, Aditivo plastificante, Pré-tratamento Organosolv, Lignina residual, Matriz cimentícia sustentável, Aproveitamento de resíduos.

**Abstract** In biorefineries, the sugarcane bagasse pretreatment, applied in bioethanol production, generates a residual lignin-based liquor. Lignin is a natural polymer that presents plasticizing properties when added to concretes and mortars. In this sense, the present work seeks to evaluate the performance of residual lignin-based admixtures as plasticizers for cement matrices. For this purpose, a sugarcane bagasse Organosolv pretreatment was carried out, using glycol as an organic solvent and three different water contents. The residual liquors were called L01, L02, and L03. L01 was produced with the highest water content, L02 was produced with an intermediate water content, and L03 was produced with the lowest water content. Initially, the authors verified the saturation point of the produced admixtures and a commercial lignin-based admixture using a Ford cup viscosimeter. After that, a mini-cube test was carried out considering the saturation points of the produced admixtures and the commercial admixture. As a result, the residual lignin-based admixtures, especially the L01 admixture, presented high potential for use as low-cost sustainable plasticizers for cement-based composites. Furthermore, this work offers a promising alternative for waste management in biorefineries.

**Keywords:** Lignin-based admixtures, Plasticizers, Organosolv pretreatment, Residual lignin, Sustainable cement matrices, Waste management.

### 1. INTRODUÇÃO

A lignina é o segundo polímero natural mais abundante na natureza e pode ser extraída de plantas, madeiras ou resíduos agroindustriais. Devido à sua variedade de grupos funcionais, bem como a

ISBN: 978-65-00-55912-6

433



## REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO COMO ALTERNATIVA PARA REVESTIMENTOS INTERNOS

MARCELA AGUIAR INOUEIRA<sup>1</sup>, LAÍS CRISTINA BARBOSA COSTA<sup>1</sup>, BARBARA OLIVEIRA PAIVA<sup>1</sup>, MARIA LUIZA FERREIRA SILVA<sup>1</sup>, WAINNA CARVALHO FONTES<sup>1</sup>, RICARDO ANDRÉ FIOROTTI PEIXOTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Ouro Preto  
Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 35400-000  
marcela.inoqueira@ufop.ufop.br, resende@ufop.br

**Resumo** O setor de mineração causa significativos impactos ambientais e socioeconômicos, principalmente aqueles advindos do armazenamento dos rejeitos de minério de ferro (RBMF) em barragens e das graves consequências relacionadas ao rompimento dessas estruturas. De forma a contribuir com a mitigação desses impactos na cadeia produtiva e minimizar os impactos de mineração, esse trabalho propõe avaliar a viabilidade técnica do uso do RBMF como agregado para revestimentos internos, tais como argamassas e lajotas hidráulicas. Inicialmente, foram investigadas as propriedades físico-químicas do rejeito e posteriormente produzidos e caracterizados os compostos de construção civil. Foi criado um modelo 3D demonstrando a aplicação dos revestimentos produzidos em uma edificação real na Vila Sustentável, projeto do grupo Rejeitos em ação, na Universidade Federal de Ouro Preto. Os resultados indicaram que o rejeito é particularmente fino e bem graduado. A caracterização dos compostos indicou a viabilidade técnica da substituição do RBMF como agregado miúdo para produção de argamassas e como pigmentos para a produção de lajotas hidráulicas. O modelo 3D criado mostrou a possibilidade de se produzir ambientes esteticamente agradáveis e funcionais a partir do uso de RBMF.

**Palavras-chave:** Rejeito de Barragem de Minério de Ferro, Construções Sustentáveis, Argamassas, Lajotas Hidráulicas.

**Abstract** The mining sector generates significant environmental and socioeconomic impacts, especially those arising from the stock of iron ore tailings (IOT) in dams and the serious consequences related to the rupture of these structures. In order to contribute to the mitigation of this waste in the production chain and minimize the impacts of mining, this work proposes to evaluate the technical feasibility of using iron ore tailings as an aggregate for internal coatings, such as mortars and hydraulic tiles. Initially, the physicochemical properties of the tailings were investigated and later the composites of civil construction were produced and characterized. A 3D model was created demonstrating the application of the coatings produced in a real building in Vila Sustentável, a project by the Rejeitos group being carried out at the Federal University of Ouro Preto. The results indicated that the tailings are particularly fine and well graded. The characterization of the composites indicated the technical feasibility of replacing RBMF as a fine aggregate for the production of mortars and as pigments for the production of hydraulic tiles. The 3D model created showed the possibility of producing aesthetically pleasing and functional environments using iron ore tailings.

**Keywords:** Iron Ore Tailings, Sustainable Buildings, Mortar, Hydraulic Tile.

ISBN: 978-65-00-55912-6

782



## REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO EM CONCRETOS DESTINADOS À PRODUÇÃO DE BLOCOS SEGMENTAIS

LUDIMILA GOMES ANTUNES<sup>1</sup>, BRUNA LOURES DE CASTRO SAITOS<sup>1</sup>, ALINE SAITANA FIGUEIREDO<sup>1</sup>, JOSÉ MARIA FRANCO DE CARVALHO<sup>1</sup>, WAINNA CARVALHO FONTES<sup>1</sup>, RICARDO ANDRÉ FIOROTTI PEIXOTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Ouro Preto, ludimila.antunes@aluno.ufop.edu.br  
<sup>2</sup> Universidade Federal de Viçosa

**Resumo** Existe uma crescente necessidade de expandir as possibilidades de utilização do Rejeito de Barragem de Minério de Ferro (RBMF) na construção civil e mitigar os impactos negativos das barragens, sem sacrificar as oportunidades oferecidas pela mineração. Dessa forma, esse trabalho objetiva investigar a aplicabilidade do RBMF em concretos destinados à produção de blocos segmentais. Com base nos resultados da caracterização física do material empregado no concreto, utilizou-se RBMF em substituições parciais de 25% (R25), 50% (R50) e 75% (R75) do total de agregados miúdos. Para identificar o teor ótimo de umidade, foram desenvolvidas dosagens com diferentes quantidades de água utilizando como parâmetro o grau de empacotamento e a coesão entre as partículas. Foram moldados corpos de prova, submetidos a ensaios normativos para determinação das propriedades físicas e mecânicas dos concretos. Como resultado, as amostras de R25 apresentaram maior resistência à compressão, seguidas por R50 e R75, respectivamente. Por apresentarem menor porosidade e, portanto, inferior menor absorção de água, as matrizes R25 também indicam maior durabilidade. Conclui-se, portanto, que concreto com RBMF para bloco segmental são alternativas viáveis para promover o desenvolvimento tecnológico de matrizes cimentícias, além de contribuir para uma destinação ambientalmente mais responsável a esse resíduo.

**Palavras-chave:** Rejeito de Barragem de Minério de Ferro; Resíduos Sólidos; Tecnologia do concreto; Blocos segmentais.

**Abstract** There is a growing need to expand the possibilities of using Iron Ore Tailings (IOT) in civil construction and mitigate the negative impacts of dams, without sacrificing the opportunities offered by mining. Thus, this work aims to investigate the applicability of RBMF in concretes destined to the production of segmental blocks. Based on the results of the physical characterization of the materials used in the concrete, IOT was used in partial substitutions of 25% (R25), 50% (R50) and 75% (R75) to the total of small aggregates. In order to identify the optimum moisture content, dosages were developed with different amounts of water using as a parameter the degree of packaging and the cohesion between the particles. Specimens were molded and subjected to normative tests to determine the physical and mechanical properties of the concrete. As a result, the R25 samples showed greater resistance to compression, followed by R50 and R75, respectively. Because they have less porosity and therefore infer less water absorption, the R25 matrices also indicate greater durability. It is concluded, therefore, that concrete with IOT for segmental blocks are viable alternatives to promote the technological development of cementitious matrices, in addition to contributing to a more environmentally responsible destination for this waste.

**Keywords:** Iron Ore Tailings; Solid Waste; Concrete technology; Segmental blocks.



## ALTERNATIVAS PARA PAVIMENTAÇÃO COM RESÍDUOS DA SIDERURGIA E MINERAÇÃO

HUMBERTO D. ANDRADE<sup>1</sup>, MATEUS J. D. SILVA<sup>1</sup>, JOAQUIM N. S. FILHO<sup>1</sup>, LAÍS C. B. COSTA<sup>1</sup>, RICARDO A. F. PEIXOTO<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Ouro Preto – campus morro do Cruzeiro, Ouro Preto – MG, 35.400-000.  
<sup>1</sup> Universidade Federal de Ouro Preto – campus morro do Cruzeiro, Ouro Preto – MG, 35.400-000, resende@ufop.br  
<sup>2</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte – MG, 30.421-105, https://www.cefetmg.br

### Resumo

A utilização de materiais alternativos na produção de matrizes cimentícias se tornou uma necessidade, devido à grande demanda do setor de construção por recursos naturais, de promover a destinação adequada de resíduos industriais. No entanto, as matrizes alternativas devem apresentar desempenho similar às convencionais. No presente trabalho foram produzidos blocos intertravados de concreto com agregados convencionais, com substituição do agregado miúdo por agregado de rejeito de barragem de minério de ferro e com substituição total dos agregados por agregados de escória de aço. Para avaliar o desempenho dos blocos foram realizados ensaios de expansibilidade, porosidade, absorção de água, resistência à compressão e análise ambiental. Os resultados encontrados indicaram que os blocos intertravados de concreto contendo escória e rejeito de mineração (RBMF) apresentam propriedades física, mecânica e ambiental semelhantes ou superiores aos produzidos com agregados convencionais, estando dentro dos requisitos para o tráfego regular.

**Palavras-chave:** Bloco intertravado de concreto, rejeito de barragem de minério de ferro, escória de aço

**Abstract** The use of alternative materials in the production of cement matrices has become a necessity, due to the great demand of the construction sector for natural resources, to promote the proper destination of industrial waste. However, alternative matrices must present similar performance to the conventional ones. In the present work, interlocking blocks of concrete were produced with conventional aggregates, with replacement of the fine aggregate by aggregate from iron ore dam tailings and with total replacement of the aggregates by aggregates of steel slag. To evaluate the performance of the blocks, tests of expansion, porosity, water absorption, compressive strength and environmental analysis were carried out. The results found indicated that the interlocking concrete blocks containing slag and mining tailings (RBMF) have physical, mechanical and environmental properties similar or superior to those produced with conventional aggregates, being within the requirements for regular traffic.

**Keywords:** Interlocking concrete block, iron ore dam tailings, steel slag

### 1. INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos as cidades brasileiras apresentam um crescimento acelerado, resultando em aumento da densidade populacional. Este fato tem elevado o número de construções para atender as demandas de infraestrutura habitacional e de transporte rodoviário, consomem uma enorme quantidade de recursos naturais. Da mesma forma a quantidade de áreas permeáveis aumentando as cargas hidráulicas nos rios. Os cursos d'água, por sua vez, transportam e provocam catástrofes que geram grandes prejuízos sociais e econômicos [1].

ISBN: 978-65-00-55912-6

622

## TINTAS IMOBILIÁRIAS DE REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO

RICARDO ANDRÉ F. PEIXOTO<sup>1</sup>; JOSÉ LUCAS B. GALVÃO<sup>2</sup>; LAÍS CRISTINA B. COSTA<sup>1</sup>;  
VICTOR R. CARVALHO<sup>1</sup>; GABRIELA Z. SOUZA<sup>1</sup>; JÚLIA C. MENDES<sup>1</sup><sup>1</sup> Universidade Federal de Ouro Preto  
Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 35400-000  
rca@ufop.br; gzf@ufop.br; lais@ufop.br; victor@ufop.br; julia@ufop.br

**Resumo.** A fim de minimizar os impactos ambientais, sociais e econômicos causados pelo setor da mineração, este trabalho propõe o uso do rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF) como pigmento na produção de uma tinta imobiliária – a Tinta Sustentável. Utilizou-se um RBMF bruto, submetido apenas à secagem e destorroamento. Além do RBMF e da água potável (rede pública), foram testados 4 ligantes: resina de PVA na forma de cola branca, resina acrílica, cal hidratada para pintura e cimento Portland de alta resistência inicial. O teor de ligante variou de 0-50% sobre a massa de RBMF. As misturas foram avaliadas de acordo com quatro parâmetros: custo, homogeneidade de cor, resistência à abrasão e durabilidade à exposição externa, utilizando a metodologia de diferença de cor ΔE (Delta-E). Os resultados obtidos para os diferentes ligantes foram comparados entre si e com tintas convencionais. A Tinta Sustentável apresentou coloração avermelhada, opacidade adequada; e resultados de durabilidade satisfatórios a um custo significativamente menor. As tintas com RBMF, principalmente aquelas que utilizaram PVA como ligante, se mostraram como alternativas promissoras para pinturas preparadas in loco.

**Palavras-chave:** Rejeito de barragem de minério de ferro, Tintas Imobiliárias, Materiais de construção sustentáveis.

**Abstract.** This work proposes the use of iron ore tailings from tailings dams (IOT) as pigment in the production of a building paint – called Sustainable Paint, in order to reduce the impacts caused by the mining sector. A raw IOT was used, subjected only to drying and crushing. The authors also used potable water and four types of binders: PVA resin, acrylic resin, hydrated lime for painting and high early strength Portland cement. The binder content ranged from 0 to 50% over the mass of IOT. The mixtures were evaluated according to four parameters: cost, color homogeneity, abrasion resistance, and durability to external exposure, using the ΔE (Delta-E) color difference methodology. The results obtained for the different binders were compared among themselves and with conventional paints. The Sustainable Paint presented reddish color, adequate opacity, and satisfactory durability results at a significantly lower cost. Paints with IOT, especially those that used PVA as binder, proved to be promising alternatives for paintings prepared in situ.

**Keywords:** Iron ore tailings, Paints, Sustainable construction materials.

## 5. INTRODUÇÃO

Por um longo período, a indústria da mineração no Brasil depositou seus resíduos diretamente no meio ambiente, lançando-os em cursos d'água e aterros e tornando depósitos sem nenhum controle ou sistematização [1]. Após a década de 1930, as indústrias começaram a investir na construção das primeiras barragens de rejeitos. O desenvolvimento da tecnologia construtiva das barragens se deu de forma empírica, a partir da prática de construção e da tecnologia disponível [2]. No entanto, com o

## CONCRETOS ECO-EFICIENTES DE REJEITO DE BARRAGEM DE MINÉRIO DE FERRO

LAÍS C. B. COSTA<sup>1</sup>; DIEGO H. SANTOS<sup>2</sup>; SAMANTHA ARAÚJO<sup>1</sup>; JUNIO BATISTA<sup>1</sup>; RICARDO A. F. PEIXOTO<sup>1</sup><sup>1</sup> Universidade Federal de Ouro Preto  
Campus Morro do Cruzeiro, Ouro Preto, Minas Gerais, Brasil, 35400-000  
<sup>2</sup> Instituto Federal de Santa Catarina - Campus Criciúma

Autor correspondente: lais.cbsm@ufop.br; ricardo@ufop.br

**Resumo.** Nos últimos anos o Brasil testemunhou grandes acidentes envolvendo barragens de minério de ferro que realçaram os riscos dessas estruturas e a demanda por soluções alternativas para esses resíduos. Por outro lado, a construção civil se destaca devido ao consumo anual de bilhões de toneladas de agregados para utilização em compostos cimentícios. A extração desses agregados leva a alterações significativas no meio ambiente. Assim, esse trabalho avaliou a performance de concretos produzidos com substituição de até 50% do agregado miúdo por rejeito de barragem de minério de ferro (RBMF). Os concretos foram avaliados quanto ao seu desempenho mecânico (resistência à compressão e tração na idade de 3, 7 e 28 dias), impacto ambiental (através da intensidade de ligantes) e custo por metro cúbico para sua fabricação. A substituição do agregado miúdo por RBMF possibilitou um aumento no desempenho mecânico dos concretos para todas as idades analisadas, sendo os concretos com RBMF, na idade de 28 dias, até 43% mais resistentes à compressão quando comparado aos de referência. Foi observado também que a incorporação de RBMF reduz a intensidade de ligantes das misturas e que essas possuem custo de produção equivalente ao convencional. Esses resultados demonstram a viabilidade da substituição do agregado miúdo convencional por RBMF em até 50%.

**Palavras-chave:** Rejeito de Barragem de Minério de Ferro; Concreto; Desempenho Mecânico, Intensidade de Ligante.

**Abstract.** In recent years Brazil has witnessed major accidents involving iron ore dams that have highlighted the risks of these structures and the demand for alternative solutions for these wastes. On the other hand, civil construction stands out due to the annual consumption of billions of tons of aggregates for use in cementitious composites. The extraction of these aggregates leads to significant changes in the environment. Thus, this work evaluated the performance of concrete produced with replacement of up to 50% of the fine aggregate by tailings from an iron ore dam (RBMF). The concretes were evaluated in terms of their mechanical performance (compressive and tensile strength at 3, 7 and 28 days of age), environmental impact (through the intensity of binders) and cost per cubic meter for their manufacture. The replacement of the fine aggregate by RBMF allowed an increase in the mechanical performance of the concretes for all ages analyzed, with the concretes with RBMF at the age of 28 days being up to 43% more resistant to compression when compared to the reference ones. It was also observed that the incorporation of RBMF reduces the binder intensity of the mixtures and that these have a production cost equivalent to the conventional one. These results demonstrate the feasibility of replacing conventional fine aggregate by RBMF in up to 50%.

**Keywords:** Iron Ore Dam Tailings; Concrete; Mechanical Performance; Binder Intensity

## 9. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o aumento na geração de resíduos sólidos pelo setor da mineração tem motivado reflexões a respeito da sustentabilidade de seus processos. A mineração de ferro tem grande