

doi <https://doi.org/10.18265/2447-9187a2024id8268>
ARTIGO ORIGINAL

SUBMETIDO 06/01/2024

APROVADO 10/06/2024

PUBLICADO ON-LINE 29/06/2024

VERSÃO FINAL DIAGRAMADA 12/08/2025

EDITORA ASSOCIADA

Profa. Dra. Ane Cristine Fortes da Silva

Viabilidade financeira preliminar da produção de briquetes com pó de balão siderúrgico

RESUMO: A busca por modelos de produção mais sustentáveis está entre as principais prioridades para mitigar impactos ambientais negativos. Essa preocupação decorre do ritmo acelerado da produção industrial, impulsionado pela necessidade de atender às demandas do mercado consumidor. O pó de balão, um subproduto proveniente do alto-forno recuperado pelo sistema de limpeza de gases na indústria siderúrgica, apresenta uma oportunidade de reutilização sustentável. Uma aplicação potencial para esse resíduo é seu uso na produção de briquetes, servindo como biocombustível. Este estudo teve como objetivo simular a viabilidade financeira desse processo por meio da análise dos custos associados à produção na região estudada. Foram realizadas análises de viabilidade, sensibilidade e riscos. Os resultados indicam que a produção de briquetes a partir do pó de balão é um investimento viável, com um *payback* estimado de 5,4 anos e baixo risco, dado que a probabilidade de viabilidade é de 85,99%. Os cálculos de valor presente líquido (VPL) e análises de sensibilidade realizadas para a região de Sete Lagoas, Minas Gerais (MG), Brasil, reforçam a alta probabilidade de viabilidade financeira.

Palavras-chave: briquetes; carvão vegetal; ferro-gusa; pó de balão; resíduos siderúrgicos.

 Isabella Carolina de Almeida ^[1]

 Marina Donária Chaves Arantes ^[2]

 Talita Baldin ^[3] *

 Renato Vinícius Oliveira Castro ^[4]

 Glauciana da Mata Ataíde ^[5]

 Edy Eime Pereira Baraúna ^[6]

[1] ibellacarolinaa@gmail.com

[2] mdonariac@ufsj.edu.br

[4] renatocastro@ufsj.edu.br

[5] glauciana@ufsj.edu.br

Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de São João del-Rei (UFSJ), Sete Lagoas, Minas Gerais, Brasil

[3] talita.baldin@hotmail.com

[6] ebarauana@ica.ufmg.br

Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Montes Claros, Minas Gerais, Brasil

* Autor para correspondência.

Preliminary financial feasibility of briquette production with steelmaking balloon dust

ABSTRACT: The search of more sustainable production models is among the main priorities for mitigating negative environmental impacts. This concern stems from the accelerated pace of industrial production, driven by the need to meet the demands of the consumer market. Balloon dust, a by-product from the blast furnace recovered through the gas-cleaning system in the steel industry, presents an opportunity for sustainable reuse. One potential application for this residue is its use in briquette production, serving as biofuel. The aim of this study was to simulate the financial feasibility of this process by analyzing the



costs associated with production in the studied region. Feasibility, sensitivity, and risk analyses were conducted. The results indicate that briquette production from balloon dust is a viable investment, with an estimated payback period of 5.4 years and low risk, given that the probability of feasibility is 85.99%. The net present value (NPV) calculations and sensitivity analyses conducted for the region of Sete Lagoas, Minas Gerais (MG), Brazil, reinforce the high likelihood of financial viability.

Keywords: balloon dust; briquettes; charcoal; pig iron; steel waste.

1 Introdução

O crescimento exponencial da população mundial tem impulsionado o aumento do consumo de bens e serviços, impondo desafios às empresas para a rápida comercialização de produtos e intensificando a competitividade no mercado. Esse cenário, entretanto, tem desviado a atenção de questões cruciais, como saúde, bem-estar da população e preservação ambiental. O atual modelo de produção contribui para o aumento da demanda por matéria-prima, resultando no consumo desenfreado de recursos naturais e na geração significativa de resíduos, refletindo uma abordagem predominantemente financeira na gestão empresarial.

O aço, essencial para diversos setores, como construção civil, utensílios domésticos, transporte e energia, desempenha um papel fundamental na economia global, sendo um notável consumidor de recursos florestais. O Brasil, um dos principais produtores mundiais, atingiu, em 2020, a marca de 31,4 milhões de toneladas de aço bruto, ocupando a nona posição mundial (Instituto Aço Brasil, [202-?]). A produção ocorre por duas principais rotas: integrada, na qual o minério de ferro é reduzido e posteriormente refinado e laminado, e semi-integrada, que envolve a fusão e o refino do ferro-gusa.

Segundo Rizzo (2005), o ferro-gusa é obtido a partir da combinação de carga metálica, fundentes e combustíveis, como carvão vegetal ou mineral, sendo uma etapa essencial na produção semi-integrada de aço. Esse material é formado no processo de redução do ferro em alto-forno, gerando, além do ferro-gusa, resíduos como escória, gases, pós e lamas (Lopes, 2009).

A gestão dos resíduos gerados nas siderúrgicas representa um desafio, desde o armazenamento até a destinação, devido à considerável produção em larga escala. Além disso, a legislação vigente exige cuidados específicos quanto ao manejo desses materiais. O cenário atual evidencia a dificuldade das empresas não apenas na destinação dos resíduos, mas também na geração de valor a partir deles. Frequentemente, os resíduos são doados, desperdiçando a oportunidade de reutilização e reduzindo o impacto socioambiental e econômico da atividade siderúrgica.

Com uma produção diária elevada de ferro-gusa, aproximadamente 280 toneladas são geradas diariamente em fornos a carvão vegetal, conforme dados obtidos em campo. Informações da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável de Minas Gerais (Minas Gerais, 2024) indicam que o setor siderúrgico foi responsável pela geração de quase 6 milhões de toneladas de resíduos no estado em 2022.

O pó de balão, um resíduo siderúrgico, é composto principalmente por carvão vegetal e finos de minério, contendo elementos como carbono, ferro, silício e outros componentes químicos, cujas concentrações variam conforme a matéria-prima utilizada

na produção do ferro-gusa. Esse resíduo é coletado do alto-forno pelo sistema de despoeiramento, apresentando uma produção que pode variar de 10 kg/t a 80 kg/t de ferro-gusa (Malard, 2009). Dependendo da capacidade do forno e dos métodos de produção empregados, a geração mensal pode alcançar aproximadamente 450 t (Arcelor Mittal, 2022), tornando essencial a adoção de estratégias eficientes para sua gestão.

Estudos destacam a aplicabilidade do pó de balão em diversos setores, como a indústria de cimento e cerâmica, a produção de pigmentos, o tratamento de águas residuais, a agricultura, a sinterização e a fabricação de briquetes (Baidya; Ghosh; Parlikar, 2019; Campolina *et al.*, 2023; Castro *et al.*, 2016; Chaves; Oliveira, 2020; Ferreira; Reis; Lima, 2015; Magalhães *et al.*, 2011; Silva, 2016).

Considerando a significativa influência do setor florestal na economia global, a reavaliação dos métodos de produção torna-se essencial para otimizar o uso de matérias-primas e promover a redução e reutilização de resíduos. Essa abordagem busca minimizar os impactos socioambientais e financeiros inerentes ao setor siderúrgico. Nesse contexto, a briquetagem destaca-se como uma estratégia promissora, ao agregar valor a resíduos industriais. Esse processo consiste na compactação do resíduo sob altas pressões e temperaturas, resultando no aprimoramento de suas propriedades energéticas. Ressalta-se que 1 m³ de briquete pode conter pelo menos cinco vezes mais energia do que 1 m³ de resíduo não processado, considerando a densidade a granel e o poder calorífico médio desses materiais (Quirino, 1991).

Diante das oportunidades apresentadas, este estudo tem como objetivo aprofundar a compreensão sobre a viabilidade financeira da reutilização do pó de balão pelas siderúrgicas, especialmente por meio da produção de briquetes. O intuito é fornecer subsídios para decisões estratégicas no contexto da gestão sustentável de resíduos siderúrgicos, promovendo uma abordagem circular à produção de ferro-gusa.

O presente artigo está estruturado em distintas seções. Na seção 2, são descritos os métodos empregados nas estimativas e simulações realizadas. Em seguida, na seção 3, são apresentados os resultados das análises financeiras, que visam estimar a viabilidade da produção de briquetes a partir do pó de balão siderúrgico. A seção 4 traz a discussão dos resultados com base em fundamentos científicos. Por fim, a seção 5 apresenta as conclusões do estudo.

2 Material e métodos

Para a fundamentação do estudo, foi realizada uma análise situacional, seguida da identificação e quantificação dos custos associados à produção de briquetes de pó de balão. Posteriormente, foram selecionados métodos de análise e aplicadas ferramentas estatísticas para a interpretação dos resultados. Esta seção apresenta, de forma detalhada, os dados, critérios e a metodologia adotada para a condução da pesquisa.

2.1 Considerações iniciais e abrangência da pesquisa

O estudo foi categorizado como pesquisa exploratória, com o objetivo de investigar a viabilidade da aplicação de um resíduo na produção de biocombustível. Para atingir esse propósito, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre a produção de briquetes utilizando o pó de balão siderúrgico como matéria-prima. Além disso, foram consultados documentos pertinentes à implementação e operação de uma unidade fabril na região

de Sete Lagoas, Minas Gerais (MG), Brasil. A pesquisa também foi caracterizada como aplicada e quantitativa, incorporando métodos e ferramentas de análise financeira para abordar, de maneira sistemática, questões relacionadas a investimentos.

Durante o período de janeiro a julho de 2022, foi realizado o levantamento do potencial volumétrico do pó de balão gerado mensalmente em três indústrias siderúrgicas localizadas no município de Sete Lagoas (MG). O monitoramento foi conduzido por um período de cinco meses em cada uma das indústrias, identificando-se uma média diária de 9,8 toneladas desse resíduo em instalações com uma produção média de 280 toneladas de ferro-gusa. Com base nesses dados, foram realizados cálculos para determinar os custos de produção do briquete, os investimentos iniciais, fixos e variáveis necessários para a análise de viabilidade financeira, incluindo custos com mão de obra, depreciação, consumo de energia elétrica, uso de água e requisitos de embalagem. Os valores relativos aos investimentos foram obtidos mediante a solicitação de orçamentos a empresas especializadas em diversas áreas, como manutenção de máquinas, fornecimento de água e energia, entre outras essenciais ao processo produtivo. As informações utilizadas nas análises de viabilidade e sensibilidade estão detalhadas nas subseções subsequentes.

2.2 Custo de produção dos briquetes à base de pó de balão

Considerando que o investimento destinado à produção de briquetes seria efetuado pelas próprias empresas do setor siderúrgico, a análise de viabilidade de fabricação foi conduzida com a exclusão dos custos associados à matéria-prima principal, o pó de balão, assim como os custos de transporte desse material. Além disso, na composição dos custos de pessoal, foram considerados apenas os valores referentes ao setor de produção. Impostos sobre a comercialização dos briquetes também foram desconsiderados, uma vez que esses produtos poderiam ser utilizados pelas próprias empresas fabricantes. As variáveis empregadas no cálculo, bem como seus valores de referência, estão resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 ▶

Valores utilizados no cálculo de viabilidade financeira.

Fonte: dados da pesquisa, obtidos por consultas locais no município de Sete Lagoas (MG)

Parâmetros	Valor de referência
Local – Aluguel do espaço (R\$ por mês)	R\$ 19.700,00
Maquinário (R\$)	R\$ 1.715.305,20
Manutenção e depreciação do maquinário (R\$ por tonelada de pó de balão)	R\$ 15,92
Mão de obra (R\$ por mês)	R\$ 33.637,98
Aglutinante (R\$ por tonelada de pó de balão)	R\$ 100,00
Água + Energia elétrica (R\$ por tonelada de briquete)	R\$ 36,10
Embalagens (R\$ por embalagem com capacidade para 100 kg)	R\$ 3,11
Valor dos briquetes para compra (R\$ por tonelada)	R\$ 420,00

2.2.1 Local de operação

Entre os custos associados à implementação da produção de briquetes, destaca-se o investimento inicial no local de operação. Conforme indicado na Cartilha do Sinduscon-MG (2007) “Custo Unitário Básico (CUB/m²): Principais Aspectos”, que

utiliza como referência a NBR 12721 (ABNT, 2006), um galpão destinado à indústria de briquetes deve possuir uma área construída de 1.000 m², destinada ao armazenamento dos briquetes e à instalação do maquinário. Segundo informações do relatório “First Look Industrial” da Jones Lang LaSalle (JLL), citado por Genoma Imobiliário (2021), o preço médio de locação de galpões atingiu R\$ 19,70 por metro quadrado ao mês no segundo trimestre de 2021. Assumindo esse valor como referência, o custo mensal estimado para o aluguel do galpão seria de R\$ 19.700,00.

2.2.2 Maquinário

Segundo Tosta e Pereira (2018), os investimentos em equipamentos e maquinários necessários para a produção de briquetes totalizam R\$ 1.715.305,20. Em relação aos custos de manutenção e depreciação, estimam-se valores de, respectivamente, R\$ 5,64 e R\$ 10,28 por tonelada de briquetes produzida, conforme informações da Biomax ([202-?]). Os equipamentos considerados incluem a briquetadeira B 95/210R e o secador B 18000, ambos com capacidade produtiva de 2 ton/h. Segundo a mesma fonte, a produção mensal desses equipamentos é de 331 toneladas.

2.2.3 Mão de obra

Conforme orientações do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae, 2010), a operação da empresa demandará entre quatro e sete funcionários na área de produção. Considerando uma média salarial de R\$ 1.800,00 para sete colaboradores de produção e R\$ 7.516,00 para um engenheiro de produção, valores obtidos mediante consulta a sites especializados em busca de empregos, e incluindo uma taxa de 67,22% referente a encargos sociais, conforme o Guia Trabalhista (2024) para uma empresa não optante pelo Simples, com funcionários mensalistas, a estimativa de custo total com mão de obra é de R\$ 33.637,98 mensais.

2.2.4 Aglutinante

Segundo Dias *et al.* (2012), mais de 50 ligantes, tanto orgânicos quanto inorgânicos, podem ser utilizados no processo de compactação. No Brasil, destacam-se o amido de milho, o alcatrão vegetal, o melaço de cana-de-açúcar, a fécula de mandioca e resinas sintéticas. Han, Duan e Yuan (2014) verificaram que a combinação de amido de milho e silicato de sódio na proporção de 2/1, utilizada em 2%, é eficiente na produção de briquetes. Robetti (2013) utilizou a relação de 1/1 entre amido de milho e bentonita, adicionando 5% em massa no briquete. O custo desse aglutinante é de aproximadamente R\$ 3,80 por quilograma. Para fins de análise de viabilidade, foi adotado o valor médio de R\$ 100,00 por tonelada de briquete, com base em pesquisas de campo e revisões bibliográficas.

2.2.5 Água e energia elétrica

O custo referente à energia consumida pelos equipamentos na produção de uma tonelada de briquete, conforme a Biomax ([202-?]), é de R\$ 35,18, considerando o valor

de mercado da energia elétrica na região de estudo. Quanto ao consumo de água para o resfriamento dos equipamentos, estimado em 250 litros por hora (Tosta; Pereira, 2018), o custo associado é de R\$ 0,92 por tonelada de briquete, com base na tarifa média de R\$ 7,33 por metro cúbico praticada pelo Serviço Autônomo de Água e Esgoto na região de estudo (SAAE SACRAMENTO, [202-?]).

2.2.6 Embalagem

Na etapa final do processo, prevê-se a utilização de sacos de rafia com capacidade para 100 kg. Com base em consultas a fornecedores especializados, verificou-se que o custo médio por unidade é de R\$ 6,27. Caso a empresa utilize os briquetes para consumo próprio, esse custo pode ser eliminado.

2.2.7 Valor do briquete

Com base em levantamentos realizados com empresas produtoras de briquetes de pó de balão na região de Sete Lagoas, o preço médio de venda do produto é de R\$ 420,00 por tonelada.

2.3 Análises de viabilidade financeira

Com base nos valores mencionados, foram conduzidas análises abrangentes de viabilidade financeira, sensibilidade e riscos do projeto. A avaliação de viabilidade financeira foi realizada por meio do Valor Presente Líquido (VPL), calculado como a diferença entre a soma das médias das receitas acumuladas e a soma das médias dos custos acumulados, ambas ajustadas por uma taxa de juros de 0,8% ao mês ao longo do período. Dessa forma, foi determinado o tempo de retorno do capital investido (*payback*).

No estudo de viabilidade, foi realizada uma análise de sensibilidade para avaliar a volatilidade no retorno do investimento. Algumas variáveis críticas de custo (mão de obra, água, energia elétrica e preço do aglutinante) e de receita (preço do briquete) foram modificadas em $\pm 30\%$. Durante esse processo, os demais valores utilizados nos cálculos foram mantidos constantes, a fim de avaliar o impacto individual de cada variável sobre o investimento. No caso do aglutinante, a análise de sensibilidade contemplou uma variação de preço entre R\$ 0,00 e R\$ 450,00.

Após a análise de sensibilidade, foi realizada uma avaliação de riscos baseada na abordagem de Monte Carlo (Angelotti *et al.*, 2008). Nesse contexto, todas as variáveis previamente investigadas foram simultaneamente submetidas a variações de $\pm 30\%$, gerando diferentes cenários de viabilidade. Um total de 6.000 combinações foi simulado para determinar as probabilidades de lucro e prejuízo associadas ao investimento na produção de briquetes de pó de balão.

3 Resultados

Com base no levantamento de dados, estimou-se que o montante necessário para o investimento na produção de briquetes de pó de balão é significativo, e o período estimado

para a recuperação do capital investido é de 5,4 anos, considerando uma taxa de juros de 0,8% ao mês (Figura 1).

Figura 1 ►

Viabilidade financeira do investimento na produção de briquetes de pó de balão.
 Fonte: dados da pesquisa

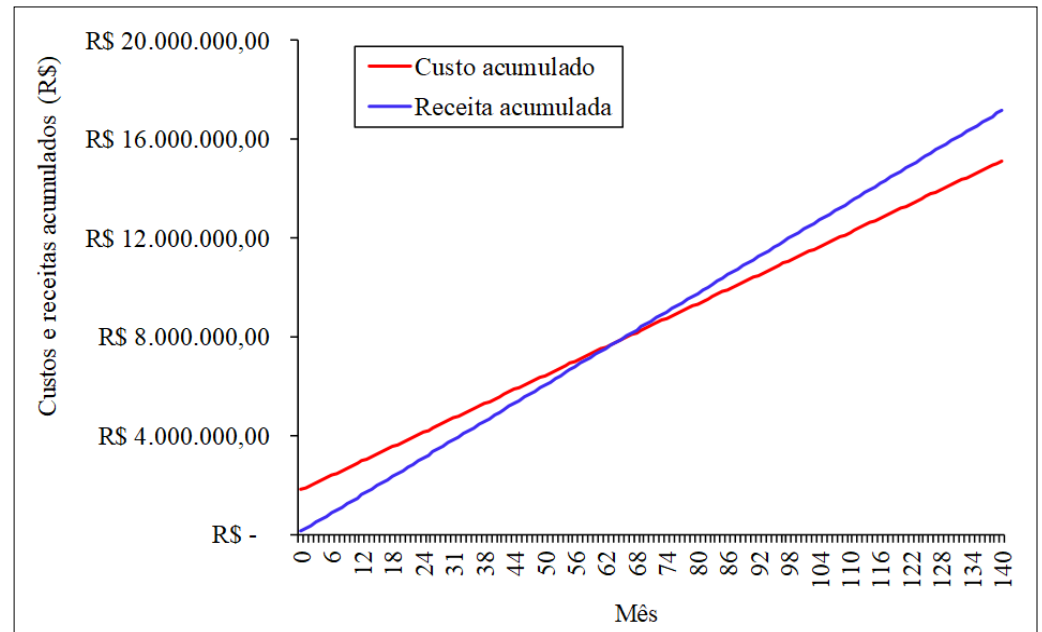


Figura 2 ▼

Impacto da variação do custo com mão de obra na produção de briquetes com pó de balão sobre o lucro.
 Fonte: dados da pesquisa

As análises complementares de sensibilidade são apresentadas nas Figuras 2 a 5, evidenciando o impacto significativo que oscilações nas variáveis podem exercer sobre o investimento. A influência do custo de mão de obra mensal (Figura 2) é notável, demonstrando sua relevância para a viabilidade do projeto. No entanto, mesmo diante de variações de até R\$ 20.000,00, a viabilidade financeira do investimento foi mantida.

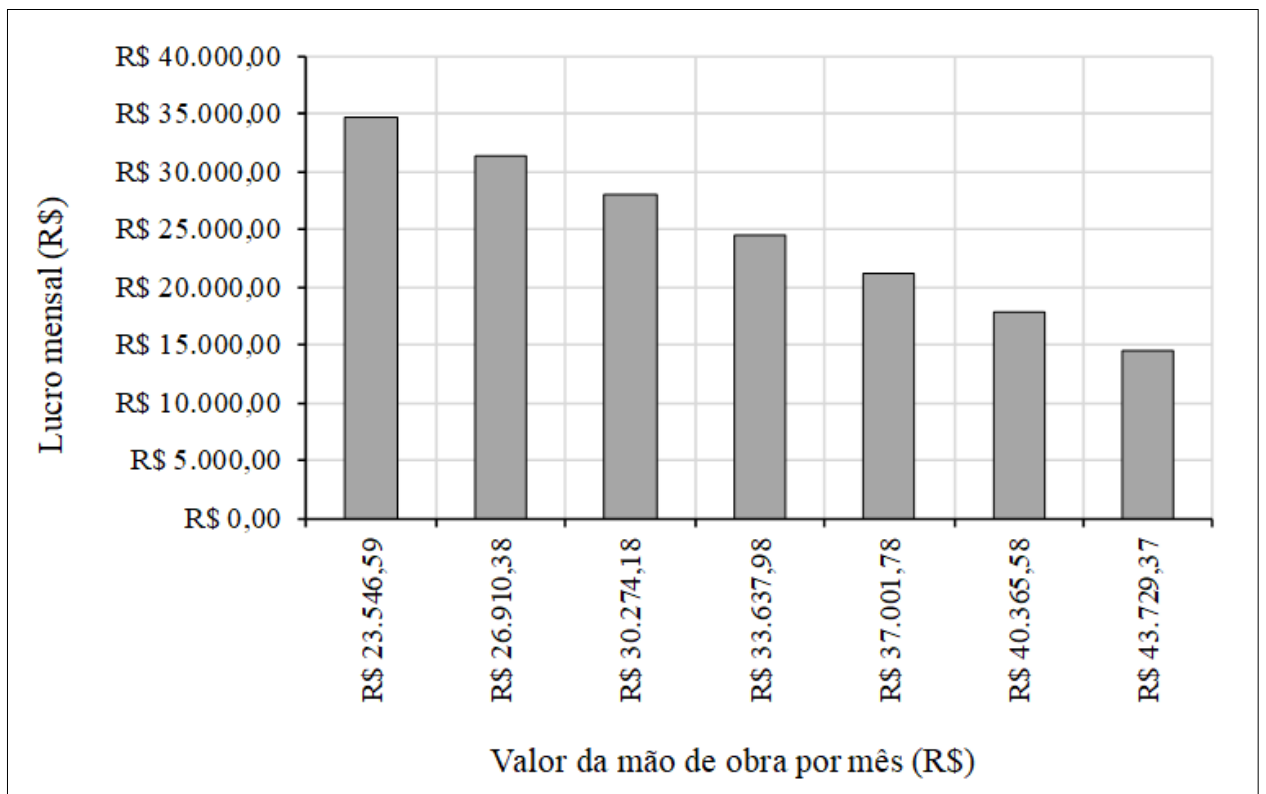


Figura 3 ▶

Impacto da variação do custo com energia elétrica e água na produção de briquetes com pó de balão sobre o lucro.

Fonte: dados da pesquisa

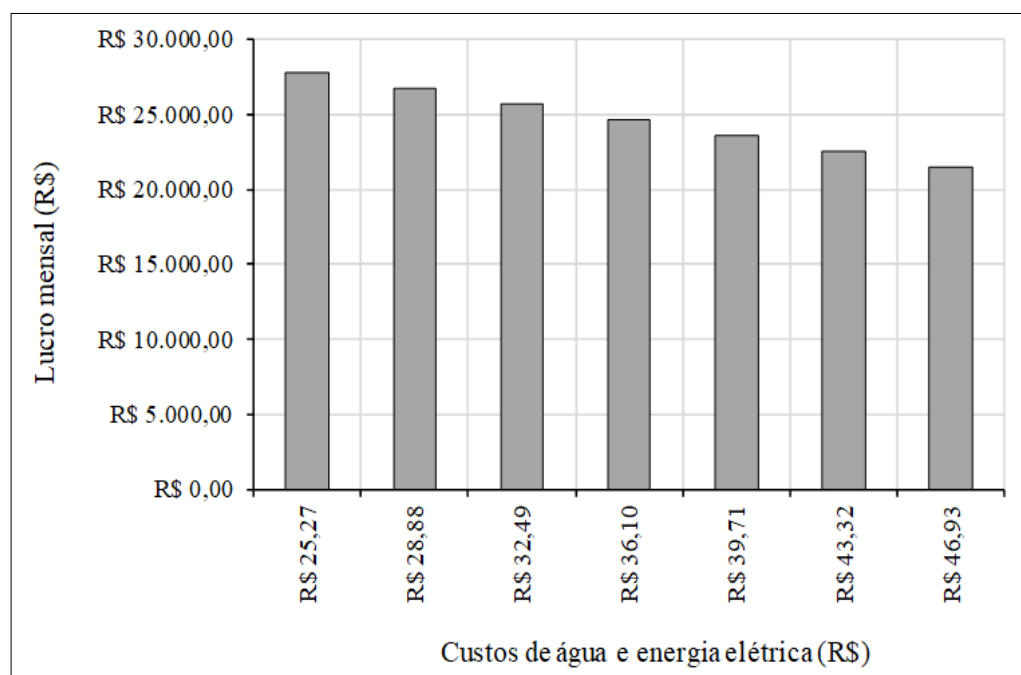


Figura 4 ▶

Impacto da variação do preço do aglutinante sobre o lucro.

Fonte: dados da pesquisa

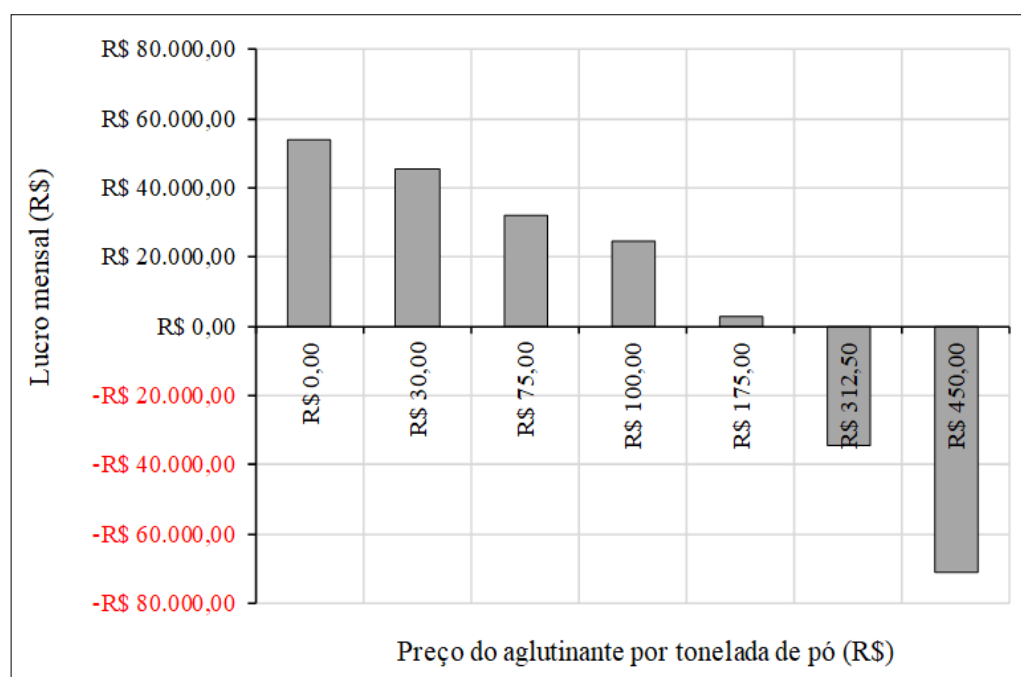
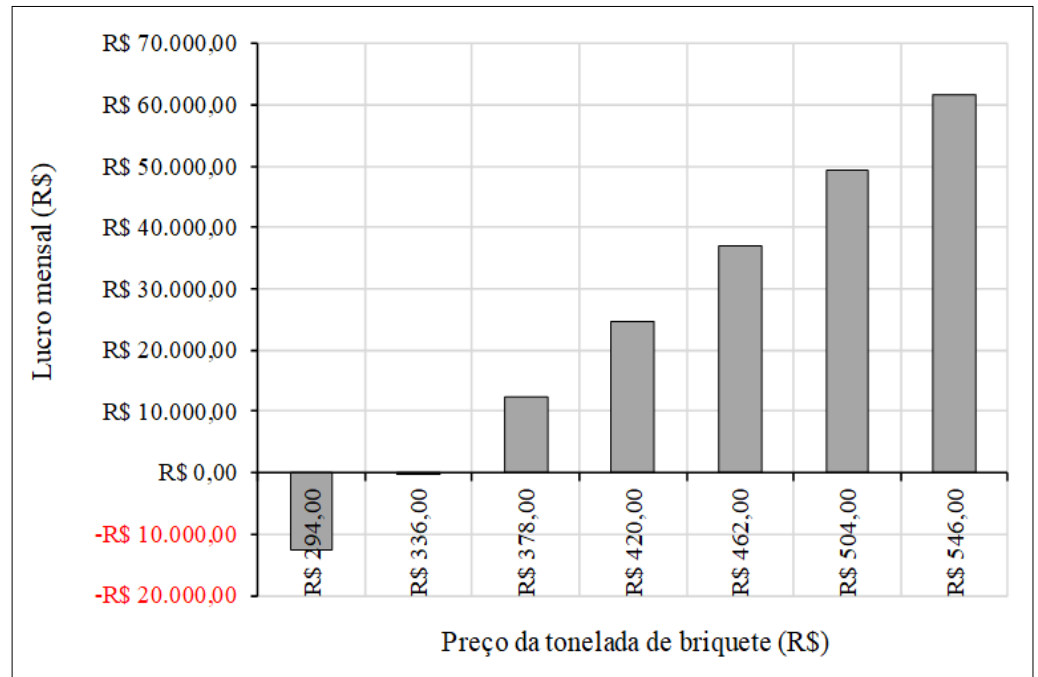


Figura 5 ►

Impacto da variação do preço de mercado do briquete sobre o lucro.

Fonte: dados da pesquisa



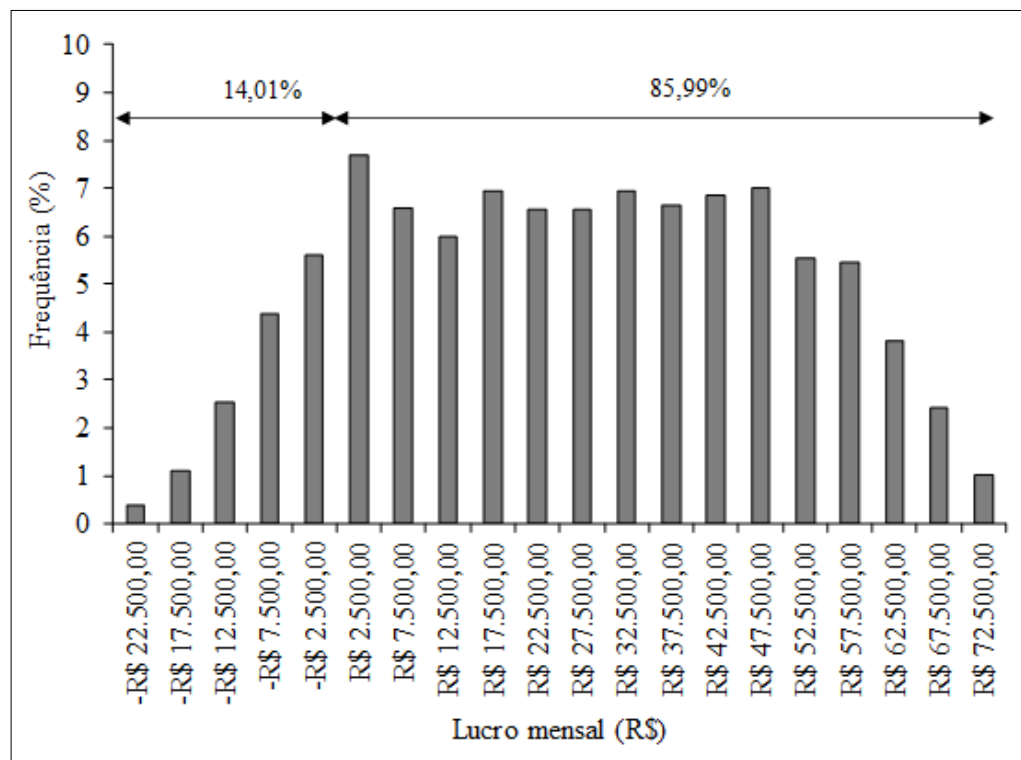
Com menor impacto sobre a viabilidade financeira em comparação à variação de custo de mão de obra, a variável relacionada ao custo de água e energia elétrica (Figura 3) apresentou valores oscilando entre R\$ 25,27 e R\$ 46,93.

O custo do aglutinante foi analisado de maneira específica (Figura 4). Considerando a diversidade de materiais disponíveis para essa finalidade e as diferentes composições possíveis, o preço do aglutinante variou entre R\$ 0,00 e R\$ 450,00, sendo adotado R\$ 100,00 como referência para a análise. Os resultados indicaram que investimentos superiores a R\$ 175,00 no aglutinante resultam em prejuízos financeiros para o projeto.

Por outro lado, a variação de $\pm 30\%$ no preço do briquete (Figura 5) revelou um impacto significativo sobre a viabilidade financeira. Os resultados indicaram que, caso o produto seja comercializado por um valor inferior a aproximadamente R\$ 335,00, o investimento se tornaria deficitário.

Por fim, considerando a dinâmica do mercado e a variação constante das variáveis envolvidas na análise de viabilidade financeira, foram simulados 6.000 cenários distintos. Conforme demonstrado pela análise de riscos (Figura 6), o projeto apresenta uma probabilidade de lucro de 85,99%, enquanto a probabilidade de prejuízo é de 14,01%. Entre as variáveis analisadas, o projeto demonstra maior viabilidade quando os custos associados à mão de obra, ao aglutinante, à água e à energia são minimizados e, inversamente, quando o preço de venda do briquete é maximizado.

Figura 6 ▶
 Probabilidade de lucro e prejuízo do investimento.
 Fonte: dados da pesquisa



4 Discussão

O investimento em briquetes apresenta-se como uma alternativa viável. Para otimizar os custos e acelerar o retorno do capital investido, considera-se a possibilidade de aquisição de maquinário usado, visto que esses equipamentos geralmente apresentam preços mais acessíveis e taxas de depreciação moderadas. No entanto, torna-se imprescindível avaliar o possível aumento nos custos de manutenção associados a essa opção.

Entre os custos de produção, o preço do briquete e o do aglutinante destacam-se como variáveis de maior impacto, conforme evidenciado na análise de sensibilidade. Pesquisas de mercado indicam que os valores de venda são compatíveis com níveis lucrativos para o investimento. No entanto, os preços dos aglutinantes permanecem elevados, apesar da diversidade de insumos disponíveis para essa finalidade. Ademais, verifica-se uma lacuna na literatura quanto à aplicação desses aglutinantes no contexto específico do pó de balão. Assim, a utilização de um aglutinante de baixo custo, como a Lignina Kraft, que pode conter outros resíduos industriais, revela-se essencial para a rentabilidade do empreendimento.

A dificuldade na destinação e na precificação do resíduo, frequentemente doado, compromete sua gestão. A empresa AVG Siderurgia, por exemplo, produz aproximadamente 1.200 toneladas de pó de balão por mês, comercializando-o a um preço médio de R\$ 3,00 por tonelada (Silva, 2018). Em contrapartida, a Biomax ([202-?]) reporta que os preços do briquete variam entre R\$ 300,00 e R\$ 450,00 por tonelada.

A reutilização do produto no próprio processo de produção, especificamente no alto-forno, constitui outra possibilidade. Conforme documentado no Processo Administrativo COPAM nº 1355/2002/002/2002, a utilização dos briquetes na produção de ferro-gusa pode resultar em reduções significativas: 16% no consumo de minério de ferro, 10% no consumo de carvão, 33% no consumo de calcário e 22% no consumo de

quartzo (Malard, 2009). Essa estratégia não apenas reduz os custos associados à aquisição de matéria-prima, mas também contribui para a sustentabilidade ambiental do projeto.

Uma vantagem distintiva do investimento por parte das usinas siderúrgicas reside na possibilidade de realização da produção no mesmo local onde o resíduo é gerado, eliminando a necessidade de transporte do material. Considerando o significativo impacto do custo de frete na aquisição de matéria-prima, essa abordagem pode exercer influência substancial na viabilidade financeira do projeto. Assim, empresas que geram grandes volumes de resíduos, como as usinas siderúrgicas, têm vantagens expressivas ao investir em briquetagem. Além do pó de balão, essas usinas podem aproveitar outros resíduos do processo, reutilizá-los internamente e, se necessário, comercializá-los. Esse é um campo promissor para estudos futuros, investigando a viabilidade da inserção desses resíduos no processo produtivo e seu impacto nos custos. Ademais, a incidência de impostos sobre a comercialização dos produtos deve ser considerada, pois pode influenciar substancialmente os resultados financeiros.

Atualmente, legislações regulamentam a produção e o destino dos resíduos. No entanto, dada a magnitude e o impacto de sua geração, torna-se fundamental o incentivo a medidas e planos de ação que favoreçam sua reutilização.

Por fim, ressalta-se que este estudo apresenta uma abordagem teórica, devendo ser complementado com a implementação de uma unidade de produção de briquetes na região.

5 Conclusão

O estudo evidenciou a viabilidade da reutilização do pó de balão siderúrgico por meio da produção de briquetes. A análise financeira e de sensibilidade permitiu identificar aspectos fundamentais e sugerir aprimoramentos para otimizar o investimento. As principais conclusões são:

- A briquetagem do pó de balão é viável, embora o retorno do investimento demande 5,4 anos;
- As variáveis de maior impacto são o custo do aglutinante e o preço de venda do briquete;
- O investimento apresenta uma probabilidade mais elevada de lucro do que de prejuízo;
- A aquisição de maquinário e a incorporação de outros resíduos, como a Lignina Kraft atuando como agente colante, têm potencial para reduzir tanto os custos quanto o tempo de retorno do investimento na produção de briquetes com pó de balão siderúrgico.

A adoção de práticas mais sustentáveis mostra-se essencial para a geração de valor a longo prazo nas corporações, promovendo o desenvolvimento sustentável e equilibrando interesses econômicos, ambientais e sociais. Empresas que adotam uma postura sustentável não apenas mitigam impactos negativos, mas também contribuem para um futuro mais justo e responsável.

A reutilização de resíduos alinha-se a essa perspectiva, otimizando o consumo de matéria-prima e reduzindo desperdícios e geração de resíduos. Esse modelo produtivo, inserido no contexto da economia circular, reforça o compromisso das empresas com a sustentabilidade e potencializa os benefícios ambientais e econômicos da briquetagem.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

Nota

Este artigo é derivado de trabalho de conclusão do curso de Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal de São João Del Rei (UFSJ), disponível em: https://ufsj.edu.br/ceflo/trabalhos_de_conclusao_de_curso_publicados.php.

Contribuições ao artigo

ALMEIDA, I. C.; ARANTES, M. D. C.: concepção ou desenho do estudo/pesquisa; análise e/ou interpretação dos dados; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. **BALDIN, T.:** análise e/ou interpretação dos dados; revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. **CASTRO, R. V. O.:** revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. **ATAÍDE, G. M.; BARAÚNA, E. E. P.:** revisão final com participação crítica e intelectual no manuscrito. Todos os autores participaram da escrita, discussão, leitura e aprovação da versão final do artigo.

Referências

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12721/2006:** Avaliação de custos unitários de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.

ANGELOTTI, W. F. D.; FONSECA, A. L.; TORRES, G. B.; CUSTODIO, R. Uma abordagem simplificada do método Monte Carlo Quântico: da solução de integrais ao problema da distribuição eletrônica. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 433-444, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422008000200044>.

ARCELOR MITTAL. **Catálogo de Coprodutos**. 2022. Disponível em: <https://brasil.arcelormittal.com/produtos-solucoes/coprodutos/catalogo-de-coprodutos-juiz-de-fora>. Acesso em: 23 jun. 2024.

BAIDYA, R.; GHOSH, S. K.; PARLIKAR, U. V. Blast furnace flue dust co-processing in cement kiln: a pilot study. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 37, n. 3, p. 261-267, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X18816791>.

BIOMAX. **Relatórios de viabilidade**. [202-?]. Disponível em: <https://www.biomaxind.com.br/produtos/briquetadeiras/relatorios-de-viabilidade>. Acesso em: 10 dez. 2023.

CAMPOLINA, V.; BRETAS, M. G.; CARVALHO, F. A.; COSTA, R. O. B.; PRAT, B. V. Incorporação de resíduos siderúrgicos à confecção de blocos de solo-cimento. **Mix Sustentável**, v. 9, n. 3, p. 83-100, 2023. DOI: <https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2023.v9.n3.83-100>.

CASTRO, M. A. M.; COSTA, F. G.; BORBA, S. C.; FAGURY NETO, E.; RABELO, A. A. Avaliação das propriedades físicas e mecânicas de blocos de solo-cimento formulados com coprodutos siderúrgicos. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 21, n. 3, p. 666-676, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-707620160003.0064>.

CHAVES, N. O.; OLIVEIRA, R. M. P. B. As alternativas de aproveitamento do pó do alto-forno: uma revisão. **Revista Eletrônica Perspectivas da Ciência e Tecnologia**, v. 12, p. 188-198, 2020. DOI: <https://doi.org/10.22407/1984-5693.2020.v12.p.188-198>.

DIAS, J. M. C. S.; SANTOS, D. T.; BRAGA, M.; ONOYAMA, M. M.; MIRANDA, C. H. B.; BARBOSA, P. F. D.; ROCHA, J. D. **Produção de briquetes e péletes a partir de resíduos agrícolas, agroindustriais e florestais**. Brasília, DF: Embrapa Agroenergia, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/952626/producao-de-briquetes-e-peletes-a-partir-de-residuos-agricolas-agroindustriais-e-florestais>. Acesso em: 12 jun. 2024.

FERREIRA, W. L.; REIS, E. L.; LIMA, R. M. F. Incorporation of residues from the minero- metallurgical industry in the production of clay-lime brick. **Journal of Cleaner Production**, v. 87, p. 505-510, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.013>.

GENOMA IMOBILIÁRIO. Aquecimento do mercado faz preço de galpão se aproximar do de loja. **Exame**, 2 out. 2021. Disponível em: <https://exame.com/colonistas/genoma-imobiliario/metro-quadrado-galpao-se-aproxima-loja>. Acesso em: 12 jun. 2024.

GUIA TRABALHISTA. **Cálculos de encargos sociais e trabalhistas**. 22 abr. 2024. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/tematicas/custostrabalhistas.htm>. Acesso em: 12 jun. 2024.

HAN, H.; DUAN, D.; YUAN, P. Binders and bonding mechanism for RHF briquette made from blast furnace dust. **ISIJ International**, v. 54, n. 8, p. 1781-1789, 2014. DOI: <https://doi.org/10.2355/isijinternational.54.1781>.

INSTITUTO AÇO BRASIL. **Parque siderúrgico**. [202-?]. Disponível em: <https://acobrasil.org.br/site/parque-siderurgico>. Acesso em: 12 jun. 2024.

LOPES, N. S. **Processo metalúrgico de produção de ferro gusa com ênfase no balanço material e balanço energético**. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal do Pará, Marabá, 2009. Disponível em: <https://repositorio.unifesspa.edu.br/handle/123456789/315>. Acesso em: 12 jun. 2024.

MAGALHÃES, B. G.; MARRIEL, I. E.; OLIVEIRA-PAIVA, C. A.; CALDEIRA, D. C. D.; TEIXEIRA, J. M. A. Qualidade biológica do solo após adição de pó de balão e cultivo do milho: I - População e atividade de microrganismos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE

CIÊNCIA DO SOLO, 33., 2011, Uberlândia. **Anais [...]**. Uberlândia: SBCS, 2011. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/899305/qualidade-biologica-do-solo-apos-adicao-de-po-de-balao-e-cultivo-do-milho-i---populacao-e-atividade-de-microrganismos>. Acesso em: 12 jun. 2024.

MALARD, A. A. M. **Avaliação ambiental do setor de siderurgia não integrada a carvão vegetal do Estado de Minas Gerais**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/2894>. Acesso em: 12 jun. 2024.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Panorama dos resíduos sólidos no estado de Minas Gerais com base nos dados do Sistema MRT-MG: Ano-base 2022**. Belo Horizonte: Semad, 2024. 248 p. Disponível em: https://meioambiente.mg.gov.br/documents/38374/7318567/V_FINAL_PanoramaSistemaMTR_anobase2022_08_03_24_completa/9dc481d7-2d50-c5bb-ea63-fb8b02bbb23?version=1.0&t=1723588397113. Acesso em: 23 jun. 2024.

QUIRINO, W. F. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2019.tde-20190821-124712>.

RIZZO, E. M. S. **Introdução aos processos siderúrgicos**. São Paulo: Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 2005. 150 p., il. (Capacitação técnica em processos siderúrgicos: conhecimentos básicos).

ROBETTI, L. **Uso de bentonita como aglutinante para a fabricação de briquetes com finos de carvão vegetal**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Cerâmica) – Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2013. Disponível em: <http://repositorio.unesc.net/handle/1/1801>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SAAE SACRAMENTO – SERVIÇO AUTONOMO DE ÁGUA E ESGOTO DE SACRAMENTO. **Cálculo da conta**. [202-?]. Disponível em: <https://www.saaesac.mg.gov.br/calconta.html>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SEBRAE – SERVIÇO BRASILEIRO DE APOIO ÀS MICRO E PEQUENAS EMPRESAS. **Produção de briquete de madeira**. 2010. Disponível em: <https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/sbrt/producao-de-briquete-de-madeira,24d1475b9be82810VgnVCM100000d701210aRCRD>. Acesso em: 10 dez. 2023.

SILVA, H. P. S. **Efeito da adição de pó de balão na combustibilidade do carvão pulverizado injetado no alto-forno**. 2016. Dissertação (Mestrado em Ciências de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/8472>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SILVA, L. A. F. **Utilização de rejeitos oriundos de processos siderúrgicos na fabricação de blocos intertravados**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018. Disponível em: <https://www.dcta.cefetmg.br/wp-content/uploads/sites/21/2018/09/LUIZA-DE-ASSIS-FERRARI-SILVA-compactado.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2024.

SINDUSCON-MG – SINDICATO DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO CIVIL NO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Custo Unitário Básico (CUB/m²)**: principais aspectos. Belo Horizonte: SINDUSCON-MG, 2007. 112 p. Disponível em: <http://www.cub.org.br/static/web/download/cartilha-principais-aspectos-cub.pdf>. Acesso em: 23 jun. 2024.

TOSTA, M. C. R.; PEREIRA, P. G. Análise da viabilidade econômica e risco de criação de uma Joint Venture para produção de briquete de biomassa na região centro-norte do Espírito Santo. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 25., 2018, Vitória. **Anais** [...]. Vitória: Associação Brasileira de Custos, 2018. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4513>. Acesso em: 18 jan. 2023.