

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

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] ebaraua@ica.ufmg.br. Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Montes Claros, Minas Gerais, Brasil.

*autora correspondente

Resumo

A busca por modelos de produção mais sustentáveis está entre as principais prioridades para mitigar os impactos ambientais negativos. Essa inquietação surge em virtude das produções aceleradas, as quais visam satisfazer as exigências do mercado consumidor. O pó de balão, um subproduto proveniente do alto-forno e recuperado por meio do sistema de limpeza de gases na indústria siderúrgica, representa uma oportunidade de reutilização sustentável. Uma das alternativas possíveis para este resíduo é ser empregado na produção de briquetes, configurando-se como uma forma de biocombustível. O presente estudo teve como propósito simular a viabilidade financeira dessa produção, examinando os custos inerentes ao processo fabril na região de estudo. Posteriormente, foram conduzidas análises de viabilidade, sensibilidade e riscos. Os resultados indicam que a produção de briquetes a partir do pó de balão apresenta-se como um investimento viável, com um período de retorno estimado em 5,4 anos, e baixo risco, uma vez que a probabilidade de viabilidade é de 85,99%, indicando alta probabilidade de ser financeiramente viável, conforme as simulações do cálculo do valor presente líquido (VPL) e análises de sensibilidade para a região de Sete Lagoas, estado de Minas Gerais (MG), Brasil.

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

Preliminary financial feasibility of briquette production using steelmaking dust

Abstract

Pursuing more sustainable production models is among the main priorities for mitigating negative environmental impacts. This concern arises due to accelerated productions aimed at meeting consumer market demands. Steelmaking dust, a byproduct from blast furnaces recovered through the gas cleaning system in the steel industry, represents an opportunity for sustainable reuse. One possible alternative for this residue is its use in the production of briquettes, serving as biofuel. This study aimed to simulate the financial feasibility of such production by examining the inherent costs of the manufacturing process in the study region. Subsequently, feasibility, sensitivity, and risk analyses were conducted. The results indicate that producing briquettes from steelmaking dust is a viable investment, with an estimated payback period of 5.4 years and low risk, given an 85.99% probability of feasibility. This suggests a high probability of financial viability based on the simulations of net present value (NPV) calculations and sensitivity analyses for the region of Sete Lagoas, state of Minas Gerais (MG), Brazil.

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 em produtos cotidianos, construção civil, utensílios domésticos, transporte e energia, desempenha um papel crucial globalmente, sendo um notável consumidor de recursos florestais. O Brasil, destacado produtor, atingiu, em 2020, 31,4 milhões de toneladas de aço bruto, ocupando a 9ª posição mundial (INSTITUTO AÇO BRASIL, 2022?). Sua produção ocorre por duas rotas principais: integrada, com redução do minério de ferro seguida por refino e laminação, e semi-integrada, envolvendo fusão e refino do ferro-gusa.

Segundo Rizzo (2005), o ferro-gusa é obtido pela combinação de carga metálica, fundentes e combustíveis, como carvão vegetal ou mineral. Essa forma intermediária é essencial na produção semi-integrada de aço. A formação ocorre na redução do ferro em um alto-forno, gerando, além do ferro-gusa, resíduos como escória, gases, pós e lamas (Lopes, 2009).

Os resíduos gerados nas siderúrgicas são um desafio, desde o armazenamento até a destinação, devido à considerável produção em larga escala. Além disso, a legislação impõe cuidados específicos sobre esses resíduos. Esse cenário é marcado pela dificuldade das empresas não apenas na destinação, mas também na geração de valor. Muitas vezes, os resíduos são doados, perdendo a oportunidade de serem reutilizados e diminuindo o impacto socioambiental e econômico da atividade.

Com uma produção diária elevada de ferro-gusa, aproximadamente 280 toneladas são produzidas diariamente em fornos a carvão vegetal, conforme dados obtidos em campo. Informações divulgadas pela Fundação Estadual do Meio Ambiente do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2022) indicam que o setor siderúrgico foi responsável pela geração de quase 6 milhões de toneladas de resíduos no estado de Minas Gerais no ano de 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 que variam conforme a matéria-prima utilizada para o ferro-gusa. O pó de balão é coletado do alto-forno pelo sistema de despoejamento, com uma produção que varia de 10 a 80 kg/t de ferro-gusa (Malard, 2009). Isso resulta em uma produção mensal significativa de aproximadamente 450 t/mês (Arcelor Mittal, 2022), dependendo da capacidade do forno e dos métodos de produção, tornando a gestão desse resíduo essencial.

Estudos destacam a aplicabilidade vantajosa do pó de balão em diversos setores, incluindo indústria de cimento, cerâmicas, produção de pigmentos, tratamento de águas residuais, agricultura, sinterização e 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).

Dada a expressiva influência do setor florestal na economia global, torna-se crucial reavaliar os métodos de produção para otimizar o uso de matérias-primas, reduzir e reutilizar resíduos. Essa reavaliação busca mitigar os impactos socioambientais e financeiros associados a esse setor. Nesse contexto, a briquetagem destaca-se como uma abordagem que agrega valor aos resíduos. Este processo envolve a compactação do resíduo a elevadas pressões e temperaturas, resultando em um aumento nas propriedades energéticas do material. Esse destaque é respaldado pelo fato de que 1,0 m³ de briquete pode conter pelo menos cinco vezes mais energia do que 1,0 m³ de resíduo, considerando a densidade a granel e o poder calorífico médio desses materiais (Quirino, 1991).

Diante das oportunidades apresentadas, o propósito deste estudo é aprofundar a compreensão sobre a viabilidade financeira associada à reutilização do pó de balão pelas siderúrgicas, especialmente por meio da produção de briquetes. O objetivo é fornecer embasamento às decisões estratégicas no contexto da gestão sustentável dos resíduos siderúrgicos, promovendo uma abordagem circular à produção de ferro-gusa.

O presente artigo adota uma organização estruturada em distintas seções. Na seção 2, delineiam-se os métodos empregados nas estimativas e simulações do estudo. Subsequentemente, na seção 3, são apresentados os resultados derivados das análises financeiras, visando estimar a viabilidade da produção de briquetes mediante o uso de pó de balão siderúrgico. Na seção 4, efetua-se uma discussão dos resultados cientificamente fundamentada. Por último, as conclusões da pesquisa são apresentadas na seção 5.

2 Material e métodos

Para o embasamento do estudo foi realizado um cenário situacional, seguido 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. Nesta seção serão apresentados detalhadamente os dados, critérios e a metodologia utilizada para a condução da pesquisa.

2.1 Considerações iniciais e abrangência da pesquisa

Este estudo foi categorizado como pesquisa exploratória (preliminar), com o propósito de investigar a viabilidade da aplicação de um resíduo na produção de briquetes, empregando o pó de balão siderúrgico como matéria-prima. Além disso, foram realizadas consultas a documentos pertinentes à implementação e operação de uma unidade fabril na região de Sete Lagoas, estado de Minas Gerais (MG), Brasil. A pesquisa foi caracterizada adicionalmente como aplicada e quantitativa, incorporando métodos e ferramentas de análise financeira para abordar de maneira sistemática uma questão específica, considerando informações financeiras relativas a investimentos.

Durante o período de janeiro a julho de 2022, procedeu-se ao levantamento do potencial volumétrico do pó de balão gerado mensalmente em três indústrias siderúrgicas situadas no município de Sete Lagoas (MG), sendo avaliado por um período de cinco meses em cada uma delas. Foi identificada uma média diária de 9,8 toneladas desse resíduo em instalações com uma produção média de 280 toneladas de ferro-gusa. A partir desses dados, foram efetuados cálculos para determinar os custos de produção do briquete, os investimentos iniciais, fixos e variáveis necessários para análises de viabilidade financeira, incluindo mão-de-obra, depreciação, consumo de energia elétrica, uso de água e requisitos de embalagem. Os valores referentes aos investimentos foram obtidos mediante a solicitação de orçamentos a empresas especializadas nas diversas áreas, como empresas de manutenção de máquinas, empresa de água e energia da região, entre outras necessárias ao processo produtivo. As informações que embasaram as análises de viabilidade e sensibilidade encontram-se detalhadamente listadas nos tópicos subsequentes.

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

Assumindo 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 deste material. Além disso, na abordagem dos custos de pessoal, foram contemplados apenas os componentes relativos ao setor de produção. Impostos sobre a comercialização do briquete também foram desconsiderados, visto que podem ser utilizados pelas próprias empresas fabricantes. As variáveis pertinentes ao cálculo, juntamente com seus valores correspondentes, são apresentadas e resumidas na Tabela 1.

Tabela 1 – Compilação de valores utilizados no cálculo de viabilidade financeira

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/mês (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 embalagens de 100 kg)	R\$ 3,11
Valor dos Briquetes para compra (R\$ por tonelada)	R\$ 420,00

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

2.2.1 Local de operação

Dentre os custos associados à implementação da produção de briquetes, destaca-se o investimento inicial no local de operação. Conforme observado na Cartilha do Sinduscon-MG (2007) “Custo Unitário Básico (CUB/m²): Principais Aspectos”, que utiliza como referência a ABNT NBR 12721:2006, um galpão destinado à indústria de briquetes necessitaria de uma área construída de 1000 m², destinada ao armazenamento dos briquetes e à instalação do maquinário. Segundo informações do

relatório "First Look Industrial" da Jones Lang LaSalle (JLL), conforme citado por Exame (2021), o preço médio de locação de galpões atingiu R\$ 19,70 por metro quadrado ao mês no segundo trimestre do ano. Assumindo este 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), no que tange aos investimentos em equipamentos e maquinários para a operação na produção de briquetes, faz-se necessário o investimento de R\$ 1.715.305,20, sendo, portanto, esse o valor utilizado para a base de cálculo. Quanto aos custos de manutenção e depreciação, de acordo com informações da Biomax (202?), empresa especializada no ramo de máquinas, estima-se em R\$ 5,64 e R\$ 10,28, respectivamente, por tonelada de briquetes produzida. Os equipamentos considerados para o cálculo englobam 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 indicações do Sebrae (2010), a empresa em questão necessitará contratar entre quatro e sete funcionários para a 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 estes obtidos mediante consulta a sites especializados em busca de empregos, incluída uma taxa de 67,22% referente a encargos sociais, conforme orientações do Guia Trabalhista (2024) para uma empresa não optante pelo Simples, com funcionários mensalistas, a estimativa de custo total com mão de obra foi de R\$ 33.637,98.

2.2.4 Aglutinante

Com base em informações literárias (Dias *et al.*, 2012), identificam-se mais de 50 ligantes, tanto orgânicos quanto inorgânicos, empregados no processo de compactação, sendo que no contexto brasileiro, destacam-se o amido de milho, alcatrão vegetal, melão de cana-de-açúcar, fécula de mandioca e resinas sintéticas como os mais amplamente utilizados. Han, Duan e Yuan (2014) produziram briquetes de pó de balão com diferentes aglutinantes e os resultados evidenciam que o composto de amido de milho e silicato de sódio combinados a uma proporção de 2/1 utilizados em 2% são eficientes em briquetes.

A metodologia implementada por Robetti (2013) adotou a relação de 1/1 entre amido de milho e bentonita, com a inclusão de 5% em massa no briquete. O custo associado a esse aglutinante é aproximadamente R\$ 3,80 por quilograma. Em virtude da variabilidade intrínseca aos produtos e custos deste insumo, para efeitos da análise de viabilidade, foi adotado o valor médio de R\$ 100,00 por tonelada de briquete, uma média a partir de pesquisas de campo realizadas diretamente com os produtores e por meio de revisões bibliográficas, garantindo a proporção recomendada entre o pó de balão e o aglutinante.

2.2.5 Água e energia elétrica

O custo referente à energia consumida pelos equipamentos na produção de uma tonelada de briquete, conforme indicado pela Biomax (202?), totaliza R\$ 35,18, considerando o valor de mercado da energia elétrica na região de estudo. Quanto ao consumo de água destinada ao resfriamento dos equipamentos, estabelecido em 250 litros por hora, conforme Tosta e Pereira (2018), o custo associado, considerando a tarifa média de R\$ 7,33 por metro cúbico no Serviço Autônomo de Água e Esgoto na região de estudo (SAAE, 202?), resulta em um gasto de R\$ 0,92 por tonelada de briquete.

2.2.6 Embalagem

No estágio conclusivo do processo de embalagem dos briquetes, está prevista a utilização de sacos de rafia com capacidade para 100 kg. Após consulta a websites de empresas especializadas na produção desse tipo de material, identificou-se que o custo médio por unidade é de R\$ 6,27. Cabe destacar que, em casos de uso próprio do briquete pela empresa produtora, esse custo poderá ser retirado.

2.2.7 Valor do briquete

Conforme o levantamento efetuado junto a empresas produtoras de briquetes de pó de balão nas proximidades da região de Sete Lagoas, constatou-se que 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, conduziram-se análises abrangentes de viabilidade financeira, sensibilidade e riscos para o projeto em questão. A avaliação de viabilidade financeira foi derivada pelo Valor Presente Líquido (VPL), que é 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% a.m. ao longo do período. Assim, o *payback* (ou tempo de retorno do capital investido) foi determinado.

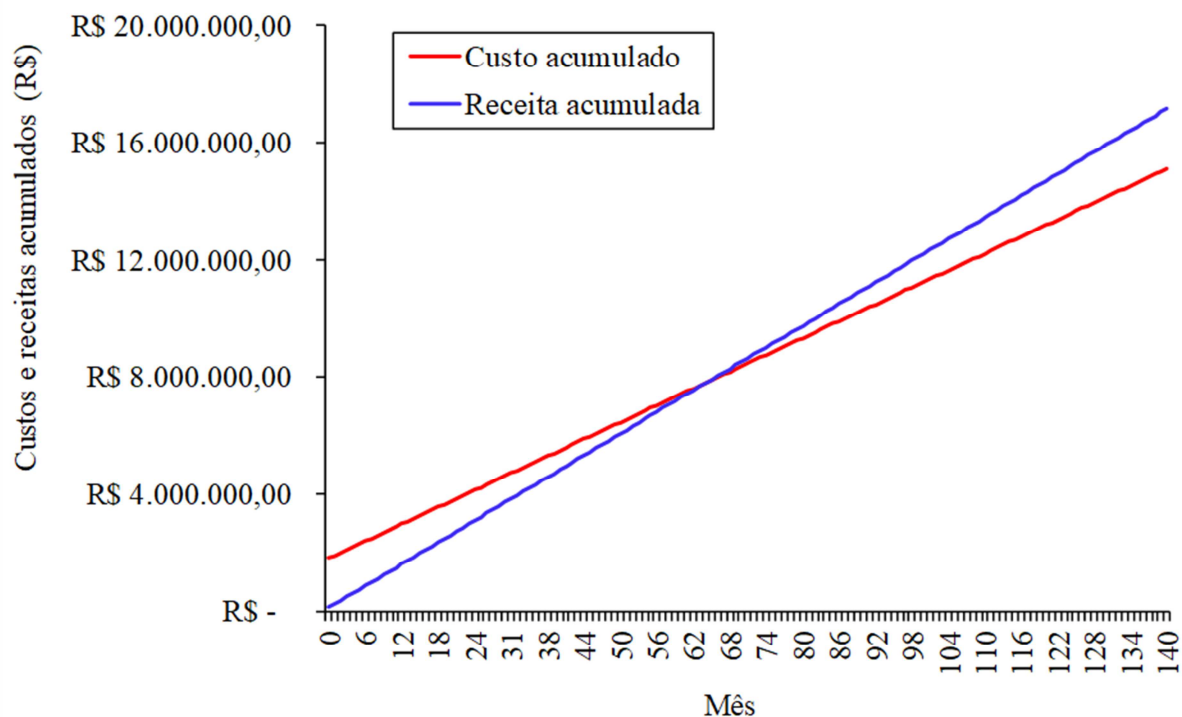
Durante o estudo de viabilidade, foi realizada uma análise de sensibilidade considerando a volatilidade no retorno do investimento. Modificaram-se algumas variáveis críticas de custo (mão de obra, água e luz e preço do aglutinante) e receita (preço do briquete) em $\pm 30\%$. Durante este período, os demais valores utilizados nos cálculos foram mantidos constantes, visando avaliar o impacto de cada variável sobre o investimento. Em relação ao aglutinante, a análise de sensibilidade incorporou uma variação de preço entre R\$ 0,00 e R\$ 450,00.

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

3 Resultados

Através do levantamento de dados, foi possível estimar que o montante de investimento necessário para a produção de briquetes de pó de balão é substancial, e o período estimado para a recuperação do capital investido é de 5,4 anos, considerando uma taxa de juros mensal de 0,8% (Figura 1).

Figura 1 – Viabilidade financeira do investimento na produção de briquetes de pó de balão

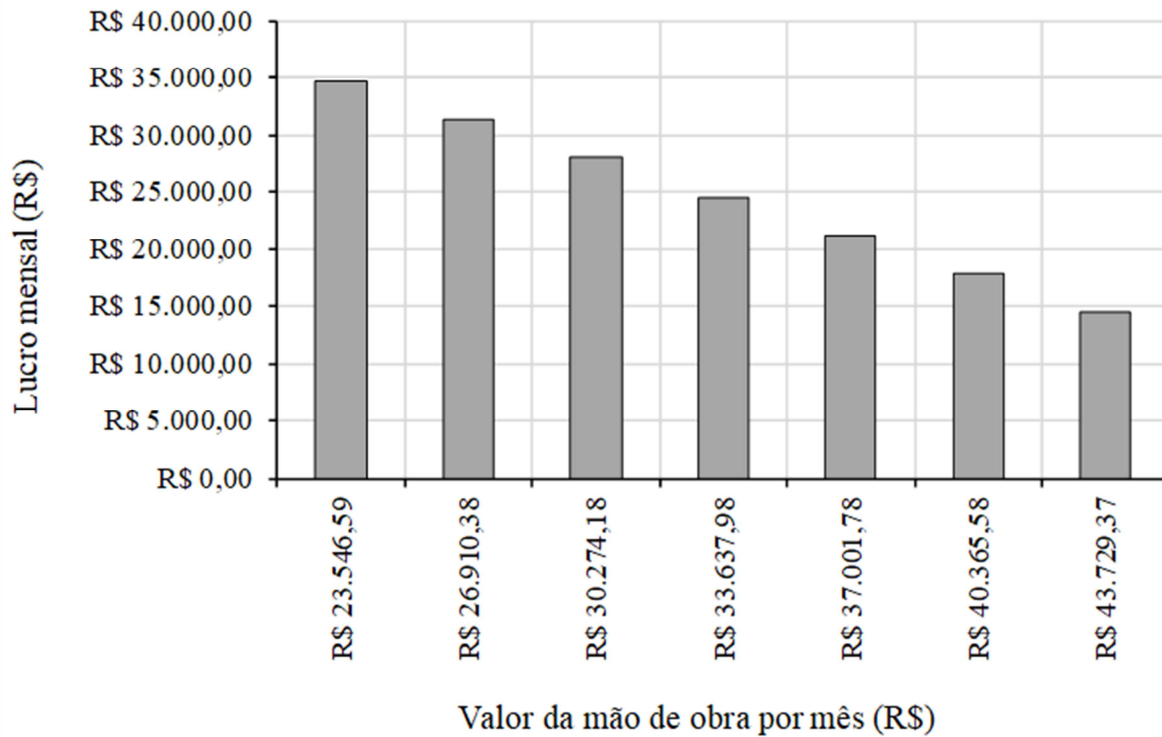


Fonte: dados da pesquisa

As análises complementares de sensibilidade são apresentadas nas Figuras 2, a 5, refletindo a convicção no impacto significativo que oscilações nas variáveis poderiam exercer sobre o investimento. A influência do custo de mão de obra (Figura 2) mensal sobre o investimento é notável, evidenciando relevância. No entanto, mesmo diante de variações da ordem de R\$20.000,00, o projeto mantém sua viabilidade financeira.

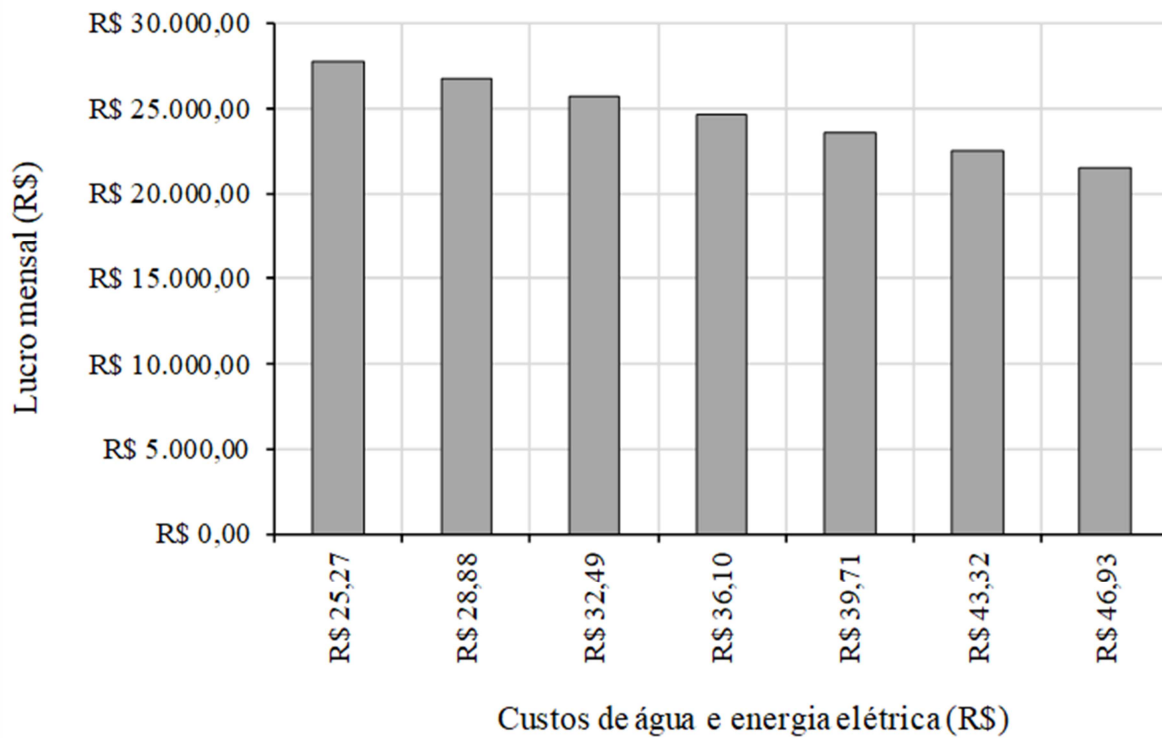
Figura 2 – Impacto da variação do custo com mão de obra na produção de briquetes com pó de balão sobre o lucro

Revista Principia



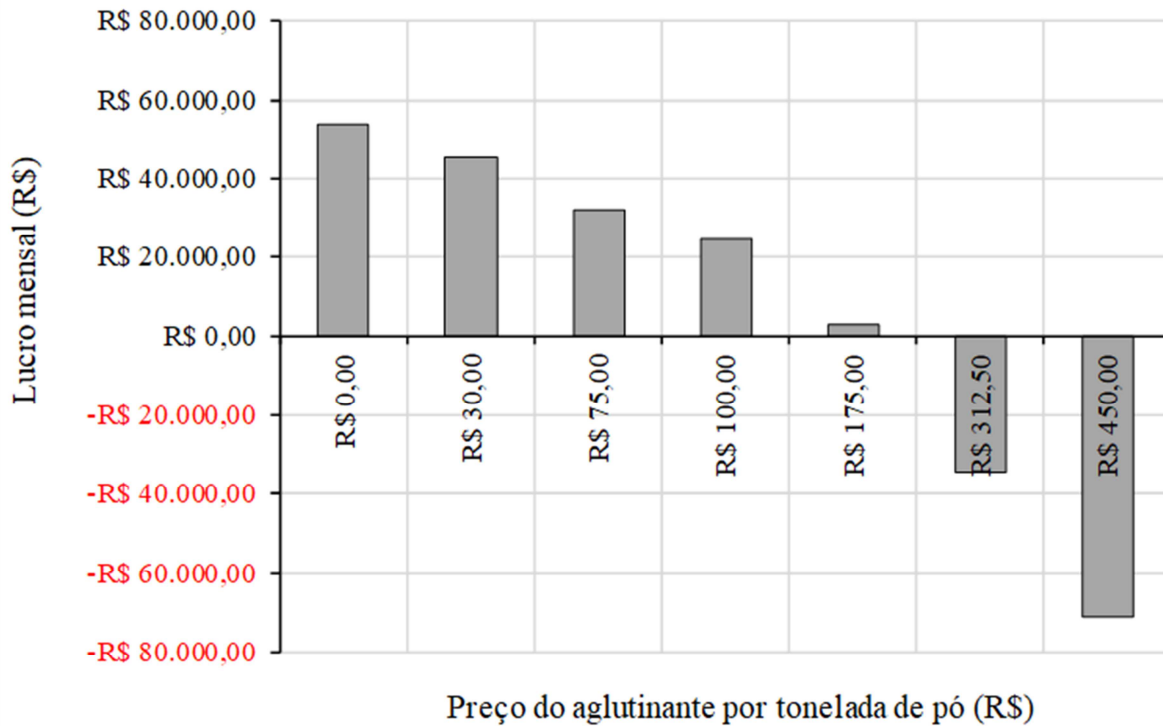
Fonte: dados da pesquisa

Figura 3 – Impacto da variação do custo com energia elétrica e água na produção de briquetes com pó de balão sobre o lucro



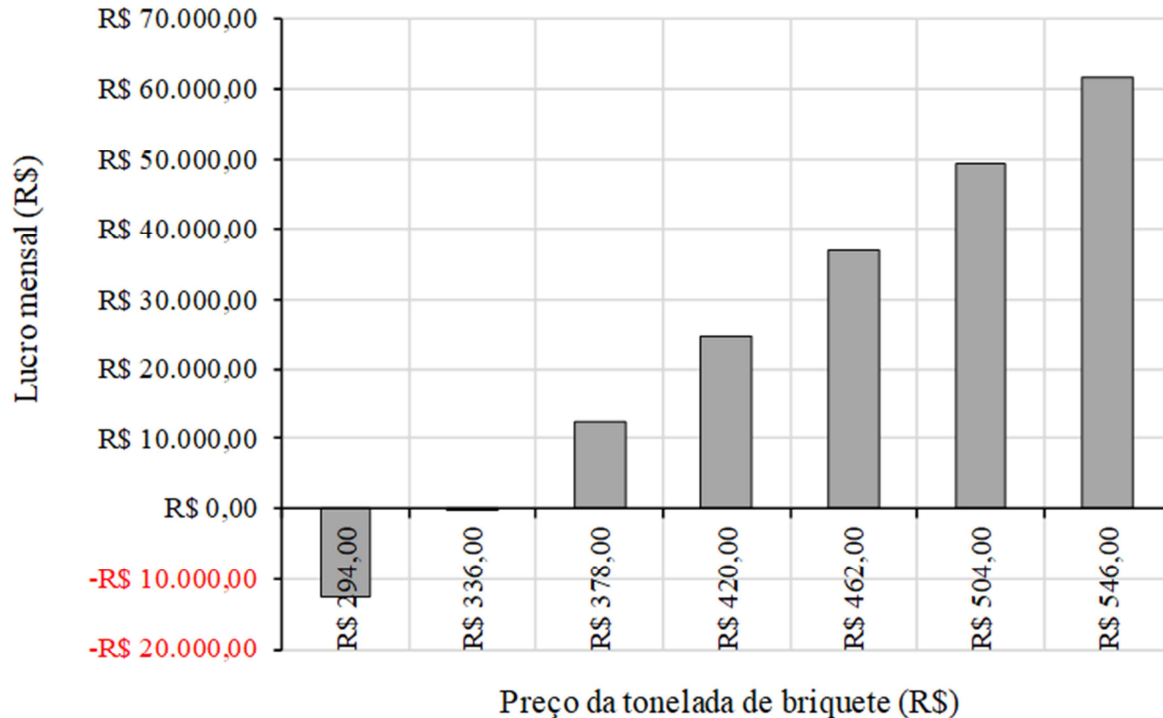
Fonte: dados da pesquisa

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.

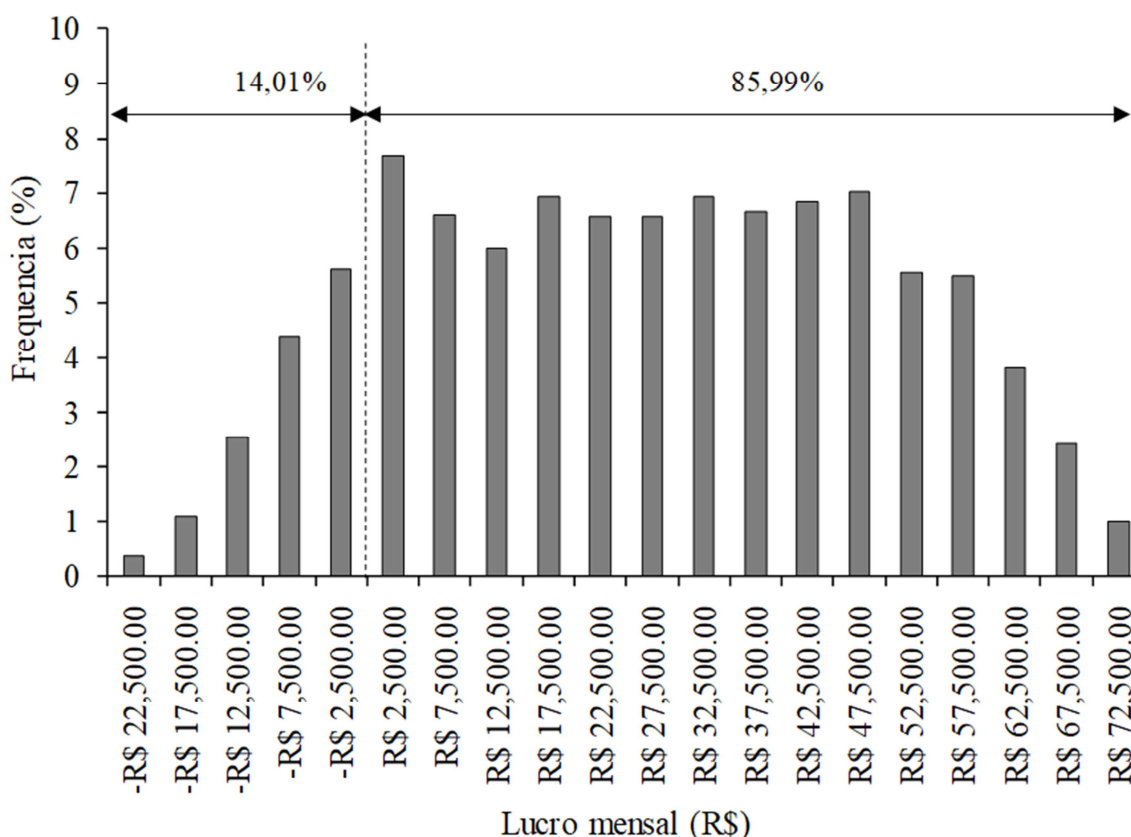
O custo com o aglutinante foi submetido a uma abordagem específica (Figura 4). Considerando a diversidade de materiais disponíveis para essa finalidade e as múltiplas composições possíveis,

variou-se o valor do aglutinante entre R\$ 0,00 e R\$ 450,00, adotando R\$ 100,00 como ponto referencial da análise. Essa avaliação evidenciou um impacto significativo da variável sobre o lucro. Investimentos superiores a R\$ 175,00 no aglutinante já resultam em prejuízos financeiros para o projeto.

Em contraste, exercendo uma influência mais significativa na análise, a variação de $\pm 30\%$ no preço do briquete (Figura 5) demonstrou que o investimento se tornaria deficitário caso o produto fosse comercializado por um valor inferior a aproximadamente R\$ 335,00.

Finalmente, considerando o contexto real do mercado e a constante variação das variáveis envolvidas nos processos de viabilidade financeira, as quais nem sempre apresentam variações proporcionais entre si, foram simulados 6.000 cenários de viabilidade. Conforme revelado pela análise de riscos realizada (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 exibe uma probabilidade mais elevada de lucro quando os custos associados à mão de obra, aglutinante, água e energia são minimizados, e, inversamente, quando o preço de venda do briquete for maximizado.

Figura 6 – Probabilidade de lucro e prejuízo do investimento



Fonte: dados da pesquisa

4 Discussão

O investimento em briquetes se apresenta como uma alternativa viável. Para otimizar os custos e acelerar o retorno do capital investido, considera-se a viabilidade da aquisição de maquinário usado, uma vez que esses equipamentos costumam ter preços mais acessíveis e taxas de depreciação geralmente mais moderadas. Contudo, é imperativo ponderar sobre um potencial aumento nas taxas de manutenção associadas a essa abordagem.

Dentro dos custos de produção, o preço do briquete e do aglutinante destacam-se como variáveis de maior impacto, conforme evidenciado na análise de sensibilidade. Pesquisas de mercado indicam que os valores de venda estão em consonância com níveis lucrativos para o investimento. No

entanto, os preços dos aglutinantes são notavelmente elevados, apesar da diversidade de insumos disponíveis para essa finalidade. Não obstante, a literatura carece de estudos sobre a aplicação desses aglutinantes no contexto específico do pó de balão. Portanto, para a viabilidade de um projeto de briquetagem, a consideração de um aglutinante de baixo custo, como a Lignina Kraft, que pode conter outros resíduos industriais, se revela crucial para a rentabilidade do empreendimento.

Atualmente, a dificuldade na destinação e na precificação do resíduo, muitas vezes doado, complica sua gestão. A empresa AVG Siderurgia, por exemplo, produz aproximadamente 1200 toneladas de pó de balão por mês, vendendo-o a um preço médio de três reais por tonelada (Silva, 2018). Em contraste, a Biomax (202?) indica que os preços do briquete variam entre R\$ 300,00 e R\$ 450,00 por tonelada.

Há também a oportunidade de reutilização do produto no próprio processo de produção, especificamente no alto forno. Conforme documentação do Processo Administrativo COPAM nº 1355/2002/002/2002, a utilização dos briquetes no processo produtivo do ferro-gusa resultaria 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 prática não apenas diminuiria os custos associados à compra de matéria-prima, mas também contribuiria para a sustentabilidade ambiental do projeto.

Uma vantagem distintiva do investimento por parte das usinas siderúrgicas é a capacidade de realizar a produção no mesmo local onde o resíduo é gerado, eliminando a necessidade de transporte do material. Dado o significativo impacto do custo de frete na aquisição de matéria-prima em processos produtivos, essa abordagem pode ter uma influência substancial na viabilidade financeira do projeto. Portanto, empresas que geram grandes volumes de resíduos, como as usinas siderúrgicas, possuem vantagens destacadas ao investir em briquetagem. Além do pó de balão, essas usinas têm a possibilidade de aproveitar outros resíduos do processo, reutilizá-los internamente e, se necessário, comercializá-los a terceiros. Este é um possível campo para estudos futuros, investigando a viabilidade da inserção dos resíduos no processo produtivo e o impacto disso nos custos. Além disso, existe a necessidade de incorporar impostos sobre as vendas dos produtos, caso não sejam utilizados pela própria empresa como biocombustível, o que pode alterar substancialmente as conclusões.

Atualmente, existem legislações que regulam a produção e o destino dos resíduos. Contudo, dada a magnitude e o impacto na sua geração, é imperativo promover mais incentivos e planos de ação para esclarecer e fomentar sua reutilização.

Destaca-se, por fim, que este trabalho apresentou um estudo teórico, que deverá ser confirmado com a implementação de uma unidade de produção de briquetes nesta região.

5 Conclusão

O estudo destacou a viabilidade da reutilização do pó de balão siderúrgico por meio da produção de briquetes. A análise financeira e de sensibilidade permitiu identificar pontos cruciais 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 demonstra uma probabilidade mais expressiva de lucro do que de prejuízo;
- A aquisição de maquinário e a incorporação de outros resíduos, como a Lignina Kraft atuando como agente colante, apresentam potencial para diminuir tanto os custos quanto o tempo de retorno do investimento na produção de briquetes com pó de balão siderúrgico.

A adoção de práticas ESG é essencial para a criação de valor a longo prazo nas corporações, pois promovem o desenvolvimento sustentável, equilibrando os interesses econômicos, ambientais e sociais. Empresas que se comprometem com a sustentabilidade não apenas mitigam seus impactos negativos, mas também constroem um futuro mais justo, responsável e longo para todos.

A reutilização de resíduos corrobora essa ideia, otimizando o consumo de matéria-prima e reduzindo o desperdício e a geração de resíduos, criando um ciclo produtivo conhecido como economia circular. Fomentar estratégias eficazes de reutilização e reciclagem traz benefícios a todos e atesta o compromisso das empresas com a sustentabilidade.

Financiamento

Esta pesquisa não recebeu financiamento.

Conflito de interesses

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

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. T.; 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 dezembro de 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. *Revista Materia*, 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.

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

FEAM – FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. Panorama dos resíduos sólidos no estado de Minas Gerais com base nos dados do sistema MTR-MG Ano base 2022. Publicação na página eletrônica da FEAM. Disponível em: <http://www.meioambiente.mg.gov.br/sistemamtrmg/relatorios>. Acesso em: 23 de 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>.

GUIA TRABALHISTA. **Cálculos de encargos sociais e trabalhistas**. 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, 2008. 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.

QUIRINO, W. F. Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal. 1991. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2019.tde-20190821-124712>.

RIZZO, E. M. S. Introdução aos processos siderúrgicos, Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, 150 p.: ilus. (capacitação técnica em processos Siderúrgica Conhecimentos Básicos), São Paulo, 2005.

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

SAAE – SERVIÇO AUTONOMO DE ÁGUA E ESGOTO 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 dezembro 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 – Física 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. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitarista) – 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. 112p. 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, 2018, Vitória. **Anais** [...]. Vitória, 2018. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4513>. Acesso em: 18 de janeiro de 2023.

Revista Principia