APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA CONSTRUÇÃO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL: O CASO DA VILA RECICLOS

Utilization of industrial waste in the construction of social housing: the case of Vila Reciclos

Felipe Fontenelle Pittella
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | felipe.pittella@aluno.ufop.edu.br

Lucas Rhuan Prudente
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | lucas.prudente@aluno.ufop.edu.br

Douglas Mol Resende
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | douglas.mr@aluno.ufop.edu.br

Bárbara Lia Pires Barbosa
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | barbara.pires@aluno.ufop.edu.br

Ricardo André Fiorotti Peixoto
Universidade Federal de Ouro Preto | Ouro Preto, Minas Gerais | ricardofiorotti@ufop.edu.br

Resumo

A Vila Reciclos é um projeto habitacional sustentável localizado na Universidade Federal de Ouro Preto que demonstra a viabilidade do uso de resíduos industriais na construção civil. Constituída por quatro casas geminadas, aplica princípios bioclimáticos para conforto térmico e eficiência energética. Incorporou resíduos da siderurgia e mineração, como escória de aciaria, rejeitos de barragem, arenoso de minério de ferro e rejeitos de quartzito. Blocos estruturais de alvenaria produzidos com agregados de escória de aciaria apresentaram desempenho mecânico superior aos convencionais. Ladrilhos hidráulicos e tintas sustentáveis, feitos a partir de rejeitos de barragens de minério de ferro, combinam estética, baixo custo e menor impacto ambiental. Blocos intertravados foram fabricados substituindo-se 50% da areia convencional por rejeito arenoso de minério, garantindo durabilidade para pavimentação. O projeto destaca-se pela inovação em práticas sustentáveis, contribuindo para a economia circular e servindo como referência para iniciativas futuras na construção civil.

Palavras-chave: Construção sustentável. Resíduos industriais. Economia circular. Materiais ecológicos. Habitação social.

ABSTRACT

Vila Reciclos is a sustainable housing project located at the Federal University of Ouro Preto, demonstrating the feasibility of using industrial waste in civil construction. Comprising four semi-detached houses, it applies bioclimatic principles for thermal comfort and energy efficiency. The project incorporated waste from steelmaking and mining, including steel mill slag, dam tailings, iron ore sand, and quartzite tailings. Structural masonry blocks produced with steel mill slag aggregates showed superior mechanical performance compared to conventional ones. Hydraulic tiles and sustainable paints, made from iron ore dam tailings, combine aesthetics, low cost, and reduced environmental impact. Interlocking blocks were manufactured by replacing 50% of conventional sand with iron ore sand tailings, ensuring durability for paving. The project stands out for its innovation in sustainable practices, contributing to the circular economy and serving as a reference for future initiatives in civil construction.

Keywords: Sustainable construction. Industrial waste. Circular economy. Eco-friendly materials. Social housing.

1. INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é uma das principais responsáveis pela degradação ambiental, dado o elevado consumo de recursos naturais e geração de grandes quantidades de resíduos. Em 2020, estima-se que esse setor no Brasil tenha produzido cerca de 80 milhões de toneladas de resíduos, muitos dos quais são descartados inadequadamente, representando um grande desafio (ABRELPE, 2020). Dentre os resíduos gerados pela indústria, destacam-se a escória de aciaria, rejeitos de minério de ferro e quartzito. O reaproveitamento desses resíduos sólidos na construção civil tem se mostrado uma solução promissora, oferecendo alternativas sustentáveis para mitigar os impactos ambientais e otimizar o uso de recursos naturais (Sang, 2010; Halliday, 2018; Santos *et al*., 2019).

A literatura sobre o reaproveitamento de resíduos industriais discute as vantagens do seu uso na produção de materiais de construção, como blocos de concreto, revestimentos e pavimentação (GOMES E SILVA, 2021; NGUYEN *et al*., 2024; Costa *et al*., 2024). Contudo, apesar dos estudos que destacam os benefícios dessas alternativas, há uma lacuna significativa quanto à implementação prática e em larga escala dessas soluções, especialmente em habitações de interesse social (Almeida *et al*., 2017; Ferreira *et al*., 2019). De acordo com o IBGE (2021), cerca de 7,5 milhões de brasileiros ainda vivem em condições precárias de moradia, representando uma grande oportunidade para aplicar tecnologias sustentáveis na construção de novas habitações (Costa *et al*., 2017).

Desta forma, este artigo visa preencher essa lacuna ao apresentar um estudo de caso sobre uma vila construída com o reaproveitamento de resíduos industriais, como escória de aciaria, quartzito e rejeitos de minério de ferro, buscando demonstrar o potencial técnico e ambiental desses materiais na construção de soluções mais sustentáveis e eficientes para a habitação social.

2. APRESENTAÇÃO DA VILA SUSTENTÁVEL

A Vila Reciclos é um conjunto habitacional sustentável, desenvolvida para demonstrar a viabilidade da incorporação de resíduos industriais na construção civil. Localizada na Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil, a Vila é composta por quatro casas organizadas em dois pares de unidades geminadas, projetadas para abrigar famílias de 1 a 4 ocupantes. Com um desenho arquitetônico baseado em princípios bioclimáticos, as edificações foram planejadas para oferecer conforto térmico com mínimo consumo energético. Além disso, a construção utilizou alvenaria estrutural, um dos métodos mais comuns na habitação social brasileira, permitindo a aplicação das técnicas tradicionais de construção (Bodach; Hamhaber, 2010; Sabbatini, 2003). O grande diferencial da Vila Reciclos está na substituição completa dos agregados naturais nos compósitos cimentícios – incluindo concretos, argamassas e blocos de alvenaria – por escória de siderurgia. A Figura 1 apresenta uma fotografia atual da Vila.

Figura 1: Vila Reciclos.



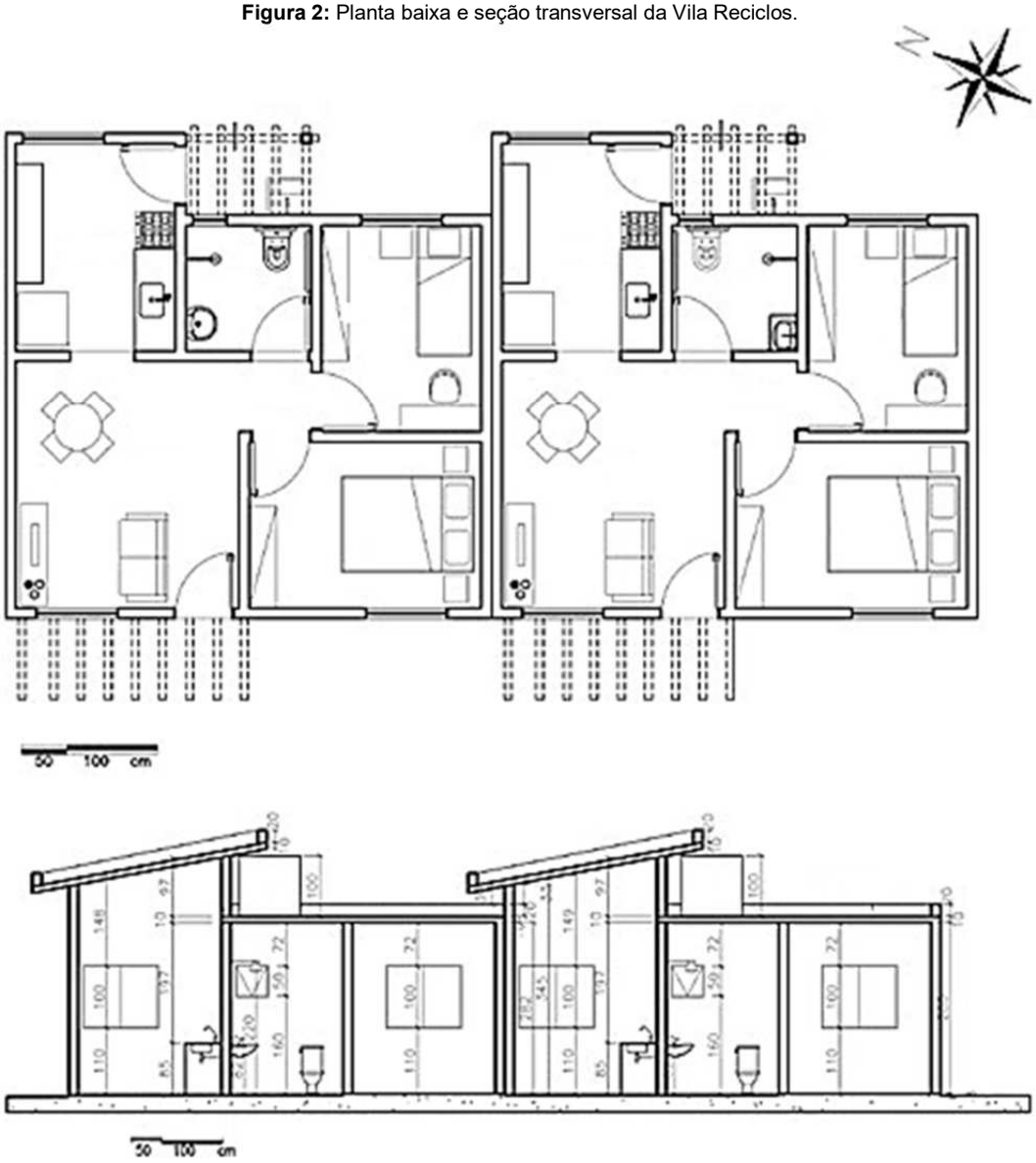
O projeto arquitetônico da Vila Reciclos foi desenvolvido com foco na otimização construtiva, visando a economia de materiais e a simplificação da execução da obra. Para isso, as instalações hidráulicas foram concentradas em um único

núcleo, facilitando sua instalação e manutenção. A partir dessa decisão, os demais cômodos foram organizados de forma a otimizar o espaço e reduzir custos com as redes hidráulica e de esgoto.

Para racionalizar o processo construtivo, adotou-se a alvenaria estrutural, um sistema que minimiza o desperdício de materiais e contribui para a maior durabilidade da edificação (Curtin, *et al*., 2008; Hendry, 2001). O projeto seguiu as prescrições de modulação da alvenaria, respeitando as dimensões dos blocos.

O complexo habitacional é composto por dois pares de casas geminadas, cada uma com 45,7 m². Cada unidade habitacional conta com sala de estar, cozinha, banheiro, dois quartos e uma área de serviço externa (Franco *et al*., 2019). A Figura 2 apresenta o projeto em planta baixa e seção transversal.

Figura 2: Planta baixa e seção transversal da Vila Reciclos.



Fonte: Franco *et al*., 2019.

Em sua alvenaria, foram utilizados blocos vazados de concreto onde os agregados naturais foram substituídos por escória siderúrgica. Os blocos foram assentados com juntas de argamassa verticais e horizontais de 1 cm de espessura. As paredes receberam revestimento em ambos os lados, composto por chapisco e argamassa de acabamento, totalizando 2,5 cm de espessura. Todas as coberturas seguiram um padrão de laje de concreto com 15 cm de espessura, enquanto a fundação também foi executada em laje de concreto, com 20 cm de espessura (Franco *et al*., 2019). Seguindo o mesmo método construtivo, também foram edificados galpões que funcionam como laboratórios de materiais de construção, atendendo às atividades de ensino e pesquisa dos cursos de graduação e pós-graduação.

Os ladrilhos hidráulicos foram desenvolvidos com a incorporação de rejeitos de minério de ferro (RBMF), utilizados como pigmento e como agregado miúdo (Fontes *et al*., 2021). Também utilizando RBMF como pigmento, foram elaboradas tintas sustentáveis, conferindo coloração natural sem a necessidade de corantes sintéticos (Galvão *et al*., 2018). Por fim, os blocos intertravados de concreto, para pavimentação da via de acesso ao complexo, foram produzidos substituindo 50%

de areia industrial por rejeito arenoso de minério de ferro (RAMF) (Resende *et al*., 2023). A Figura 3 apresenta imagens das matérias-primas utilizadas na confecção desses materiais.

Figura 3: Matérias-primas de rejeitos, (a) escória de siderugia, (b) RBMF e (c) RAMF



(a) (b) (c)

3. APLICAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS

3.1. BLOCOS DE ALVENARIA

Os blocos de concreto vazados utilizados na alvenaria estrutural da Vila Reciclos possuem seus agregados graúdos e miúdos integralmente substituídos por agregados de escória de aciaria. Essa substituição contribui para a sustentabilidade em duas frentes: reduz a necessidade de extração e beneficiamento de agregados convencionais e viabiliza o aproveitamento de resíduos da indústria siderúrgica. Os blocos de concreto foram pré-moldados e fabricados por uma empresa certificada pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), localizada em Belo Horizonte, Brasil. A escória de aço empregada na sua produção foi fornecida por uma siderúrgica que adota o processo de aciaria a arco elétrico, gerando como resíduo a escória de aço de arco elétrico (Januzzi *et al*., 2019).

Em relação à resistência mecânica, os blocos submetidos a ensaios de compressão apresentaram um desempenho satisfatório, com resistência média à compressão de 17,6 MPa (Januzzi *et al*., 2019), valor significativamente superior ao mínimo exigido pela norma brasileira para blocos estruturais, de 6,0 MPa (ABNT, 2014). Dessa forma, sua aplicação se mostrou vantajosa, pois atende aos requisitos estruturais e promove a sustentabilidade ao incorporar resíduos industriais na construção civil. A Figura 4 apresenta uma parede da Vila Reciclos construída com esses blocos de escória, evidenciando sua aplicação na estrutura das edificações.

Figura 4: Parede de blocos de escória



3.2. LADRILHOS HIDRÁULICOS

Os ladrilhos hidráulicos utilizados nas habitações da Vila Reciclos foram desenvolvidos com a incorporação de resíduos em sua matriz, alinhando-se à crescente conscientização ecológica do mercado consumidor. Para sua fabricação, foram utilizados escória da siderurgia, quartzito e rejeitos de barragem de minério de ferro (RBMF), coletados de uma barragem localizada no estado de Minas Gerais, Brasil (Fontes *et al*., 2021).

Na composição dos ladrilhos, o RBMF substituiu os agregados miúdos convencionais (partículas menores que 300 µm), enquanto a argila de RBMF foi empregada na formulação de pigmentos, em substituição aos tradicionais. Os ladrilhos resultantes apresentaram variações sutis de tonalidade entre os diferentes pigmentos à base de RBMF. Essas diferenças estão diretamente relacionadas à presença de compostos de ferro em distintas quantidades e estruturas cristalinas (Fontes *et al*., 2021). No entanto, essa variação cromática não representa uma limitação, mas sim uma vantagem, pois acompanha uma tendência de mercado crescente: a valorização de pigmentos sustentáveis, ambientalmente atrativos.

Além da estabilidade de cor, os ladrilhos hidráulicos demonstraram características físicas e mecânicas adequadas, evidenciando o potencial dos rejeitos de minério de ferro como matéria-prima viável para aplicações na construção civil. A Figura 5 apresenta uma parede de uma das habitações da Vila Reciclos revestida com os ladrilhos hidráulicos produzidos a partir dos rejeitos de minério de ferro, escória siderúrgica e quartzito.

Figura 5: Parede com ladrilhos hidráulicos



3.3. TINTAS SUSTENTÁVEIS

Assim como os ladrilhos hidráulicos, a tinta sustentável incorporou rejeitos de minério de ferro (RBMF) em sua composição. A variação dos tipos de ligantes e do teor de RBMF em cada mistura permitiu a obtenção de diversas tonalidades de vermelho e marrom, além de diferentes texturas. Um aspecto relevante é que aproximadamente 90% das partículas de RBMF analisadas possuem tamanho inferior a 46 µm (Galvão *et al*., 2018), visto que as partículas de pigmento devem ser menores que 50–70 µm para não serem visíveis individualmente ou formarem manchas na tinta (Oil and Colour Chemists Association of Australia, 1993). Dessa forma, o RBMF em seu estado natural já atende a esse requisito, eliminando a necessidade de cominuição e tornando o processo de produção das tintas ainda mais sustentável.

Em termos de custo por unidade de área, as tintas sustentáveis demonstram excelente custo-benefício, pois apresentarem desempenho técnico semelhante às tintas comerciais e seu valor por metro quadrado corresponde, em média, a apenas 12,5% do custo das tintas convencionais (Galvão *et al*., 2018). O uso do RBMF como pigmento para tintas revela um grande potencial, aliando desempenho adequado e baixo custo, com um processamento mínimo. Além disso, a tinta sustentável se destaca como uma expressão ambiental visível. Seguindo esses princípios, a Vila Reciclos aplicou a tinta sustentável em algumas de suas paredes, como ilustrado na Figura 6.

Figura 6: Parede pintada com tinta sustentável



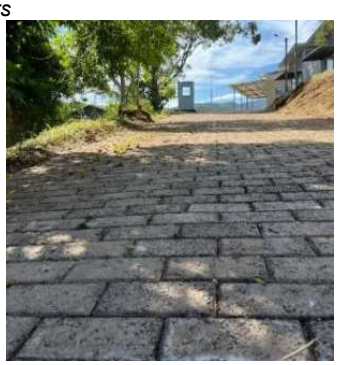
3.4. BLOCOS INTERTRAVADOS

Os blocos intertravados produzidos com 50% de substituição da areia britada por rejeitos arenosos de minério de ferro (RAMF) foram utilizados na pavimentação do acesso à Vila Reciclos e de sua área externa. O RAMF foi empregado tanto na produção dos blocos intertravados quanto na disposição da camada de assentamento dos mesmos na Vila Reciclos. O RAMF apresentou densidade aparente e massa específica semelhantes às da areia de rio convencional. Além disso, os pavers apresentaram resistência à compressão compatível com a aplicação em pavimentos intertravados destinados a tráfego comercial e pesado, atingindo uma resistência média de 43,4 MPa (RESENDE *et al*., 2023). A eficácia desse material foi comprovada na Estrada da Purificação, uma via de 7,5 km que conecta diretamente a sede do município de Ouro Preto à MG-129, no distrito de Antônio Pereira. A seguir, são apresentadas a Estrada da Purificação, Figura 7a, e a pavimentação da Vila Reciclos, Figura 7b.

Figura 7: Aplicação dos *pavers*



(a) Estrada da Purificação



(b) Pavimentação da Vila Reciclos

4. CONCLUSÃO

A Vila Reciclos, localizada na Universidade Federal de Ouro Preto, é um exemplo para os estudantes da instituição e sociedade da aplicação de pesquisas científicas em prol da sustentabilidade e responsabilidade social. O projeto comprova que resíduos industriais da mineração e siderurgia podem substituir recursos naturais sem comprometer a qualidade das edificações. A escória siderúrgica substituiu agregados naturais nos blocos de alvenaria, enquanto rejeitos de minério de ferro foram utilizados na fabricação de ladrilhos, tintas e pavers, reduzindo o descarte inadequado e agregando valor ambiental. A produção desses materiais mostrou o potencial dos rejeitos para aplicações estruturais e urbanísticas. Com um conceito arquitetônico racional, a Vila Reciclos surge como um modelo de habitação social sustentável, integrando práticas de economia circular na construção civil. Este projeto reafirma a viabilidade da reutilização de resíduos industriais

como estratégia para reduzir impactos ambientais, promover a sustentabilidade e reduzir custos, consolidando-se como alternativa promissora para o desenvolvimento urbano sustentável.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Grupo de Pesquisa em Resíduos Sólidos (RECICLOS-CNPq), à Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP), à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) – Código de Financiamento 001, pelo apoio institucional, técnico e financeiro concedido ao desenvolvimento deste trabalho e à formação dos pesquisadores envolvidos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. NBR 6136**: Blocos vazados de concreto simples para alvenaria estrutural. Rio de Janeiro, 2014.

ALMEIDA, A.D.; MOTA, L.A.; OLIVEIRA, J.F. Challenges and opportunities in large-scale implementation of industrial waste reuse in construction: A case study. **Waste Management**, v. 68, p. 48-57. 2017. DOI: 10.1016/j.wasman.2017.05.030.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). (2020). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. ABRELPE. Disponível em: www.abrelpe.org.br. Acesso em: 26 de fev. 2025.

BODACH, S.; HAMHABER, J. Energy efficiency in social housing: Opportunities and barriers from a case study in Brazil. **Energy Policy,** 38(12), 7898–7910. 2010.

COSTA, A.D.; FERREIRA, J.M.; CASTRO, A.P. Benefits of using industrial by-products in the construction industry: A sustainable approach. Resources, **Conservation and Recycling**, v. 116, p. 17-26. 2017. DOI: 10.1016/j.resconrec.2016.09.010.

COSTA, L.C.B. *et al.,* Utilizing steel slag to prolong the durability of reinforced concrete: Corrosion resistance mechanisms. **Journal of Building Engineering.** 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111505.

CURTIN, W. G. *et al.,* Easterbrook, D. Structural masonry designers' manual (3rd ed.). John Wiley & Sons. 2008.

FERREIRA, S.S.; GOMES, J.A.; CARVALHO, F.R. Challenges of implementing industrial waste recycling in affordable housing projects: A case in Brazil. **Journal of Cleaner Production,** v. 222, p. 117-129. 2019. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.130.

FONTES, W.C. *et al.,* Hydraulic Tiles Produced with Fine Aggregates and Pigments Reclaimed from Iron Ore Tailings. **Journal of Sustainable Metallurgy**, v. 7, p. 151–165, 2021. DOI: 10.1007/s40831-020-00329-9.

FRANCO, L.C. *et al.,* Design and thermal evaluation of a social housing model conceived with bioclimatic principles and recycled aggregates. **Sustainable Cities and Society,** v. 51, p. 101725, 2019. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101725.

GALVÃO, J.L.B. *et al.,* Reuse of iron ore tailings from tailings dams as pigment for sustainable paints. **Journal of Cleaner Production**, v. 200, p. 412-422. 2018. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.07.313.

GOMES, F.A.; SILVA, M.P. Utilização de escória de aciaria na produção de materiais para construção civil: uma revisão. **Revista Brasileira de Engenharia e Construção,** 18(3), 55-72. 2021. DOI: https://doi.org/10.1234/rbec.2021.0038.

HALLIDAY, J.M. Environmental Impacts of the Construction Industry. 1. ed. New York: Springer, 2018.

HENDRY, E. A. Masonry walls: Materials and construction. **Construction and Building Materials,** 15(8), 323–330. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2021). Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua – PNAD Contínua. IBGE. Disponível em: www.ibge.gov.br. Acesso em: 26 de fev. 2025.

JANUZZI, R. V. *et al.,* Study of the Mechanical Behavior of Prisms Composed by Two Blocks Produced with Electrical Steel Slag for Structural Masonry. **Masonry International**, v. 31, n. 3, 2019.

NGUYEN, C.T. *et al.,* Factors affecting compressive strength of steel slag concrete: A systematic literature review. **Journal of Building Engineering**. 2024. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2024.111686.

OIL AND COLOUR CHEMISTS ASSOCIATION OF AUSTRALIA, 1993. Surface Coatings: Volume I - Raw Materials and Their Usage, 3a ed. Springer Science þ Business Media. s.l.

RESENDE, D.M. *et al.,* Technical assessment of the use of iron ore sandy tailings as fine aggregate for interlocking paving blocks. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES – NOCMAT, 19., 2023, João Pessoa.

SABBATINI, F. (2003). Structural masonry: Materials, execution and technological control. Rio de Janeiro: CAIXA Econômica Federal in Portuguese.

SANG, K.P. Construction Waste Generation and Minimization in the Construction Industry. **Journal of Construction Engineering and Managem**ent, v. 136, n. 3, p. 298-305. 2010. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000179.

SANTOS, J.M.; OLIVEIRA, R.L.; FERREIRA, C.D. Potencial de reaproveitamento de resíduos industriais na construção civil. **Revista de Engenharia Sustentável**, 14(2), 45-60. 2019. DOI: https://doi.org/10.5678/ress.2019.0045.